Çevre Jeolojisi ve Jeotekniği

ALİ YILMAZ

www.profdraliyilmaz.com

Ankara
2023

Çevre Jeolojisi ve Jeotekniği

Ali YILMAZ

www.profdraliyilmaz.com

ISBN: 978-625-00-1220-6

Ankara
2023

ÖNSÖZ

Jeoloji fizik, kimya, astronomi ve biyoloji ile birlikte, Yer'i ve doğayı anlamayı ve doğal kaynaklardan yararlanmaya dair temel bilgiler içeren bir bilimdir. Ayrıca Jeoloji Yer'i ve doğayı tanımlayan, yorumlayan ve doğal kaynaklardan yararlanırken, doğa kaynaklı tehlikelerden de korunmanın yol ve yöntemlerini irdeleyen doğa bilimidir. Günümüzde Jeoloji, madencilikten enerji sektörüne, ulaşımdan yerleşime, su kaynaklarının yönetimine, doğal çevrenin korunmasına, insan sağlığı ve iş güvenliğine kadar uzanan geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Çevre jeolojisi ise doğal kaynakları değerlendirirken çevrenin korunması da hedefleyen uygulamalardan biridir. Çevre jeolojisi ve jeotekniği birlikte, jeoloji mühendisliğinin uygulamaya yönelik en önemli alanıdır. Bu konuda yeterli bir birikim sağlama yolunda, bazı çabalar izlenmektedir. Gelişmiş olan ülkelerde Çevre jeolojisi ve çevre jeotekniği kitaplarını raflarda görmek olağan bir durumdur. Oysa ülkemizde, sunulan bu kitap ne yazık ki bir ilk olacaktır. Dolayısıyla kitabın bazı eksiklikleri de olacaktır. Ne var ki, bir yerden başlamak gerekliydi.

Çevre jeolojisi konusunda güzel ürünler sunmak için öncelikle sağlıklı bir temel jeolojik birikim oluşturmak gerekmektedir. Bu nedenle, sunulan kitabın ilk 10 bölümünde, her biri ayrı bir kitap olarak ele alınabilen, ancak jeolojinin temeli sayılan konular ele alınmıştır.

1. Bölüm'de, Çevre jeolojisinin felsefesi ve temel ilkeleri ele alınmıştır. 2. Bölüm'de Evren ve Yer'in konumu ile Yer'in temel özellikleri irdelenmiştir. Daha sonra 3.Bölüm'de Yerkabuğunu oluşturan mineraller ve kayalar ile bunların mühendislik özellikleri sıra ile sunulmuştur. 4. Bölüm'de ***Toprak***, 5. Bölümde Yapısal jeoloji, 6. Bölüm'de tüm jeolojik olguların ilişkilerini açıklayan ***Levha tektoniği*** sunulmuştur. Böyle bir model iyice kavranmadan çevrede olan biten olgular anlaşılamaz. Bu model ışığında, 7. Bölüm'de Biyokimyasal döngüler, 8. Bölümde Jeolojik yaş, istif ve jeolojik ilişkiler ele alınmıştır. 9. Bölüm'de Doğadaki yaşam, jeolojik evrim ve çevrenin geleceği tartışılmıştır. 10. Bölümde Su kaynaklarının jeolojisi irdelenmiştir.

Daha sonra jeolojik birikimlerden yola çıkarak 11. Bölüm'de Tehlikeler ve riskler, 12. Bölüm'de Tehlike yaratan yer süreçleri (depremler, heyelanlar, sel ve taşkınlar, çığlar, kıyılarda oluşan tehlikeler, volkanik faaliyetler, erozyon ve küresel iklim değişikliği) irdelenmiştir. 13. Bölümde çevre jeolojinin penceresinden, tehlikeli atıklarla ilgili yer seçimi, 14. Bölümde aynı çerçevede, Bütünsel Atık yönetimi sunulmuştur. 15. Bölüm'de, çok disiplinli yeni bir ilgi alanı olan ***Tıbbi Jeoloji*** anlaşılır bir biçimde irdelenmiştir. 16. Bölümde CBS, 17. Bölümde Mühendislik jeolojisi haritaları, 18. Bölümde Arazi kullanım planlaması, 19. Bölümde Çevre Jeolojisi tasarımı sunulmuştur.

20. Bölümde ise ülkemiz açısından önemli olan bazı faaliyetler (taş ocakları, temel incelemeleri, barajlar ve HES'ler, tüneller, termik santraller, nükleer santraller ve büyük mühendislik projelerinin çevresel etkileri (GAP örneği) çevre jeolojisi perspektifinden irdelenmiştir. Doğada gerçekleştirilecek her faaliyetin çevresel etkileri mutlaka olacaktır. Bu etkilerin ilk yansıyacağı yer ise, jeolojik ortamdır. Dolayısıyla jeolojik ortamın iyi bir şekilde tanımlanması, söz konusu faaliyetlerin izlenmesi ve denetimi açısından belirleyicidir. İşte bu çerçevede, sunulan kitabın çevrenin korunmasına katkı sağlamasını diliyorum.

Prof. Dr. Ali YILMAZ,
Emekli öğretim üyesi

TEŞEKKÜR

Sunulan kitap, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 107 numaralı yayını olarak çıkan Çevre Jeolojisi (2008) ile 116 numaralı olarak çıkan Çevre Jeotekniği (2009) kitaplarının güncellenmiş bir bireşimini temsil etmektedir. Çevre Jeolojisi kitabının ilk baskısı Prof. Dr. Ergun Gökten, Prof. Dr. Osman Nuri Ergun ve Prof. Dr. Fikret Kaçaroğlu tarafından incelenmiştir. Çevre Jeotekniği kitabının ilk baskısı ise Prof. Dr. Mustafa Değirmenci, Prof. Dr. Osman Nuri Ergun ve Prof. Dr. Hatim Elhatip tarafından incelenmiştir. Sunulan Kitap, çeşitli faaliyetlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi çerçevesinde yapılan öneriler ve değerlendirmeler ışığında güncellenmiştir. Basılmış kitapları inceleyen hocalarımın yanı sıra, beni teşvik eden meslektaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca özel uzmanlık gerektiren bazı bölümler de bilgilerine güven duyduğum uzmanlar tarafından irdelenmiştir. Söz konusu bölümlerin sonunda, kendilerine de teşekkür edilmiştir.

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1. ÇEVRE JEOLOJİSİNİN FELSEFESİ VE TEMEL İLKELERİ..... 1

Bölüm 2. EVREN VE YER, YER'İN TEMEL ÖZELLİKLERİ 12

2. 1. EVREN VE YER'İN KONUMU..... 12

2. 2. YER'İN TEMEL ÖZELLİKLERİ 40

Bölüm 3. YER'İN BİLEŞİMİ, YAPISI VE DİĞER ÖZELLİKLERİ…… 64

3.1. YER'İ OLUŞTURAN MİNERALLER VE KAYALAR…… 64

3.2. KAYALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ…… 93

Bölüm 4. JEOLOJİK ORTAMIN ÜRÜNÜ: TOPRAK…… 117

Bölüm 5. YAPISAL JEOLOJİ 164

Bölüm 6. LEVHA TEKTONİĞİ 179

Bölüm 7. BİYOJEOKİMYASAL DÖNGÜLER…… 201

Bölüm 8. JEOLOJİK YAŞ, İSTİF VE JEOLOJİK İLİŞKİLER 222

Bölüm 9. DOĞADAKİ YAŞAM, JEOLOJİK EVRİM ve ÇEVRENİN GELECEĞİ…… 234

Bölüm 10. SU KAYNAKLARININ JEOLOJİSİ 257

Bölüm 11. TEHLİKELER VE RİSKLER..... 272

Bölüm 12. TEHLİKE YARATAN YER SÜREÇLERİ..... 285

12. 1.DEPREMLER 285

12. 2.SIVILAŞMA…… 323

12. 3.HEYELANLAR..... 336

12. 4.SEL VE TAŞKINLAR 364

12. 5.ÇIĞLAR..... 384

12. 6.KIYILARDA OLUŞAN BAZI TEHLİKELER…… 408

12. 7.VOLKANİK FAALİYETLER VE YANARDAĞLAR…… 418

12. 8.EROZYON…… 429

12. 9.KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE YAŞAMA ETKİLERİ… 449

Bölüm 13. TEHLİKELİ ATIKLARLA İLGİLİ YER SEÇİMİ VE YÖNETİMİ.. 485

Bölüm 14. BÜTÜNSEL (BÜTÜNCÜL) ATIK YÖNETİMİ..... 513

Bölüm 15. TIBBİ JEOLOJİ 546

Bölüm 16. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ…… 566

Bölüm 17. MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ HARİTALARI…… 588

Bölüm 18. ARAZİ KULLANIMININ PLANLANMASI, KARAR VERME SÜRECİ VE ÇEVRE JEOLOJİSİ (12-13)…… 608

Bölüm 19. ÇEVRE JEOLOJİSİ-JEOTEKNİĞİ TASARIMI TEMEL BİLGİLER. 643

Bölüm 20. BAZI UYGULAMALAR…….. 670
20.1. TAŞ OCAĞI İNCELEMELERİ…….. 670
20.2. TEMEL İNCELEMELERİ: BİNALAR, YOLLAR, KÖPRÜLER…. 678
20.3. BARAJLAR VE HESLER …… 703
20.4. TÜNELLER …… 736
20.5. TERMİK SANTRALLER…….. 771
20.6. NÜKLEER SANTRALLER…….. 798
20. 7. BÜYÜK MÜHENDİSLİK PROJELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ: GÜNEYDOĞU ANADOLU PROJESİ (GAP) ÖRNEĞİ VE SORUNLARI… 833

KAYNAKLAR…….. 857

Bölüm 1. ÇEVRE JEOLOJİSİNİN FELSEFESİ VE TEMEL İLKELERİ

GENEL BİLGİLER

Çevre bireyi, toplumu, bunları çevreleyen mekânı ve bu mekânda gelişen etkinliklerin tümünü kuşatan bir olgudur. Genel olarak çevre iki bölüme ayrılır. Birinci bölümde yer alanlar toprak, su, hava gibi fiziksel varlıklar olup inorganik bir dünyayı temsil ederler. Bunlar yaşamın gereksinimleri için önemlidirler. İkinci bölümde yer alanlar ise ahlak, ekonomi ve estetik gibi kültürel olgular olup, birey ya da toplumun davranışları konusunda etkilidirler.

Çevre jeolojisi, yüzey şekillerini, fiziksel yer süreçlerini ve doğal kaynakları incelemenin yanı sıra, çevreyi etkileyen felsefi ve kültürel konuları da kapsamına alarak irdeler. Buradan da çevre jeolojisinin, temel mirasını jeolojiden almakla birlikte, farklı bilim dallarının kavşağında yer aldığı ve çok disiplinli ortak bir çalışmayı zorunlu kıldığı kolaylıkla söylenebilir. Çevre jeolojisi, temel bilimlerin yanı sıra mühendislik, mimari, şehir planlaması ve tarih, felsefe gibi sosyal bilimlerden de yararlanarak zenginleştirilebilir.

Çevre jeolojisi, bir yönüyle Yer'i anlamayı kolaylaştıran bir uygulamadır. Yer'in, 5 milyar yıl evvel 'solar nebula' denilen bir gaz bulutunun ilk yıldızlara ve ilgili sistemlere dönüşmesi sırasında güneş sistemi içindeki yerini alarak oluştuğuna inanılır. Dünya'daki yaşamın ise en azından 2 milyar yıl evvel başladığı kabul edilir. Daha sonra farklı türde organizmalar ortaya çıkmış, yaşamış ve yaşadıkları ortamlara kalıntılarını bırakarak göçüp gitmişlerdir. Birkaç milyon yıl evvel de insanların atası sayılabilecek bazı canlıların yaşadığını jeoloji bilimi ortaya koymuştur.

Tüm canlılar doğduğu gibi, yaşamını tamamladıktan sonra ölürler. Evrensel bir geçmişin ve gelişimin yanında insanın yaşam süresi son derece kısadır. Ama bu kısa yaşamın da insana büyük bir sorumluluk yüklediği de açıktır. Örneğin, insanın çevre sağlığı koşullarının sağlandığı bir ortamda yaşaması son derece önemli bir olgudur. Dolayısıyla mevcut çevre sorunlarını çözmeye katkıda bulunmak üzere çaba göstermek gerekmektedir. Çünkü çevre sorunlarının yansıdığı ilk yer jeolojik ortamdır. Jeolojik ortam ayrıntılı ve güvenilir veriler çerçevesinde tanımlanmışsa, ortaya çıkan herhangi bir kirliliğin türü, yayılımı ve yayıldığı alanın boyutları da tanımlanıp, söz konusu sorunların çözümüne yönelik planlama yapılabilir.

Çevre jeolojisi analizleri, yer seçimi ve düzenlemesi ile arazinin kullanım planlamasına ilişkin değerlendirmeleri, doğa kaynaklı afetlerden ileri gelen can ve mal kaybının en aza indirilmesi çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca element, mineral, kaya, toprak ve su gibi gereçlerin kaynak olarak kullanılmasına ilişkin değerlendirmeleri ya da katı atıkların yönetimi ile doğal ortamı koruma uygulamalarına olan gereksinimleri irdelemek, çevre jeolojisinin önemli uğraşı alanlarıdır.

ÇEVRE JEOLOJİSİNİN FELSEFESİ

Çevre sorunlarının kültürel temelleri, diğer değer yargıları gibi nesilden nesle geçen ve yaşamın tüm yönlerini kapsayan bir olgudur. Onun için, eğer günümüz değer yargılarının kökeni ortaya konulacaksa, geçmişe bakmalı ve gelişmiş sosyal kurumlar ile işlevi olan çeşitli değerler bir düzen içinde irdelenmelidir. Değer yargılarının sürdürülmesinde sorumlu olan kurumlar ve bireyler arasındaki etkileşim, fiziksel çevremizi kavramaya yardım eden yöntemlerle iç içedir.

Çevre incelemelerinde topluma mal olmuş önemli olan değerler, başlıca felsefe, ahlak, ekonomi, politika, hukuk, estetik ve bir yönüyle de din çerçevesinde ele alınabilir. ***Felsefe,*** canlı ve cansız varlıklarla insanın evrendeki işlevi ile ilgili görüşlerin ve inançların tümünü irdeler. Evren ve Yer ile ilgili bütünsel bir açıklama yapabilme sistemi, ya da bilimsel düşünme sistemi olarak kabul edilen felsefede bilginin kaynağı akıl ve duyulardır. Önemli değerlerden biri olan ***'ahlak'*** sözcük anlamı itibariyle 'huy ya da amel' olup, insanın doğuştan getirdiği ya da sonradan kazandığı davranış biçimleri, huylar, tavırlar, maddi ya da manevi düzeyini gösteren tutum ve davranışları betimler.

Felsefede ahlak, eylem (action) kurallarını irdeleyen bilimdir. Hukukta ise ahlak, toplumun doğru saydığı davranışlar ve bir toplumda insanların uymak zorunda olduğu ilkelere uyma yönünde bir hak olarak kullanılmaktadır. Ahlak felsefesi, ya da başka bir deyişle ***etik,*** 'iyi' nin doğasını ve kaynağını araştıran ve 'nasıl yaşanmalıdır?' sorusuna yanıt arayan felsefe dalıdır.

Suları ve havayı kirletmek, ya da doğal ve tarihi güzellikleri tahrip etmek bireysel bir hak değildir. Böylesi kirliliklere yol açmak diğer insanların haklarına tecavüz etmektir. Dolayısıyla, çevreyi tahrip etmek etik de değildir. Çünkü çoğu insanlar temiz doğal bir çevrede yürümek ya da derelerde kano yapmayı sever. Doğal ve güzel ortamlar tüm insanlığın yararı için korunmalıdır. İnsanlar da doğaya saygı göstererek yaşamalıdır.

İnsan birçok yetenekten yoksundur. İnsanın görebildiği ya da algılayabildiği şeyler sınırlıdır. Dolayısıyla insan da diğer varlıklardan daha üstün bir yere de konulamaz ve her şey insana göre tanzim edilemez. İnsan, ancak doğal ortamın bir ürünü olduğunun ayırdına varırsa, insanın çevre konusundaki duyarlılığı sağlıklı bir biçimde şekillenir.

Çevre mühendisliğinde etik, bir projeye dair kimi değerlerin çakıştığı durumlarda karar verebilmek için sistemleştirilen bir çerçevede uygulanır. Kararın verilmesi ise tümüyle ilgili mühendisin kendi ahlaki değerlerine bağlı olmaktadır.

Uluslararası alanda ise ahlak, insan hakları çerçevesinde belirlenen ilkelerdir. Ahlakın kökü vicdandır. Vicdan ise insanın evriminde belirleyici olan biyolojik ve sosyal kodlardan beslenir. Kişiyi kendi davranışları hakkında bir yargıya varmaya iten vicdan, iyi ya da kötü karşısında şaşmaz bir yargıçtır. Vicdanın doğru yolu bulmak için bilgiye gereksinimi vardır. İyi ya da kötü anlayışının ülkelere, toplumlara ve çağlara göre değiştiğini kabul etmek gerekir. İnsan, kendi üzerine kapandığı ve kendisiyle hesaplaştığı oranda, denetlemesini reddedemeyeceği herhangi bir başka insanın kendisinden beklentilerine ve isteklerine karşı daha duyarlı olur.

Ahlakın amacı insanı erdeme kavuşturmaktır. Erdemlilik için cesaret, dayanıklılık, sabır, bilgelik, ölçülülük ve toplu yaşama gibi nitelikler beklenir. Bir ahlak bilimci olan Aldo Leopold mala karşı insanoğlunun zaafı olduğunu ve bu yönü ile ahlakın gelişmediğini ve zayıf kaldığını vurgular (Keller, 1979). Toplumların ilkel olduğu dönemlerde insan bile bir mal olarak düşünülmüştür. İnsanlar malın el değiştirmesini bugün de olduğu gibi belli kurallara bağlamış ve buna uygun politikalar oluşturmaya çaba göstermişlerdir. Doğru ve yanlış (ya da haklı ve haksız) kavramları 3000 yıl evvel eski Yunan Uygarlığı'nda yoğun biçimde tartışılmış ve günümüzde de bu tartışma devam etmektedir. Dinlerin de insanlığın geleceği ve mutluluğuna ilişkin ahlakın gelişmesine katkısı vardır.

Ahlaki değerler, insan davranışlarının egemen olduğu tüm alanlarda gelişmeye başladı. Günümüzde, uygarlığın gelişmesi ile fiziki çevre arasındaki ilişki de şekillenmeye ve yeni ahlaki bir değer olarak ortaya çıkmaya başlamıştır. Dolayısıyla genel ahlaki değerlerle birlikte çevre ahlakı, ekonomi ve politika, estetik ve yargı ile dinin etkilerini de çevre jeolojisinin felsefesi kapsamında ele kısaca almakta yarar vardır.

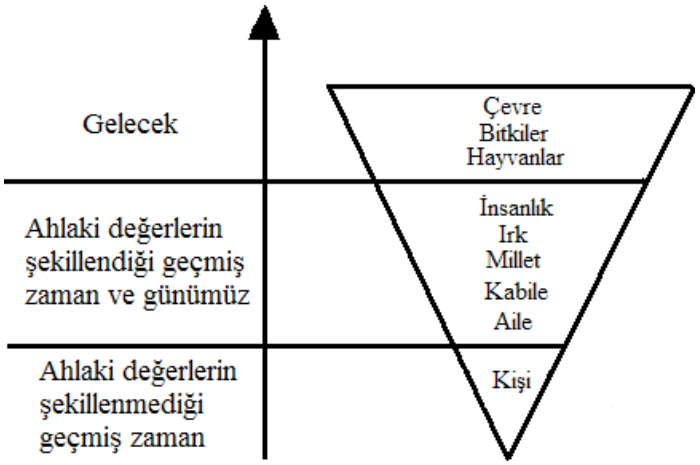
Çevre ahlakı

Yaşam biçimini, töreleri, ahlakı ve bunlarla ilgili kurumları değiştirmeye yol açacak yeni bir bilinç ya da tüm insanları yönlendiren bir çevre devriminin nasıl gerçekleştirilebileceği sorunu önemini korumaktadır.

Çevre ahlakı, çevreye yönelik özgürlüğün sınırlarını belirler ve yalnızca diğer bireylere karşı değil; bitkileri, hayvanları, toprağı, suyu ve atmosferi kapsayan daha geniş bir alana yani çevreye karşı sorumlulukların bileşimidir. Başka bir deyişle çevre ahlakı, doğal bir biçimde devam eden bitkileri, hayvanları ve yer kaynaklarını kapsayan tüm varlıklara ilişkin sorumlulukları ve yaptırımları kapsar.

Böyle bir ahlak, Yer'i fethetme işlevini, çevreyi korumaya dönüştürmektedir. Yani çevre ahlakı, yaşadığımız çevreyi her şeyden evvel sevmeyi, en azından saygı duymayı ve ekonomik kaygılarla çevreyi yozlaştırmamayı gerektirir.

Ahlakın evrimi, çevrenin de önemli bir olgusu olup, insanlar toplu yaşamaya başladığından bu yana sürekli değişime uğramıştır (Şekil 1). Başlangıçta ahlaki değerlerin şekillenmediği ve bu değerlerin insanların toplu halde yaşamalarına koşut olarak geliştiği söylenebilir. Günümüzde toplumların gelişmesine koşut olarak ahlak da gelişmeye açıktır. Gelecekte çevre ahlakı, ahlakın en gelişmiş düzeyini temsil edecektir. Böyle bir ahlak geyik, koyun ya da leylek gibi hayvanlara da bir tür olarak yaşamını sürdürmesini öngörmektedir. Benzer yargı, yapı hammaddeleri, madenler ve diğer doğal kaynaklar için de geçerlidir. Böylece estetik değeri olanlardan tehlikeli de olsa aslan, kaplan gibi bazı türleri tam anlamıyla koruma altına alma gereksinimi karşılanabilir.



Şekil 1. Ahlakın evrimi (Roderick Nash, 'Do Rocks Have Rights? The Center Magazine, 1977; Keller, 1979).

Çevre ahlakı ve sorumluluğu Stewart Udall tarafından yeniden tanımlanmıştır (Keller, 1979). Buna göre, her neslin kendi özelinde dünya ile bir randevusu olup bireylerin bazı sahip olma haklarına rağmen, tüm insanlar bu gezegenin kiracılarıdır. Tercihen ya da hatalı olarak tarlalarımızı mirasçılarımıza bölmekteyiz. Mirasçılar tarlayı kötü bir biçimde kullanabilir ya da tarlanın veriminin azalmasına neden olabilir ve fiziksel ya da ruhsal zenginliğin nesilden nesile aktarılabileceği bir dünya yaratabilirler.

Burada öngörülen mesaj, insanın çevrenin ayrılamaz bir parçası olduğu hususudur. İnsan, diğer bireylerden daha fazla olmamak üzere, onlara ahlaki bir zorunluluğu hatırlatma hakkına sahiptir. Bu zorunluluk, beraber paylaşmayı ve mutluluğu beraber yakalama şansını güvence altına alır.

Çevre ahlakı, genel ahlakın bir uzantısı olup, insanın çevre sorunları konusunda ortaya koyduğu tutum ve davranışlardır. Çevrede var olan canlı (insanlar, bitkiler, hayvanlar) ve cansız (toprak, yeraltı-yerüstü kaynakları, atmosfer, hidrosfer) tüm varlıklara karşı ortaya konulan tutum ve davranışlar çevre ahlakını betimler. Hedeflenen iyi bir çevre ahlakı ise çevrede yer alan tüm varlıkların daha iyi ve sağlıklı bir uyum içinde olması, korunması ve yaşam kalitelerinin geliştirilmesine yönelik olarak insanın ortaya koyduğu temel ilkelerdir.

Sonuç olarak, birey ya da çevreci olarak ahlaki değerlerin gelişmesine ve ahlaki düzeyin yükselmesine ne kadar katkıda bulunursak o ölçüde insanların mutluluğu yakalamasını da sağlamış

oluruz. Bunun da yolu, demokratik ve verimli bir tartışma ortamını yaratmaktan geçer. Böylece, en azından büyük çoğunluğun genel ahlaki değerleri ortaya çıkar ve bu değerlerin daha da geliştirilmesi olanağı doğar. Söz konusu değerler de yükseldikçe insanın ve çevrenin daha geniş bir çerçevede korunması kolaylaşır.

Ekonomi ve Politika

İnsanlar Amerika kıtasının keşfinden sonra, bu kıtaya yerleşirken onları başarıya götüren üç şeyi beraberinde götürmüşlerdir: Birincisi; teknoloji, ikincisi; yeni plan ve programlar, üçüncüsü de; araziye sahip olma, yani mülkiyet kavramına getirdikleri yeni yorumlama biçimleridir. Araziye sahip olma arzusu, başlangıçta araziye tümüyle egemen olmaktan ve arzuladığı biçimde değiştirmekten ibaretti. Doğa ile barışık olma felsefesine dayalı bir olgu söz konusu değildi.

Ancak Amerika kıtasında yaşayan yerlilerin toprağa bağımlılıkları ise inanç temellerine dayalıydı ve araziye bağlılıkları da derin bir saygı ile bütünleşiyordu. Yerlilerin sömürgecilerden (yani kıtaya yeni gelenlerden) farklı bir araziye sahip olma (sahiplik), yani mülkiyet kavramları vardı. Gelen sömürgecilerin sahiplik anlayışı, araziyi kimin çalıştırdığı ya da sahibin araziden ne kadar uzakta olduğunu gözetmeyen bir tasarruf hakkına dayanıyordu. Yerliler zamanla kendi arazilerini zorunlu olarak terk ettikten sonra, arazi kullanımı tümüyle kıtaya yeni gelen arazi sahiplerinin tutumuna bağlı olarak gelişti.

Günümüzde, Amerika, ilk yıllarda egemen olan, "Zenginlik Efsanesi" nden büyük ölçüde rahatsızdır. Çünkü var olan ahlak, Amerika'daki kaynakların sınırsız olduğunu ve dolayısı ile kaynakların korunması ve iyi yönetilmesine özgü bir çabanın da gereksiz olduğunu varsayar. Oysa halkın ve toplumun yönetimi, Eski Dünya'dan süregelen derin köklere sahip bir anlayıştır. Bu anlayış bundan sonra da devam edecek gibi gözükmektedir. Dolayısıyla kaynakların ekonomisi ve yönetme politikasının derinden sorgulanmasında yarar vardır.

Stewart Undall, 18. yy da kaynaklara sahip olma politikasının doğuşundan itibaren çevrenin de yozlaşmaya başladığını belirtir. Bu olay, 20. yy da kaynakların yağması biçiminde devam etmiştir. Daha sonra yenilikler ve teknolojik gelişmeler birbirini izlemiş; kaynakların da çeşitli biçimlerde yağması hızlanmıştır. Bu çerçevede ormanlar yağmalanmış, dolayısıyla toprağın erozyonu da olumsuz gelişmelerin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Politika ve ekonomideki olumsuz gelişmeler, insan yaşamını tehdit eder duruma gelince kaçınılmaz olarak olumsuzluklara karşı bazı yaptırımlara, yani yasal düzenlemelere de gereksinim duyulmuştur.

İlk kez 1884 yılında su kuvvetiyle çalışan hidrolik madencilik yasa dışı kabul edilmiştir. Ancak korumacılığın tohumları 1944 sonuna doğru atılmış, kaynakların korunması ve arazi kullanım planlamasının ana çerçevesi şekillenmeye başlamıştır. Bugün kaynakların sınırsız olmadığı ve kaynakların korunması gerektiği, dolayısıyla arazi ve su yönetimi gibi düzenlemelerin de gerekli olduğu bilinmektedir. Var olan kaynakların toplumun gereksinimleri doğrultusunda kullanılmaması ve giderek büyüyen atık sorunu, ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu sorunlar, demokratik sistemdeki bireysel ya da kurumsal eksikliklerin bir sonucudur. Ekonomi ve politikanın yanı sıra teknoloji, çevrenin korunması, kentleşme ve içinde yaşanılan sistemin birlikte düzenlenmesi, insanlığın geleceği açısından zorunludur.

Çevrenin korunmasını güçleştiren üç temel olgu göz ardı edilmemelidir:

1. Doğal kaynakları korumaya ilişkin bireysel ve toplumsal sorumlulukların eksikliği,
2. Çevre sorunlarını çözmek üzere gerekli olan yasal çerçevenin ve sosyal kurumların yetersizliği,
3. Teknolojinin olumsuz etkileri,

Hem kapitalist sistemde hem de komünist sistemde, çevre duyarlılığı gelişmemiştir. Onun için yapılan barajların çevreye etkileri, hava ve su kirliliği, kaynakların kötü kullanımına ilişkin sorunlar her iki sistemde de gündemden düşmemiştir. Bunlarla birlikte bireysel ve toplumsal tepkiler hep cılız kalmış, dolayısıyla çevreye yönelik yasalar ve sosyal kurumlar çevrenin korunmasında yetersiz kalmışlardır. Her yeni teknoloji de kaynakların kullanımını daha da körükleyerek çevrenin olumsuz etkilenmesine yol açmıştır. Demek ki üçüncü bir yol lazımdır. Yani tüm insanlığı kucaklayan ortak akıl doğrultusunda, ideolojiler üstü, dinler üstü bir yapılanma gerekmektedir.

Sonuç olarak, çevrenin yozlaşmasına yol açan ve sorumlu olan olgular, araziye sahip olma anlayışı, çevre ahlakının zayıflığı, kentleşme ve sanayileşmenin doğal sonuçlarıdır. Bu sonuçlar da sosyal, ekonomik ve ahlaki davranışların ortak bir ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. İyimser bir yaklaşımla, bireylerin davranışlarıyla şekillenen çevre ahlakı, gereksinim duyulan yasal değişiklikleri kolaylaştırmaktadır. Bu değişiklikler, demokratik sistemin anlamlı bir biçimde gelişmesine de katkıda bulunabilir. Öncelikle bireylerde ve toplumda çevre duyarlılığı gelişmedikçe; çevre ahlakı, ekonomi ve politika ile yasal çerçeve konularında çevre duyarlılığına yönelik kararlı adımlar atılmadıkça çevrenin kendiliğinden korunması mümkün değildir.

Estetik ve yargı

Çevrenin estetik yönlerini, doğaları gereği, değerlendirmek oldukça güçtür. Serin bir güz sabahında tetikteki bir avcı, yüksek dağlardaki akarsular boyunca balık avlayan balıkçı, özel bir konuda çalışmasını yoğunlaştıran bir fotoğrafçı, üç yaşındaki çocuklarına deniz kenarında salyangoz kabuğu gösteren bir anne-baba, dinlenen piknikçiler, kırlara doğru bisiklet süren bisikletçi, en azından doğayı çeşitli yönleriyle algılamaya ve kavramaya çaba harcamaktadırlar. Bireylerin deneyimleri ve algılamaları, ya da davranış biçimleri farklı olabilir. Fakat bunların her biri kendileri açısından eşsiz bir güzelliği temsil eder.

Güzellik anlayışı, felsefenin estetik olarak bilinen bir kolu olarak incelenmektedir. Günümüzde, güzellik, filozoflardan çok ressamlar ve sanat eleştirmenleri tarafından ele alınmaktadır. Filozof, estetiği hüküm ve bulguları içeren yargılara bağlar. Ressam ve sanat eleştirmeni ise şefkat ve hoşgörünün olmadığı değerleri ifade eden yargılarla daha çok ilgilenir. Onun için; değerlendirme ile tercih ya da öncelik verme arasında bir farklılık öngörülmektedir. Değerlendirme, daha nesnel bir yaklaşımı öngörür.

Estetiğin değerlendirilmesiyle gelişen sorunlardan biri kişisel tercihin belirlenmesidir. Örneğin bir kişi bir bataklıkta menderesler çizerek akan bir akarsuyu paha biçilmez bir zenginlik gibi görebilir. Bir başkası da dağda köpürerek akan bir ırmağı ya da şehirde güzel bir parkta oturmayı tercih edebilir. Estetiğin temel öğeleri yerel ya da bölgesel düzeyde akılcı bir arazi kullanım planlamasının bileşeni olabilirler. Ancak doğal estetiği değerlendirmenin yöntemi geliştirilmelidir. Bu yöntem, sayısal verilerle değerlendirilmesi kolay ve anlaşılır olmalı, inanılır ve kestirilebilir olmalıdır. Örneğin Keller' e (1979) göre estetiğin niteliğini (kalitesini) belirleyen üç önemli ölçüt vardır:

1. Tek (biricik) olma, tekçe doğa ile uyumlu bir birimi temsil eder.
2. Canlılık, çarpıcı ve doğal (kirlenmemiş) bir görünümü temsil eder.
3. Değişik ve farklı olma, bu da bir olgunun ya da yapının diğerlerinden nasıl bir farklılık sunduğunu temsil eder.

Dinin çevreye etkileri

Çevrenin yozlaşmasına neden olan etmenler arasında genel olarak dinin rolü son derece tartışmalı bir konudur. Bu konuda üç ayrı ekol tarafından farklı görüşler ortaya koyulmuştur (Şekil 2a, b, c). Ekollerden birincisi dini mirasın, batı uygarlığının gelişmesinde, çevre ile ilgili davranışlarımıza dair her şeyi belirlediğini öngörmektedir (Şekil, 2a). Buna göre, dini mirasın ürünü olan ***'doğadaki her şey insan içindir'.*** Dolayısıyla insanın doğadan yararlanma hakkı sınırsızdır ve doğadan yararlanma

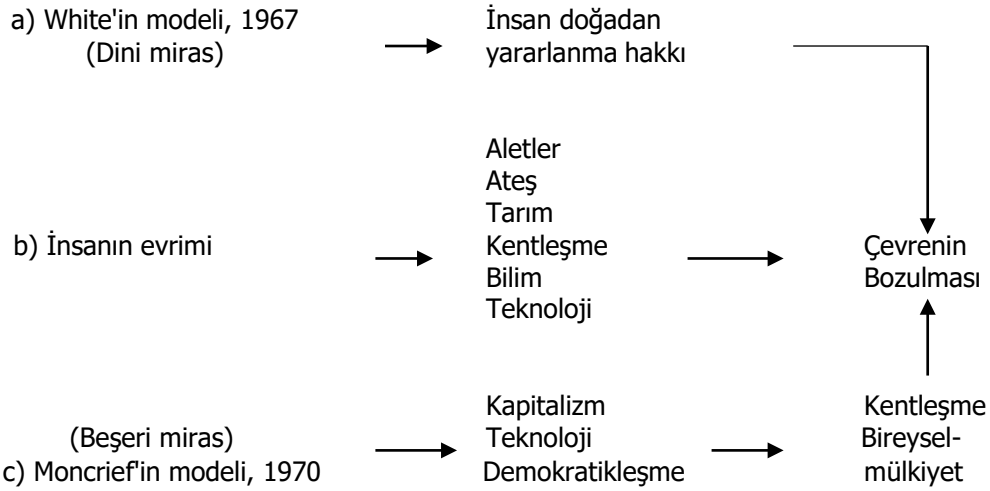
hakkı yargısına dayanan davranışlarımız dolayısıyla çevre yozlaşmaktadır. Bir papaz olan Lynn White ise dini görüşe ilişkin aşağıdaki saptamaları yapmıştır:

1. Din, hümanizmin doruğudur. Ona göre, insanın doğadan yararlanması Tanrı' nın isteğidir. Tüm nimetler, Tanrı' nın insana bağışıdır.
2. Ancak insan, Tanrı' nın bağışı nimetlerden yararlanırken çevreyi de tahrip etmekten kendini alamamaktadır.

Öte yandan, Çin' de Budizm inancı çerçevesinde insanı yakmak için bol miktarda odunun kullanılması, Japonya' da Budist tapınakların büyük ağaçların kesilerek inşa edilmesi, dini etkinliklerin çevre sorunlarını artırdığını göstermektedir. Bu konularda elbette bir genelleme yapmak yanlış olur. Ne var ki, dini tutum ve inançların, çevre sorunlarının başlıca nedeni olmadığı sonucuna varılsa bile, bu da, dinin çevreye hiçbir etkisi olmadığı anlamına gelmez.

Ekollerden ikincisi, çevrenin yozlaşmasında insanın evrimini sorumlu olarak kabul eder (Şekil, 2b). Elbette insanın evrimi ile birlikte, insanın bilim ve teknolojiye olan katkıları sırasında yaptığı faaliyetlerin çevrenin yozlaşmasına neden olduğu da göz ardı edilmemelidir. İlk aletlerin yapımı, ateşin keşfi, tarıma geçiş ve kentleşme, insanın evrimine koşut olarak çevreyi yozlaştığı ileri sürülmektedir. Bu ekol, dini mirası reddeder.

Ekollerden üçüncüsü ise insani mirasın çevreyi yozlaştırdığını öngörür (Şekil, 2c). Bu görüşe göre, insanın arazi ile ilişkisinin belirleyici olduğunu ve bunun dini ve evrime yönelik kültürel eğitimin de ötesinde bir olgu olduğunu kabul eder. Yani bu ekol, insanın kapitalizm ile birlikte teknoloji üretmesi ya da egemen olma ve çok kazanma hırsı gibi içgüdülerinin (beşeri mirasın) insanın özünde var olduğu, bunun da çevreyi yozlaştırdığını kabul eder (Şekil, 2c).



Şekil 2. Çevrenin bozulmasına yol açan olası işleyişi gösteren modeller (Keller, 1979).

Sonuç olarak artan nüfus, kaynaklara ve yeniliklere olan gereksinimi artırmıştır. Ayrıca demokratikleşme, kentleşme ve bireysel mülkiyete kadar uzanan olguların da günümüzde çevrenin yozlaşmasına yol açtığı söylenebilir. Yani dini ve beşeri mirasın yanı sıra insanın evrimi de çevrenin yozlaşmasına yol açtığı söylenebilir.

Çevrenin değişimi sırasında var olan mevcut koşullara uyum gösteren türler ayakta kalabilmekte, uyum gösteremeyenler ise yok olmaktadır. Örneğin, gereksinim duyduğu gıdalara ulaşamama sonucu, geyik önce ufalarak küçülmüş ve gerekli önlemler alınmazsa yok olup gidecektir.

ÇEVRE JEOLOJİSİNİN TEMEL İLKELERİ

Keller (1979)' in kavram (concept) olarak kullandığı terimin bu bölümde 'ilke' olarak kullanılması tercih edilmiştir. Aslında ilke, principle sözcüğünün karşılığı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla ilkenin daha geniş bir anlamı vardır. Ancak ilke, genel olarak bir ilgi alanın varsaydığı doğruları da tanımlar. Yani test edilmiş ya da deneysel olarak varılan sonuçlara göre doğru olduğuna inanılan önermeler ilke olarak tanımlanır. Bu çerçevede, çevre jeolojisi hangi doğru ilkeleri benimseyip, çevre sorunlarını çözebilir? İşte burada sunulan ilkeler söz konusu çerçeveyi tanımlar. Bu ilkeler, tam ve eksiksiz bir liste olmamakla beraber, çevre jeolojisinin felsefi çerçevesini de tamamlar. Her ilkenin iyi anlaşılması, çevre jeolojisinin birikimlerinden yararlanarak çevre sorunlarını çözmede önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Birinci ilke

Dünya, özünde kendi içinde işleyen kapalı bir sistemi (döngüyü) temsil eder.

Bu ilkeye göre, söz konusu sistemi ve sisteme dair süreçleri aklın ve bilimin öncülüğünde incelemek ve gerekli önlemleri önceden almak mümkündür.

Samanyolu Galaksisi, evrensel sistemin bir parçası olarak kabul edilebilir. Dünya, Güneş sistemi içinde bir gök cismidir. Dünya'ya dair sistemler, karşılıklı birbirini etkileyen ya da kısmen denetleyen bölümlerden oluşmaktadır. Örneğin; Dünya da dört bölüme ayrılabilen bir sistem olarak düşünülebilir: 1. Atmosfer, 2. Hidrosfer, 3. Biyosfer ve 4. Litosfer. Bu bölümlerin karşılıklı etkileşimi ve buna bağlı olarak gelişen döngüler sonucu Dünya'nın günümüzdeki yüzey şekilleri meydana gelir. Herhangi bir bölümde gelişen süreçlerin büyüklüğü ya da sıklığı diğer bölümleri de etkiler. Çizelge 1'de bazı doğal Yer süreçlerin oranları görülmektedir.

Çizelge 1. ABD özelinde gelişen bazı doğal Yer süreçlerinin oranları (Keller,1979).

Yer süreçleri	**Bazı tipik oranlar**
Erozyon	
Amerika' nın ortalama erozyon oranı	1000 yılda 6,1 cm
Colorado Irmağı drenaj alanı	1000 yılda 16,5 cm
Mississipi Irmağı drenaj alanı	1000 yılda 5,1 cm
Çökelme (Sedimentation)	
Colorado Irmağı	Yılda $281x10^6$ m^3
Mississipi Irmağı	Yılda $431x10^6$ m^3
Tektonizma (tectonism)	
Deniz-tabanı yayılması	
K Atlantik	Yılda 2,5 cm
D Pasifik	Yılda 7-10 cm
Faylanma	
San Andreas (Kalifornia)	Yılda 1,3 cm
Dağların yükselmesi	
Cajon Geçidi, San Bernardio Dağı (Kalifornia)	Yılda 1 cm

Yani, çevrenin değişik bölümlerinde oluşan değişim eğilimi, '**her şey birbirini etkiler**' biçiminde özetlenebilir. Ancak, Dünya'da gelişen değişim ya da yer süreçleri, Dünya'nın dışında olan herhangi bir güç tarafından denetlenmemektedir. Yer süreçlerinin büyük bir bölümü döngülerle temsil edilmektedir. Yer dinamik bir yapı olup, madde ile enerjinin sürekli değişimini içeren ve evrim geçiren bir sistemdir. Böyle bir yorum, Güneş Dünya'ya enerji verdiği sürece kabul edilebilir.

Örneğin, yüzey sularının buharlaşması, bulutların oluşması ve tekrar yağış olarak yeryüzüne inmesi, bir döngüyü temsil eder, bu da biyosfer ve litosfer gibi diğer bölümleri etkiler. Ayrıca, kıtaların devinimi, havza oluşumları ve kıta-kıta çarpışmaları başka bir döngü olup bu da (biyosfer, hidrosfer ve litosfer gibi) diğer tüm bölümleri etkiler. Sonuç olarak, bu ilkenin sağladığı bilinçle çevre jeolojisinin çevre sorunlarının çözümüne katkısı sağlanmalıdır. Yapılması gereken ise, yer süreçlerini doğru dürüst incelemek ve bu süreçleri denetleyerek en azından insana ve çevreye zarar vermesini önlemektir.

İkinci ilke

Dünya, kaynakları sınırlı ve yaşamamız için uygun koşulları olan biricik çevredir.

Bu evrende var olma hakkımız, bir ağaç ya da bir yıldızın varlığından fazlalığı olmayan bir haktır. İnsan evrenin ve Yer'in bir ürünü ve parçasıdır. Ancak bugünkü teknoloji ile insanın ulaşabileceği en yakın yıldız, 2 ışık yılı uzaklıktadır. Ulaşsa bile, böyle bir yıldızda yaşam koşulları olmayabilir. Güneş sisteminde yer alan gezegenlerde ise yaşam koşulları bulunmamaktadır. Sonuç olarak, insanların başka yaşanabilir bir dünyaya erişemeyeceğinden, bu Dünya'da bir tutsak gibidir.

Öte yandan günümüzdeki uygarlığın ve teknolojinin temellerini oluşturan metalik madenler ve fosil yakıtların bir gün bitebileceği açıktır. Böyle bir durumda, bu yeni çerçevede ya yenilenebilir kaynaklara yönelecek ya da diğer canlı türleri gibi yok olma noktasına gelecektir. İnsan, Dünya'nın varlıklarından sadece biri olduğunu görmeli, kaynaklarını ve çevresinin koşullarını yozlaştırmadan, büyük bir sorumlulukla Dünya'ya yaklaşmalıdır.

İnsan türünün tarihi birkaç milyon yıla dayanır. Jeolojik olarak bu çok kısa bir süredir. Örneğin dinozorlar 100 milyon yıl gibi uzun bir süre Dünya'da yaşamlarını sürdürmüştür. Yer tarihine bakıldığında çoğu türler de belli jeolojik devirlerde yaşamış olup günümüzde o türlerin temsilcileri bile yoktur. İnsanoğlu bu türlerin de tarihini irdeleyip yazma olanağını bulmuştur.

Ancak, insanın tarihini kim ve nasıl yazacak? Ümit edelim ki insan, yer tarihinde kısa bir zaman aralığını temsil eden jeolojik kayıtta bir indeks fosil olmaktan daha öte bir varlık olarak yaşamını sürdürsün. Bu günkü vurdumduymazlık ve sorumsuzluk devam ederse, insan, jeolojik bir katı bile temsil eden indeks bir fosil de olamaz.

Üçüncü ilke

Bugünün doğa kaynaklı süreçleri, çevremizi etkilemektedir. Bu süreçler tüm jeolojik zamanlarda da çevremizi şekillendirmiştir. Bu süreçler doğal ya da yapay bir biçimde devam edecektir.

Bu ilke, tekdüzelik ilkesi olarak bilinir ve yalın olarak "***Günümüz, geçmişin anahtarıdır.***" biçiminde ifade edilebilir. Bu ilke, ilk kez James Hutton (1785) tarafından ortaya konulmuş ve John Playfair (1802) ile Charles Lyell tarafından 19. yy'da geliştirilmiştir. Günümüzde, bu ilke yer bilimlerinin temel ilkelerinden biri olarak kabul edilir.

Örneğin akarsu tortulları ya da herhangi bir buzulun morenleri bir dağın yamacında bulunursa, bu yörede bir zamanlar akarsu yatağı bulunduğunu ya da bir zamanlar bu yörede buzulların geliştiğini düşünürüz. Tekdüzelik ilkesi doğal jeolojik süreçlerin zaman içinde aynı şekilde tekdüze kaldığı anlamını ifade etmemektedir. Başka bir deyişle aslında, akarsu vadisinin yükselerek günümüzdeki konuma geldiği, yani kısaca bu durum ***'topografyanın değişimi'*** olarak ifade edilmektedir.

İnsan yaşamının etkileri, küresel çerçevede küçük ise de, yerel bir alan için önemlidir. Örneğin, yapılaşmanın olduğu bir yerde meydana gelen yıllık erozyon (aşınma), bitki örtüsü ile örtülü aynı büyüklükteki bir alanın birkaç katı olabilir. Bunun nedeni, yapılaşma ile bitki örtüsünün yok edilmesiyle ilgilidir. Çünkü bitki örtüsü, erozyonu önleyen bir etmendir. Bir mühendis, bugünün geçmişin anahtarı olduğunu gözettiği oranda, var olan bilgisini arazi kullanım planlamasında kullanmaya özen gösterir.

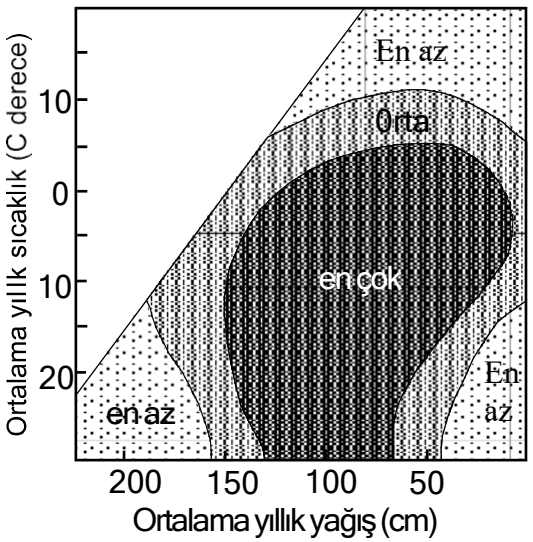
Dördüncü ilke

Tehlike yaratan yer süreçlerinin anlaşılması: İnsan için tehlikeli olan yer süreçleri (earth processes) daima var olmuştur. Bu doğa kaynaklı tehlikeler aklın ve bilimin yol göstericiliğinde tanımlanmalı ve olabildiğince bu tehlikelerden korunmalıdır. Tehlikelerin insan yaşamına ve malına olan etkileri en aza indirgenmelidir.

İnsan, koşulların en sert olduğu Buzul Çağı'ndan geçmiş ve günümüze ulaşmıştır. Yani, insanoğlu en sert koşullara karşı dayanıklı olup yaşamını ve soyunu sürdürmek için doğa ile dişe diş mücadele ederek bu günlere gelmiştir.

Doğa kaynaklı yer süreçleri, dış kökenli (exogenetic) ya da iç kökenli (endogenetic) diye ikiye ayrılır. Dış kökenli süreçler, günleme (weathering), erozyon (erosion), çökelme (deposition) şeklinde olup akarsu, rüzgâr ya da buzul gibi etmenlerin denetiminde gelişirler. İç kökenli süreçler ise volkanik etkinliğin, havzaların, kıtaların ve dağ dizilerinin gelişmesini yönlendiren olgulara (diastrophism) yol açarlar. Bu süreçlerin gelişmesiyle depremler, heyelanlar, çamur akmaları meydana gelerek can ve mal kaybına yol açmaktadır.

Doğa kaynaklı yer süreçleri, bu süreçlerin gelişimine yol açan çevresel koşullar irdelenerek tanımlanabilir ya da daha önceden kestirilebilir. Bu süreçlerin yaratabileceği hasar bir yazgı değildir. Örneğin erozyonun şiddeti, ortalama yıllık yağış ve ortalama yıllık sıcaklık değişimleri çerçevesinde ortaya konulabilir (Şekil 3).



Şekil 3. Erozyon şiddetinin ortalama yıllık yağış ve sıcaklık çerçevesinde dağılımı (Peltier, 1950).

Jeoloji mühendisleri, potansiyel tehlikeli süreçleri tanımlayarak, planlamacılara ve yetkililere gerekli bilgileri sağlayabilirler. Daha sonra insan yaşamını ve malını tehdit eden çeşitli riskleri en alt düzeye indirmek üzere çeşitli önlemler geliştirilebilir. Bu çerçevede, günümüzdeki bir çamur akmasının (mudllow) ayrıntıları ve oluşum süreçleri irdelenerek, gelecekte olması olası bir çamur akmasından korunmak için çeşitli önlemler ortaya konulabilir.

Beşinci ilke

Arazi kullanımında ekonomik ve çevresel (estetik) olguların dengelenmesi:

Arazi ve su kullanım planlamasında, ekonomik kaygılarla, estetik gibi olgular arasında bir denge sağlama hususunda yoğun bir çaba gösterilmelidir.

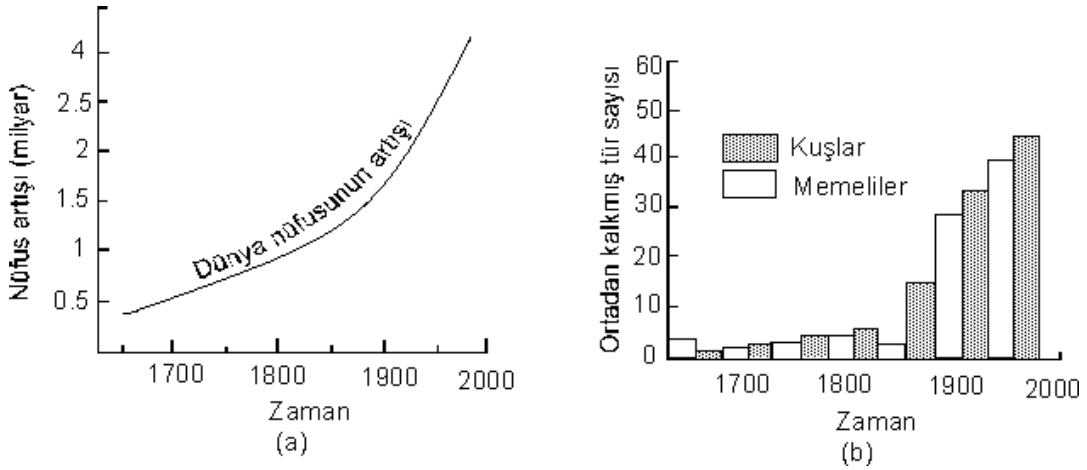
Ekonomik ve estetik ölçütlerin dengelendirilmesi arzulanan, ancak oldukça zor bir çabadır. Sorun, bu dengelemenin neye göre ve nasıl yapılabileceği konusunda yoğunlaşmaktadır. Öncelikle estetik değerlendirmeye ilişkin benimsenmiş ölçütler geliştirilmelidir. Ayrıca seçenekleri sıralamak ve ilgili verileri analiz etmek için güvenilir sayısal bir yöntem geliştirilmelidir. Sonunda çevre açısından değerli olan kaynakları haritalamak üzere kimi teknikler geliştirilmelidir. Bu çerçevede doğal ve kültürel değerlerin korunması için yoğun bir çaba harcanmalıdır. Bu çaba çevrenin korunabileceği bir çerçeveye oturtulmalıdır. Görünüm, yani estetik doğal bir kaynak gibi düşünülmektedir. Bir yörenin estetik değerlendirilmesi, çevresel etkiye ilişkin söylemin önemli bir parçasıdır.

Altıncı ilke

Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde ÇED planlaması:

Arazi kullanım etkileri giderek büyüme eğilimindedir. Onun için insanın arkadan neyin geleceğini (yani sonucun neye varacağını) kestirme yükümlülüğü de vardır.

Yukarıda belirtilen ekonomik ve çevresel olguların dengelenmesi sürdürülebilir bir anlayış çerçevesinde ve ÇED planlanması ışığında gerçekleştirilmelidir. Örneğin, insan nüfusunun artışı ile kuşlar ve memeli türlerinin zaman içinde hızla tükenmesi arasında belirgin bir koşutluk vardır. Şekil 4'de nüfus artışı ile türlerin yok oluşu arasındaki koşutluk açıkça görülmektedir. Türlerin yok oluşu böyle devam ederse bir gün beslenme zincirindeki yeri nedeniyle, insanın kendisi de yok olacaktır. Yani insanın, yapacağı her faaliyette, çevresine karşı bir sorumluluk duyması gerektiği son derece açıktır.



Şekil 4. Dünya nüfusunun yıllara göre artışı (a) ile aynı zaman aralığında tükenmiş olan çeşitli türlerin sayısı (b) arasında izlenen koşutluk (Keller, 1979).

Örneğin, Suriye'nin kuzeyinde bir zamanlar oldukça zengin olan El Bare gibi şehirler bugün ölüdür. Bunlar, Araplar, Persler ve Haçlılar zamanında defalarca istilaya uğramış, yakılmış, yıkılmış ve bitki örtüsü tümüyle tahrip edilmiş olup daha sonra da yoğun erozyon nedeniyle gelişememiş şehirlerdir. Filistin, 300 yıl evvel çok zengin ve güzel bir yöre idi. Bu bölge de savaşlar ve erozyon nedeniyle büyük ölçüde tahrip olmuştur. Bu örnekler, insanın, arazi kullanımı üzerinde ne ölçüde önemli ve etkin bir yer tuttuğunu göstermektedir.

Yeryüzü insan eliyle büyük bir değişime uğramıştır. Ancak, Dünya, dedelerimizden arta kalan bir miras değil, torunlarımızdan ödünç aldığımız bir mekândır. Gelecek nesilleri de gözeterek, arazi kullanımının etkilerinin gelecekte nasıl olacağı öngörülmelidir. Yani çevresel değerlerle ekonomik değerlerin birbirini dengelediği bir planlamayı zorunlu kılmaktadır. ÇED de sürdürülebilir bir yaşama göre düzenlenmiş planlamadır.

Yedinci ilke

Çevre jeolojisine çok disiplinli bir yaklaşım: Çevre jeolojisine ilişkin temel unsurlar, jeolojik unsurlar olmakla birlikte, çevrenin korunması, çeşitli disiplinlerin geniş bir çerçevede katkısını gerektirir.

Çevre, meslek şovenizminin yapılmaması gereken bir alandır. Ancak, bu ilke, yerbilimlerinin genel olarak çevre bilimleriyle büyük ölçüde örtüştüğü gerçeğine işaret etmektedir. Ayrıca, çevrenin kapsamlı olarak değerlendirilmesi, çeşitli mühendislik uygulamaları ile birlikte temel ve sosyal bilimlerin yanı sıra sağlık bilimlerinin çevreye yönelik çeşitli disiplinleri arasında bilgi iletişimini de gerektirir. Yani bir yönü ile çevre jeolojisi yüzey şekillerini, fiziksel yer süreçlerini ve doğal kaynakları incelemenin yanı sıra, çevreyi etkileyen felsefi ve kültürel konuları da kapsamına alarak irdeler. Buradan da çevre jeolojisinin, temel mirasını jeolojiden almakla birlikte, farklı bilim dallarının kavşağında yer aldığı ve çok disiplinli ortak bir çalışmayı zorunlu kıldığı kolaylıkla söylenebilir. Çevre jeolojisi, bir yönüyle Yerküreyi anlamaya, doğal kaynakları değerlendirirken ve doğal afetleri irdelerken çevrenin de korunmasına katkı sağlayan bir uygulamadır.

Tüm insanlar ve ekosistem, doğrudan ya da dolaylı olarak doğa kaynaklı ve insani (beşeri) afetlerden etkilenmektedir. Bu süreçlerin değerlendirilmesi, atıkların uzaklaştırılması, karayolları güzergâh seçimi, arazi kullanım planlaması ve madencilikle ilgili projeler birçok disiplinin dayanışmasını gerektirmektedir. Bu dayanışma, bilimin evrenselliği ve çeşitli yasal düzenlemeler çerçevesinde özendirilmelidir. Yani sonuç olarak çevre jeolojisi, çevresel sorunların çözümünde çok disiplinli bir anlayışı, temel ilkelerden biri olarak kabul etmektedir.

SONUÇ

Çevre jeolojisinin felsefesi ve temel ilkeleri gözetilerek, tüm doğa kaynaklı ya da insani faaliyetlerin çevresel etkileri en azından minimize edilebilir. Bunun için, çevre jeolojisi ışığında, öncelikle jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerin bir model çerçevesinde entegre edilmesi gerekir. Oluşturulan bu modelin de toprak, su, hava ve ekosistem gibi çevrenin diğer bileşenleri ile birlikte değerlendirmek zorunludur (Yılmaz, 2008a; 2009b).

KAYNAKLAR

Aydın, A., 2007, Ahlakın Kökeni ve Evrimsel Etik, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 2007/2 s.40-43.

Keller, E.A., 1979. Environmental Geology, Second Edition: Charles E. Merril Publishing Company, A Bell and Howell Company, Columbus, Ohio 43216, USA, 584 s.

Knödel, K., Lange, G. Ve Voigt, H. J., 2007, Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer Berlin Heidelberg New York, USA, 1357s.

Leopold, L.B., 1969. Quntative comparison of some aesthetic factors among rivers. U.S. Geological Survey Circular, 620 s.

Nicosen, M., 1970. Man's use of the Earth: historic backround. In Man's impact on environment, ed. T.R. Detwyler, McGraw-Hill, New York, s.10-21.

Peltier, L.C., 1950. The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. Annals of the Association of American Geographers, 40, s. 214- 236.

Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.

Yılmaz, A., 2009a, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Yılmaz, A., 2009b, Çevre Kaynakları, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.117, Sivas, 348 s.

Bölüm 2. EVREN VE YER, YER'İN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Bu bölüm, iki alt bölüme ayrılarak sunulacaktır. Önce **'EVREN VE YER'İN KONUMU'** ele alınacaktır. Bu çerçevede Evren'in oluşumu, boyutları, çeşitli galaksilerin varlığı, içinde Güneş Sistemi'nin de yer aldığı Samanyolu Galaksisi, Güneş Sistemi'nin temel özellikleri, Yer'in Güneş Sistemi içindeki yeri ve konumuna dair bazı bilgiler sunulacaktır. Daha sonra gökyüzünden yeryüzüne inilecek ve **'YER'İN TEMEL ÖZELLİKLERİ'** irdelenecektir. Bu bölümde de Yer'in şekli, yerçekimi ve izostazi, yerin manyetik alanı (jeomanyetizma), kayaların mıknatıslanması ve paleomagnetizma, yerin sıcaklığı, yerin katmanları, magmatizma, volkanizma gibi dünyamızın genel yapısını anlamayı kolaylaştıran ve çevre ile ilişkilerini kurmaya katkı sağlayan bazı özgül (karakteristik) nitelikler sunulacaktır.

2. 1- EVREN VE YER'İN KONUMU

GENEL BİLGİLER

Evren ve Yer'in kökeni, yapısı ve geleceği insanoğlunun aklını hep meşgul etmiştir. Bugün ortaya koyulan görüşler, birer kuram düzeyindedir. Bu bölümde sınırlı da olsa, Evren'in oluşumu, boyutları, çeşitli galaksilerin varlığı, içinde Güneş Sistemi'nin de yer aldığı Samanyolu Galaksisi, Güneş Sistemi'nin temel özellikleri, Yer'in Güneş Sistemi içindeki yeri ve konumu, dolayısıyla Yer'in ve insanın Evren'deki durumu hakkındaki bilgiler kimi varsayımlar ve kavramlar ışığında öz olarak sunulacaktır. Bu arada, Evren ve Yer ile ilgili temel kavramlardan önce, Oldroyd'un (1996) İnsan Düşüncesinde Yerküre adlı kitabında anlatılan yaradılışla ilgili bazı söylencelere kısaca yer vermekte yarar vardır.

En eski yaradılış söylencelerinden biri de Babil'den kalmadır. Kil tabletler, üzerinde çivi yazısıyla geçirilmiş Enuma Elish Nineve'de, Asurbanipal'in kitaplığının yıkıntıları arasında bulundu. Söylence, Babil'in kuvvetli tanrısı ***Marduk***'un nasıl egemenlik kurup başa geçtiğini anlatıyor. Marduk önce Dünya'nın ilk denizlerini simgeleyen ***Tiamut***'la korkunç bir kavgaya tutuşur. Canını aldığı düşmanın bedeninden önce gökyüzünü yapar; takımyıldızlarını yerli yerine oturtur, yılın uzunluğunu ölçer, göklerin eksenini belirler. Güneş ile Ay yörüngelerine oturtulur ve yenik düşmüş tanrıçanın bedeninin bir parçasından yerkürenin yapımında ve Fırat/Dicle bölgesinin yüzeyini biçimlendirmede yararlanılır.

Marduk, Apsu denilen büyük bir denizin (okyanusun) göbeğinde doğmuştur. Buna göre denizler zaman sıralamasında Marduk'tan önce vardı. Marduk, Tiamut ve daha önce varolan Apsu'dan önce ne vardı? Bu tanrıları var eden başka tanrılar mı vardı? Söylence, bu sorunlarla ilgilenmeden Babil Krallığı'nın egemenliğini bir destan havasında anlatmaya devam etmektedir.

Öte yanda Tevrat ve Zebur gibi kutsal kitaplarda (Eski Antlaşma'nın birinci kitabında) yaradılışın altı günde gerçekleştiği anlatılır. Yedinci günde ise Tanrı dinlenmeye çekilir. Bu söylencenin yedi günde bir ibadeti vurgulamak üzere Musevi din adamlarınca çıkarıldığına inanılır. Daha sonra ortaya çıkan diğer tek tanrılı dinlerde de Evren'in ve Yer'in Tanrı tarafından yaratıldığı kabul edilmektedir. Bu inançlara göre, Tanrı ezelden beri vardır ve ebedidir. Her şey Tanrı'nın iradesi içinde gelişmektedir. İlkçağlarda ve Orta Çağ boyunca yaradılışın çeşitli yorumlarına tanık olunmaktadır. Tüm bunlar günümüz bilgileriyle karşılaştırıldığında, insanın nasıl büyük bir evrim geçirdiğini algılamak zor olmuyor.

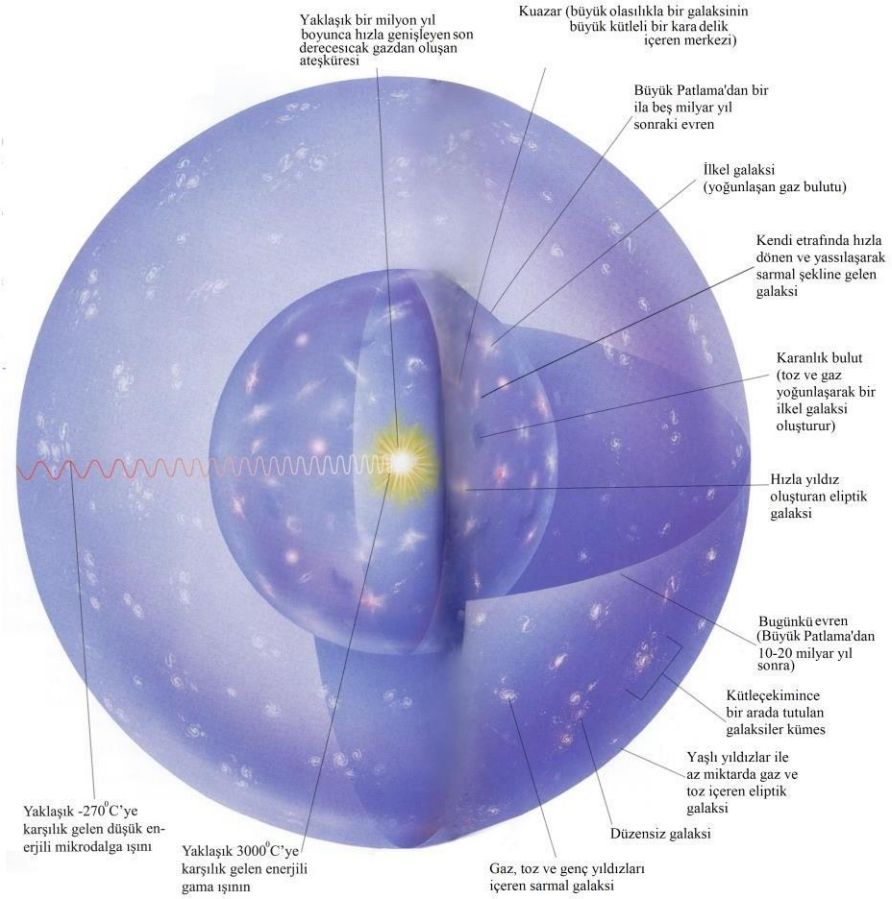
Aydınlanma çağı ile birlikte, 17.yy, özellikle 18.yy ve 19.yy'da adım adım ***jeoloji*** biliminin gelişmesine koşut olarak, Evren'e ve Yer'e ilişkin insan aklının ürünü pek çok kuram varlığını sürdürmektedir. Jeoloji (Yerbilimi), ***evrenbilim*** (kozmoloji) ve ***evrendoğum*** (kozmogoni) dallarına ayrılmaktadır. Robert Hooke (1635-1703), James Hutton (1728-1797), William Smith (1769-1839), Charles Lyell (1797-1875), James Hall (1811-1898), John Wesley Powell (1834-1902), Eduard Suess (1831-1914), Alfred Wegener (1880-1930) ve daha pek çok yerbilimcinin çabasıyla Yerküre ile ilgili çeşitli kuramlar ise daha da geliştirildi. Günümüzde doğrudan Yer'e özgü benimsenen ***"Levha Tektoniği"*** kuramı da ilerdeki sayfalarda ayrı bir bölüm olarak sunulmuştur.

Uzay Jeolojisi (Astrojeoloji), ise Güneş sisteminde yer alan gezegenlerin ve uydularının yanı sıra meteorlar ve kuyrukluyıldızlar gibi diğer gökcisimlerinin jeolojisini ele alan bilim dalıdır. Bu bilim dalı, esas itibarıyla, yerkürenin jeolojisine dair bilim dallarının bilgi birikiminden esinlenmektedir. Bu alanda çalışan meslektaşlara ise ***Uzay Jeoloğu (Astrojeolog)*** denir (Ulutürk, 2020).

EVREN

Gecenin zifiri karanlığında gökyüzüne bakıldığında, sayılamayacak kadar çok sayıda, parlaklıkları birbirinden farklı gök cisimleri görülür. Ayrıca, sonsuz büyüklükteki evrende çıplak gözle göremediğimiz milyarlarca gökadalar (galaksiler) vardır. Bir gökada, birbirine kütle çekimi ile bağlı çeşitli yıldızlar, yıldız tozları, karanlık madde ve daha pek çok sayıda bileşenden oluşur. Bir kurama göre, evrendeki dengesizliklerden dolayı küçük yapıların birleşerek büyümesi ile gökadalar oluşur. İçinde bulunduğumuz gökada dışında, evrende milyarlarca gökada olduğu kabul edilir (Şekil 1) ve bugünkü teleskoplarla milyonlarca gökadayı gözetlemek de mümkündür (Yılmaz, 2008).

Gözle görebildiğimiz ya da teleskoplarla gözetleyebildiğimiz yıldızların bir bölümü, dünyanın da içinde yer aldığı, Samanyolu dediğimiz gökadayı (galaksiyi) oluştururlar. Şekil 2 ve 3'te ise bazı tipik gökadalar görülmektedir. Bilinen gökadaların % 17' si elips şeklinde, % 80'i helezon biçiminde, % 3'ü de şekilsizdir. Bazı gökadalarının en azından 2 milyar ışık yılı uzaklıkta olduğu sanılmaktadır. Günümüzde evrenin oluşumundan çok kısa bir süre sonra oluşmuş gökadalar belirlenmiştir.



Şekil 1. Evrenin genel görünümü açık renkli kümelerin her biri bir gökadayı temsil etmektedir (TÜBİTAK, 2000).

Şekil 2. Hubble teleskopunun çektiği en güzel fotoğraf seçilen bu karede Dünya'dan 28 milyon ışık yılı uzakta olan Sombrero Gökadası görülüyor
http://www.haylazturk.com/fotografcilik/29466-uzayınderinlikleri.html.tr

Şekil 3. Hubble'ın çektiği ve ikinci en güzel resim seçilen karede dünyadan 3000-6000 ışık yılı uzakta olan 'Ant Nebula' resmediliyor
http://www.haylazturk.com. /fotografcilik/29466-uzayınderinlikleri.html.tr

Tüm gökadaların merkezinde bir kara delik bulunmaktadır. Bu kara deliklerden süper sıcak gazlarla çevrili olanlara ***kuasar*** adı verilmektedir. Bir kuasarın olağanüstü parlaklığı, merkezindeki kara deliği çevreleyen gazın, olay ufkunu geçemeyen bölümünün, yüksek bir hızla karadelik etrafında dönmesi ve bu sırada sürtünme ile son derece yüksek bir biçimde ısınması ile ilişkilendirilmektedir. Bu karadeliğe katılamayan gaz ve tozlar, aşırı ısınma sonucu parlamakta, tüm gökadayı parlatmakta, ayrıca karadeliklerin kutuplarından uzaya toz ve radyasyon püskürmeleri (jetleri) oluşturmaktadırlar.

Samanyolu Gökadası'na en yakın gökada, Andromeda Gökadası'dır. Andromeda Gökadası, ilk kez 10. Yüzyılda Fars astronomu Al-Sufi tarafından keşfedilmiştir. Andromeda Takımyıldızları'nı da içine alan ve ***"Büyük Nebula"*** olarak bilinen bu yapı, Yer'den 2,5 milyon ışık yılı uzaklıkta olup çıplak gözle küçük ve soluk bir ışık halinde görülmektedir. Andromeda Gökadası'nın çapı 125 bin ışık yılı kadar olup, 100 milyardan fazla yıldız içerir.

Model olarak Evren

Günümüzde kabul gören evren modeli temel olarak iki varsayım üzerine kuruludur. Bu varsayımlardan ilki, gözlemsel kanıtlarla desteklenen evrenin genişlemesi; diğeri de erken evrendeki hızlı genişlemenin bir sonucu olarak evrenin tekdüze bir madde ve enerji dağılımına sahip olmasıdır. Öte yandan bir başka ayrıntı bilim insanlarının dikkatinden kaçmamaktadır.

Homojen ve her yöne genişleyen uzayda bazı galaksi kümelerinin evrenin bir tarafına doğru kayma eğilimi içinde oldukları gözlenmektedir. Sanki galaksileri o tarafa doğru çeken bir güç vardır. Nedeni bilinmeyen çekim gücüne Kara ***Akım adı*** verilmektedir; dolayısıyla kuramın adı da ***Kara Akım Kuramı*** olarak anılmaktadır. Yani önce "kara delikler" gizemi vardı; sonra "karanlık madde" ve "karanlık enerji"; şimdi de "kara akım" gizemi eklendi. Bunlardan yalnızca kara delikler görsel olarak kaydedildi, diğerleri ise hala gizemlerini korumaktadır (https://t24.com.tr/yazarlar/gunec-kiyak/evrenin-kenarinda-kara-akim-gizemi,34102; 06 Şubat 2022).

Ayrıca 'Çoklu Evrenler' var mı? Bir başka evrenle komşu olabilir miyiz? Evrenimizdeki galaksi kümelerinin bir tarafa doğru kaymasını tetikleyen şey, bir komşu evrenin kütlesel çekim gücü olabilir mi? Gibi sorular gizemini korumaktadır.

Evrenin oluşumu

Evren nasıl oluştu? İnsanoğlu gerek dini yaklaşımlara dayalı olarak gerekse dinlerden bağımsız olarak çeşitli yöntemlerle evrenin ilk durumu ve gelişimi konularında çeşitli yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Burada, bazı bilimsel yaklaşımlara ilişkin görüşler irdelenecektir. Gökadalarla birlikte evreninin her yönde genişlediğine inanılmaktadır. Evrenin başlangıcı konusunda iki ayrı kuram ortaya koyulmuştur:

1-İlk kuramı temsil eden 'Büyük Patlama' kuramını Alxandra Frigman 1922 yılında tanımladı. 1927 yılında ise, rahip ve astronom Georges Lemaitre tarafından Büyük Patlama tekrar gündeme getirildi. Ancak, A.G. Lemaitre' nin tanımladığı ***büyük patlama*** kuramına göre, evrendeki tüm maddeler önce dev bir atom içinde yoğunlaşmış ve yaklaşık 15- 20 milyar yıl evvel, bu ilk atom patlamış ve parçaların her biri önce ***toz bulutlarını (nebulaları),*** daha sonra da galaksileri meydana getirmiştir. Günümüzde büyük patlamanın, 13.7 milyar yıl önce olduğu kabul edilmektedir. Buna göre, büyük patlamadan önceki zamandan söz etmek de olası değildir. Çünkü ***"evren-zaman"*** kavramı evrenin ilk oluşmasıyla başlar.

Büyük Patlama olarak tanımlanan bu kurama göre, kendince uyumlu ve inandırıcı bir evrimsel süreç de başlatılabilir. Henüz tam olarak bilinmeyen hususlar da vardır. Örneğin Büyük Patlama'nın niçin ve nasıl olduğu başlı başına bir sorundur. Ayrıca Quantum Zar (membran) kuramı, paralel evrenlerin birbirine yaklaşıp değmesi ve bu değme alanında oluşan yeni bir patlama ile yeni bir evren

doğması gibi yaklaşımlar tartışmaya açıktır. Asıl sorun ise, söz konusu kuramların yerini alabilecek, daha benimsenebilir bir kuramın üretilememiş olmasıdır.

Büyük patlama ile ilgili bu ilk kurama göre, önce gökadalar oluştu. Zaman ilerledikçe ve gökadalar patlamanın etkisi ile birbirinden uçarcasına uzaklaştıkça, uzay ya da evrenin merkezi bölümü boşalmaya başlamış ve uzaklara doğru giderek artan sayıda yeni gökadalar ya da gökada toplulukları oluşmuşlardır. Gökadalar birbirlerinden uzaklaşırken, uzayın büyüyen hacmi, yeniden oluşan gökadalarla denge kurmaktadır. Bu kuram ***'sürekli bir evrimi'*** öngörmektedir.

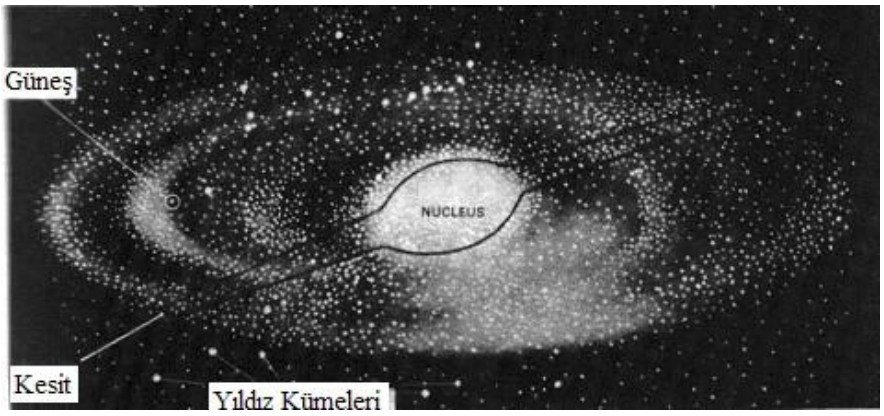
2-T. Gold, H. Bondi ve F. Hoyle tarafından ileri sürülen ikinci kurama göre ise evren ezeli ve ebedidir. Çok sayıda olan gökadalar uzayda ya da evrende hep aynı kalmaktadır. Bu kuram ***'sürekli durağan bir hali'*** öngörür.

Uzay, gaz ve toz halinde çok küçük taneciklerden meydana gelmiştir. Tanecikler, molekül ve atomlardan büyük olup, bileşimleri, silisyum tozları, donmuş gazlar ya da bilinmeyen başka maddelerden oluşmaktadır. Yeryüzünde bilinen birçok elementin yıldızlararası maddelerde de bulunduğu, bu maddelerin uzaydaki tüm yıldızları ve gezegenleri oluşturan ilk maddelerin artıkları olduğu ve bu maddelerin de fotonlardan oluşan bir plazma ile temsil edildiği düşünülmektedir. Onun için, evrenin tümü konusunda aynı kökene sahip olma gibi bir durumu öngörmek kaçınılmaz gözükmektedir.

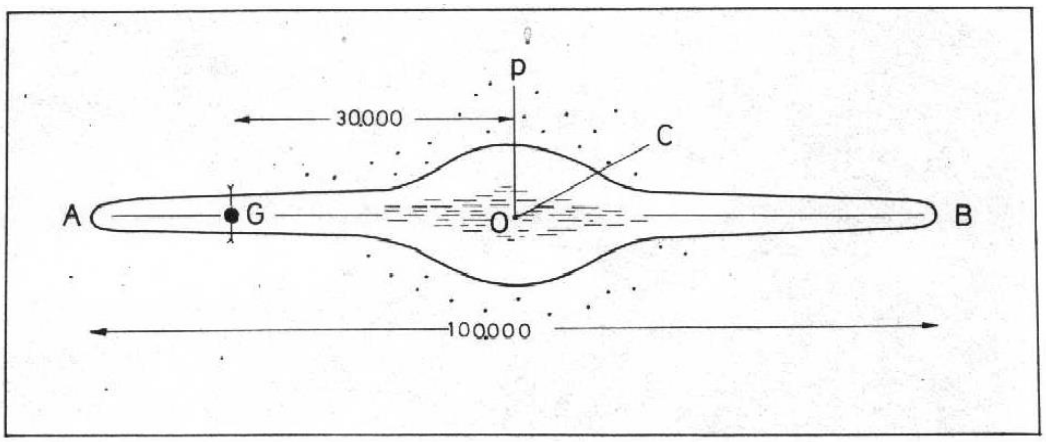
Ayrıca, evrende ilk oluşan elementlerin ya da atomların, Hidrojen ve Helyum olduğuna inanılmaktadır. İki hidrojen atomunun birleşmesiyle helyum oluşurken büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Helyum çekirdekleri de çok yüksek sıcaklıklarda kaynaşabilir ve C atom çekirdeklerini oluşturabilir. Bu oluşum zinciri, Fe oluşana kadar devam edebilir. Fe den sonraki elementlerin füzyonu (Au, Pb vb.) bir kurama göre süpernova patlamalarında oluşan enerjiyle, bir diğerine göre ise bunun da yetmeyeceği, klinova patlamalarıyla (yani iki nötron yıldızının çarpışmasıyla) açığa çıkan enerjiyle gerçekleşmektedir. Zincirin devamı halinde ise, yeryüzünde tanımlanan tüm elementlerin oluşması mümkündür.

Samanyolu Gökadası (Galaksisi)

Bizim samanyolu dediğimiz bu kuşağa batı dillerinde 'sütlü yol' (İng. Milky WAY, Alm. Milchstrasse, eski Yunanaca' da Galaksias) anlamına gelen isimler verilmiştir. Samanyolu yıldızlarının dağılımını Dünya üzerinden bakarak ayrıntılı olarak incelemek güçtür. Ancak 1,5 milyon ışık yılı kadar bir uzaklıktan gökadamıza bakılırsa, o da komşu gökadalar gibi görünecektir. Güneş sistemi, bu gökada içinde küçük bir nokta gibi ve disk şeklindeki galaksinin merkezinden (Nucleus'dan) 30 bin ışık yılı uzaklıkta olup, diskin ekvator düzleminde bulunur (Şekil 4 ve 5).

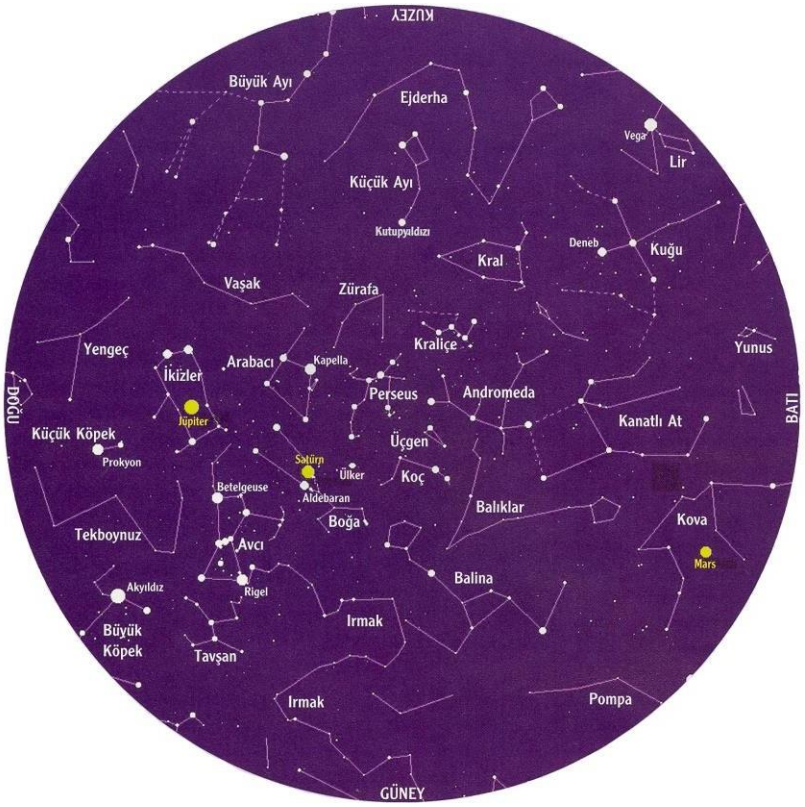


Şekil 4. Samanyolu galaksisinin içinde yer alan Güneş Sistemi ve yıldız kümeleri (King, 1966).



Şekil 5. Samanyolu galaksisinin disk şeklinde şematik kesiti. Diskin uzun ekseni (AB) yaklaşık olarak 100 bin ışık yılı boyutunda ve Güneş Sistemi'nin (G) bulunduğu yer, disk merkezinden 30 bin ışık yılı uzaklıktadır. OA ve OB doğrultularında pek çok yıldız görülür, OC doğrultusunda daha az yıldız, OP doğrultusunda ise en az yıldız yer alır (Gökmen, 1966).

Ülkemizde, geceleyin gökyüzüne bakıldığında Şekil 6'da görülen takımyıldızları çıplak gözle izlemek mümkündür.



Şekil 6. Ülkemizde çıplak gözle görülebilen takımyıldızlar ve onların adları (2001'de, 1 Aralık saat 22:00). Küçük Ayı'nın hemen altındaki yıldız, ***Kutup Yıldızı***'dır (Akoğlu, 2001).

Samanyolu 100 bin ışık yılı çapında, 1000 ışık yılı kalınlığında, merkezi şişik bir disk şeklinde olup yaklaşık 300 milyar yıldız içerir. Yıldızların arasındaki aralıkta (uzayda) gaz ve toz bulutları vardır.

Galaksimiz içinde ve etrafında 100 kadar yıldız kümesi ve her kümenin de içinde milyonlarca yıldız bulunur. Galaksimizde yer alan tüm yıldızlar galaksi merkezi etrafında dönmektedir. Bu sırada Güneş Sistemi de yakınındaki yıldızlarla birlikte Samanyolu'nun etrafında yaklaşık saniyede 250 km hızla hareket etmekte ve tam bir dolanımı için 220 milyon yıl gerekmektedir. Bir yıldız Samanyolu'nun merkezine ne kadar yakınsa, merkez etrafındaki dolanma süresi (yörünge peryodu) o kadar kısadır.

Evrenin geleceği

Günümüzün gözlem araçları, evrenin sınırlarına ulaşan uzaklıkları kısmen de olsa görebiliyor. Buna gözlemlenebilir evren denilmektedir. Yerdeki teleskoplar, gözlerimizin algılayabildiği gökcisimlerinin üzerine, x-ışınlarıyla, γ-ışınlarıyla görülen cisimleri de ekleyebilmektedir. Ufkumuz genişledikçe evren yeni boyutlar kazanmaktadır. Bu çerçevede evrenin oluşumu gibi geleceği de insan düşüncesinde bir tartışma yeri bulmaktadır.

Büyük patlama modeli, evrenin ilk anlarında ortaya çıkan gelişmeleri bir ölçüde açıklayabilmektedir. Ancak evrenin genişlemesinin ne kadar devam edeceği ve "şişme" kuramına göre ışık hızını da aşan bir genişlemenin sona erip ermeyeceği kestirilememektedir. Dolayısıyla evrenin geleceği ile ilgili görüşler, şimdilik birer varsayımdan ibarettir.

Evrenin geleceği ile ilgili yaşamsal bir değişken de kozmologlarca Ω (omega) olarak tanımlanmıştır. Ω, kütle çekim enerjisinin kinetik enerjiye (yani evren genişledikçe maddenin hareketinde saklanan enerjiye) oranıdır. Bu değer başlangıçta 1 idi ve sonunda 1'e sabitlenebilir. Aksi halde, potansiyel ya da kinetik enerjilerden birinin üstün gelmesi haline bağlı olarak Ω hızla azalır ya da çoğalır. Oysa 15 milyar yıl sonra bile Ω'nın değeri 0 ya da sonsuz değil. Yapılan hesaplar, Ω değerinin yaklaşık 0.3 olması gerektiğini ortaya koyuyor. Bu da evrenin düz değil, bükülmüş, hatta açık olması anlamına geliyor. Böyle bir yaklaşım, Büyük Patlama'yı da Şişme Kuramı'nı da tartışılır hale getirmektedir.

Evrende, Ω değeri 1'in üzerinde olmadığına göre, evrendeki madde yoğun değildir. Dolayısıyla evren kendi üzerine çökmeyecektir. Yani birbirinden uzaklaşan gökadalar (galaksiler), kütle çekiminin üstün gelmesiyle giderek hızlanan bir biçimde yeniden birbirlerine yaklaşıp üst üste yığılmayacaktır. Sonuç olarak, evrenin Büyük Patlama öncesindeki gibi sonsuz yoğunlukta ve sıcaklıkta bir "teklilik" içinde son bulmayacağı varsayılmaktadır.

Ne var ki Güneş ve benzeri enerji yayan gökcisimleri zamanla yakıtlarını tümüyle tüketip bambaşka bir yapıya dönüşebilir. Evrendeki yıldızların büyük çoğunluğu Güneş'ten daha küçük olduklarından ömürleri daha uzun olabilir. Çok büyük yıldızlarda yıldızı oluşturan maddeyi yıldızın merkezine doğru çeken kütle çekim kuvveti de büyüktür. Dolayısıyla yıldızın merkezindeki sıcaklık ve basınç da daha büyük olur ve nükleer tepkimeler daha hızlı gerçekleşir. Yani daha çok hidrojen, helyuma dönüşür ve daha çok enerji ortaya çıkar. Yıldız daha çabuk yakıtını tüketir (bazıları 10-15 milyon yıl yaşarlar) ve süpernova patlamaları oluştururlar.

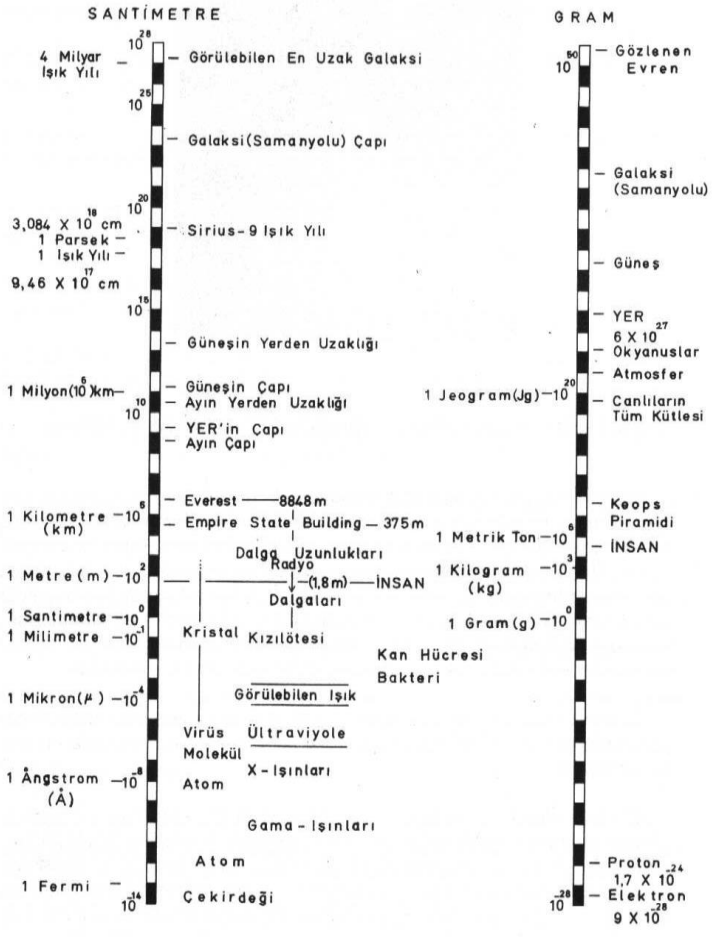
Ancak sonunda gökadalar da yeni yıldızların doğmasına yol açan gaz rezervi tükenecek ve yıldızlar birer birer sönecektir. Evren de yeniden karanlığa gömülecektir. Sonra gökadaların dağılma süreci başlayacaktır. Gökadaların bu şekilde yok olmasının 10^{19} yıl süreceği hesaplanıyor. Yıldızların yok olmasını, kara deliklerin buharlaşması izleyecek. 10^{100} yıl sonra en kararlı parçacıklar olan protonlar zaman içinde pozitron ve fotonlara dönüşecektir. Sonunda evrende bir miktar pozitron, bir miktar elektron ve bir miktar foton kalacaktır. Evren çok genişlediği için pozitronlarla elektronlar kolayca buluşup birbirini yok edemeyecekler ve evrenimiz de ani olarak başka evrenlerden gelebilecek ziyaretçileri karşılayacaktır (Gürdilek, 2001).

Evren'in, Yer'in ve İnsanın boyutları açısında bir karşılaştırma

Güneş sisteminde yer alan Yer'in ve insanın boyutları bakımından evrendeki konumunu irdelemek için Şekil 7'ye bakılabilir. Burada;

Angstrom, 1 Å = 10^{-8} cm = $\frac{1}{1.000.000}$ mm ve

Mikron, 1 μ = 10^{-4} cm = $\frac{1}{1000}$ mm' yi temsil ettiğini anımsamakta yarar vardır.



Şekil 7. Yerin ve insanın boyutları bakımından (santimetre ve gram olarak) Evren'deki durumu (Holmes, 1965).

GÜNEŞ SİSTEMİ

Nükleer füzyon enerjisini ışınım ve ısı enerjisine dönüştürerek, kendi kütle çekimini gaz basıncı ile dengeleyen ve dönen gaz kütlelerine ***yıldız*** denir. ***Güneş*** de bir yıldızdır. ***Güneş sistemi,*** Güneş, gezegenler ve uyduları, küçük gezegenler, kuyruklu yıldızlar ve bunların yer aldığı alanı saran çok düşük yoğunluklu bir plazma kabuğundan oluşur. Bir koza gibi Güneş Sistemini saran bu kabuk, güneş rüzgâ rının tüm yönlere üflediği maddenin ve manyetik alanların basınç yaparak yıldızlararası ortamdaki seyrek gazı itmesi ile oluşur. Bu genel yapı, Heliosfer (Günküre) olarak tanımlanır. Heliosferin yaşam için çok önemli bir işlevi vardır. Örneğin, Kozmosdan gelen partikül ve radyoaktivitenin engellenmesi Heliosfer sayesinde olur.

MÖ 3. yy' da ***Aristo***, dünyamızın da içinde bulunduğu gezegenlerin güneş etrafında dolandıklarını, Yer'in kendi ekseni etrafında dönerek gece ve gündüzü meydana getirdiğini ilk kez açıklamıştır. 1500'lü yıllarda ***Kopernik*** ve ***Kepler*** gezegenlerin yörüngelerini inceleyerek, yörüngelerin bir elips biçiminde olduğunu ortaya koymuşlardır. 1600 yıllarında, teleskopun yapımından sonra ***Galile***, Güneş Sistemi'nin birçok özelliklerini, Ay üzerindeki dağları, gezegenlerin uydularını ve güneş lekelerini keşfetmiştir.

Her gezegen Güneş etrafında aynı yönde hareket eder. Tüm yörüngeler daireye yakın elips şeklinde olup, yaklaşık olarak bir düzlem üzerindedir. Bu düzlem de Güneşin ekvator düzlemine çok yakındır. Yani tüm Güneş sistemi tekdüze (uniform) bir hareket içinde ve disk şeklinde dönmektedir. Güneş bu diskin ortasında yer alır. Gezegenlerin çoğu kendi eksenleri etrafında da oldukça büyük bir hızla dönmektedirler.

Güneş Sistemi'nin oluşumu ile ilgili pek çok kuram vardır. 20. yy 'ın ortalarında ***'toz-bulut'*** varsayımları ortaya atılmıştır. Buna göre toz-bulutu kendi çekim etkisi ile yoğunlaşmaya bağlı olarak basınç artması, sıcaklığın azalması ile bir kor haline gelmiştir. Kendi ekseni etrafında dönen bulutun dış kısmındaki gaz, merkezdeki gaza göre daha yavaş döndüğünden 'iplikler' uzamış ve etrafa yayılmışlardır. Bu durum da dış kısmın momentini artırmış ve kopan parçalar gezegenleri oluşturmuştur. Buna karşın iç kısmın momenti yavaş olup, burada da Güneş yerini almıştır.

Güneş, ısı ve ışın yayan yüksek sıcaklıkta bir gaz kütlesidir. Güneş'in Yer'den uzaklığı 150 milyon km olup, ışığı yere 8 dakika 20 saniyede ulaşır. Güneşin çapı 1.4 milyon km (yer çapının 110 katı) ve hacmi $1.41 * 10^{33}$ cm^3 (yer hacminin 1.3 milyon katı), ortalama yoğunluğu 1.4 gr/cm^3 (yer kabuğunun ¼ ü) kadardır. Güneş'in kendi ekseni etrafında dönme süresi 27 gündür. Güneş'te ve ona benzer diğer yıldızlardaki enerjinin kaynağı, güneşin ve yıldızların iç kısımlarında oluşan termonükleer reaksiyonlardır.

Nükleer füzyon olarak bilinen bu olayda, hidrojen atomlarının protonları birbiri ile kaynaşarak (birleşerek) helyum çekirdeğini meydana getirirler ve bu sırada oluşan kütle kaybı enerjiye dönüşür.

Güneş'in bir saniyede yaydığı enerji, uygarlık tarihinin başından beri insanların kullandığı enerjiden fazladır. Güneş'in üç günde yaydığı enerji, dünyada bilinen kömür, petrol, orman gibi tüm doğal kaynakların yanmasından elde edilecek ışık ve ısıya eşittir. Ne var ki, dünyamız güneşin yaydığı enerjinin 2 milyarda birini alabilmektedir. Buna rağmen, Güneş'in yeryüzüne kadar gelebilen ısısı her yıl denizlerden 600 milyar m^3 suyu buharlaştırır.

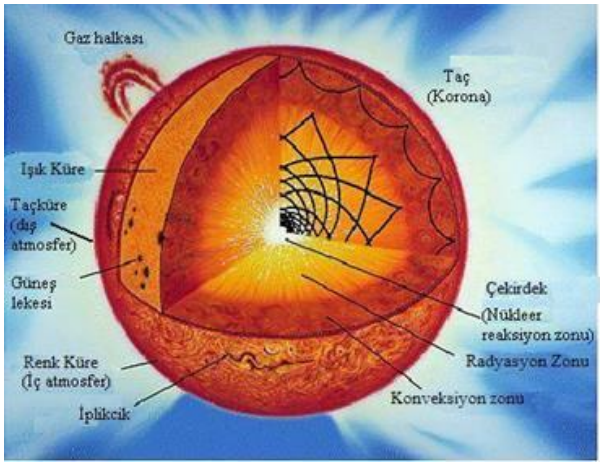
Güneşin Zonları

Güneş'in zonları Şekil 8'de görülmektedir. Bu zonlar, iç kısımdan dışa doğru sıra ile:

1. Nükleer reaksiyon zonu – 16 milyon °C
2. Radyasyon zonu
3. Konveksiyon zonu
4. Işık küre – 5700 °C – 4000 °C
5. Tersine çeviren katman
6. Renk küre – 4000 °C – 500 000 °C
7. Korona (Taç) – 500 000 °C – 3 000 000 °C şeklinde sıralanırlar.

Güneş'in çekirdeğinde yani nükleer reaksiyonun gerçekleştiği zonda 16 milyon °C derece dolayında bir sıcaklık oluşmaktadır; yüzeyindeyse, yani renk kürede sıcaklık yaklaşık 4000 dereceye kadar düşmektedir. Buraya kadar Termodinamiğin 2. Yasasına göre sorun yok; zaten ilgili yasaya göre beklenen şey bu. Yani, kaynaktan uzaklaştıkça, sıcaklık da düşer. Ancak Güneş'in yüzeyinden birkaç yüz kilometre uzaklaşıp da "korona" adlı taç kısmına gelindiğinde, bir anda sıcaklık 1 ila 3 milyon

derece dolayında artmaktadır. Hatta yer yer bu sıcaklık 10 milyon °C dereceye çıkabilmektedir. Bu, şömineden uzaklaştıkça hissettiğiniz sıcaklığın azalmak yerine artması gibi bir durumu yansıtmaktadır! İşte buna ***koronal ısınma sorunu*** denilmektedir. Her ne kadar bu sorun bazı varsayımlarla açıklanmakta ise de henüz yeterli ya da kabul edilebilir bir açıklamaya ulaşılamamıştır.

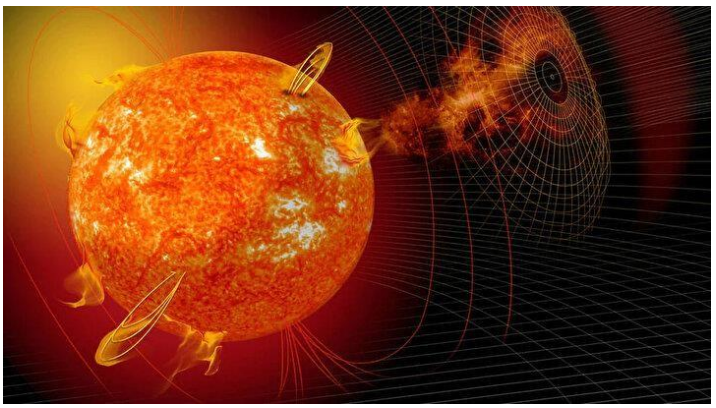


Şekil 8. Güneş'in zonları ve bazı unsurları (www.thewallpapers.us, TÜBİTAK, 2000).

Güneşin merkezi bölümündeki hidrojen, zamanla kullanılarak merkezdeki termonükleer reaksiyonlar yoluyla dışarı doğru yayılmaktadır. Dış kısımlarda ise henüz yeteri kadar kullanılmamış hidrojen bulunur. Nükleer reaksiyon zonu Güneşin yüzeyine doğru yaklaştıkça merkezdeki sıcaklık da yüzeye doğru yayılır.

Güneş patlamaları ve radyasyonu

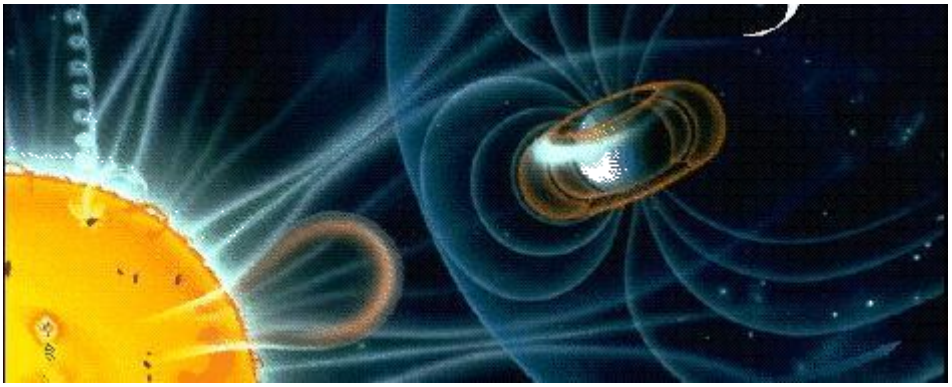
Güneş atmosferinin tüm katmanlarını etkileyen şiddetli patlamalar (Şekil 9), plazmayı onlarca milyon kelvine yükseltmekte, elektronları, protonları ve daha ağır iyonları neredeyse ışık hızıyla uzaya salmaktadır. Böylece ***Yer'in*** atmosferine normalin üzerinde küçük dalga boylu radyasyon parçacıkları ulaşmaktadır. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi NASA'daki bilim insanları güneşte meydana gelen patlamalara karşı uyarılarda bulunmuştu. Hatta bir süre önce yaşanan ve yamyam olarak adlandırılan başka bir patlamanın, diğer patlamaları silip süpürdüğü belirtilmişti (http://www.eclipse2006.boun.edu.tr/eclipse99/Turpage/gunes.html; 11 Aralık 2021).



Şekil 9. Güneş atmosferinde izlenen patlamalardan yapay bir görünüm http://www.eclipse2006.boun.edu.tr/eclipse99/Turpage/gunes.html (11 Aralık 2021).

Enerji salınımı bakımından güneş yüzeyi üzerinde meydana gelen en şiddetli olaylardan biri, bu güneş patlamalarıdır. Patlamalar, yerden yapılan görsel bölge gözlemlerinde güneş üzerinde parlak alanlar olarak, radyo bölgede yapılan gözlemlerde ise ani gürültü artışları (Radio Bursts) olarak gözlenirler. Bu patlatmalar, Hiroşima'ya atılan bombanın yaklaşık 40 milyon katı bir enerjiye sahiptirler. Çok güçlü magnetik alanların parçalanmaları ve yeniden birleşmeleri, patlamaların oluşması için gerekli olan ilk enerji kaynağını oluştururlar. Böylece Gamma ışınım, X-ışınım, görsel ışınım ve radyo ışınım gibi elektromagnetik spektrumun hemen hemen her dalga boyunda ışınım meydana gelir.

Güneşle gezegenler arasında kalan bölge gezegenler-arası ortam adıyla anılmaktadır. Bu ortam, güneş rüzgârının etkisi altında oldukça çalkantılı bir bölgedir. Güneş rüzgârı gezegenler-arası ortamda saniyede 250-1000 km'ye ulaşan hızlarda akmaktadır. Bu akışa koşut olarak, güneş rüzgârının kimyasal bileşimi, yoğunluğu ve magnetik alan şiddeti de artmaktadır. Gezegenler arasında akan güneş rüzgârıyla gezegenlerin magnetik alanları farklı biçimlerde etkileşmektedirler. ***Yer'in magnetik alanı***, bir mıknatıs çubuğuna (demir tozlarının içine bıraktığımızda bu tozların aldığı biçime) benzemektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Güneş rüzgârı ile bir gezegenin yapay etkileşimi
(http://www.eclipse2006.boun.edu.tr/eclipse99/Turpage/gunes.html; Erişim 11 Aralık 2021).

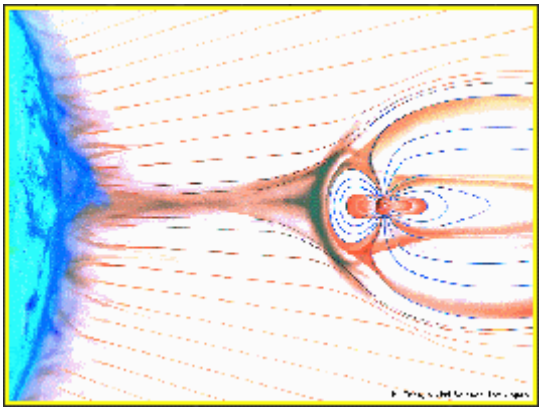
Dünyayı sarmalayan magnetik alan çizgileri, Güneş yönünde güneş rüzgârının etkisiyle bastırılmış, ters yönde ise gezegenler-arası ortama doğru uzanmıştır. Bu yapı, Yer'in magnetosferini oluşturmaktadır. Van Allen radyasyon kuşakları ve atmosferin üst katmanlarından iyonosfer bu yapının içerisinde yer almaktadır.

Güneşten gelen X-ışınlarının ve EUV ışınımlarının neden olduğu foto iyonizasyon sürekli olarak bu katmanda serbest elektronlar yaratmaktadır. Öte yandan Yer'in magnetik alanı güneş rüzgârının magnetik alanının, yoğunluğunun ve hızının artışlarına da duyarlıdır. Güneş rüzgârındaki bu değişimlerde güneş aktivitesinin değişimlerine bağlıdır. Aktivitenin düşük olduğu yıllarda magnetosfer, gezegenler-arası ortamda güneşe doğru 10 dünya yarıçapı kadar uzanmakta, oysa güneş aktivitesinin arttığı yıllarda güneş rüzgârının magnetosferi bastırmasıyla magnetosfer sıkışmakta bu mesafe ancak 6.6 Yer yarıçapı kadar olmaktadır.

Jeomagnetik fırtınalar ve jeolojik araştırmalar

Genel olarak, magnetosfer dinamik bir yapıya sahiptir. Güneşten gelen güneş rüzgârıyla enerji kazanan magnetosferin içerisinde dinamizmi harekete geçiren süreçler başlamaktadır. Bu süreçlerin Yer'de gözlenen etkileşimi, magnetik fırtınalardır (Şekil 11). Ayrıca güneş aktivitesinin değişimine bağımlı olarak kutup ışıması (Aurora) ve proton olayları da gözlenebilen olgulardır.

Her büyük güneş patlamasının, aktif prominansın ya da koronal kütle atımının ardından güneş maddesi ve beraberindeki magnetik alanı yavaş hareket eden bir bulut gibi 1 ile 4 gün içerisinde Yer'e ulaşmaktadır. Bu yüklü plazma Dünya atmosferine çarparak jeomagnetik fırtınayı başlatmaktadır. Yer'in üzerindeki magnetik alanda birdenbire olağanüstü bir değişim gözlenir. Jeomagnetik fırtına süresince güneş rüzgârının enerjisinin bir kısmı magnetosfere iletilir. Magnetosferin enerjisindeki bu artış, güneş rüzgârının geliş doğrultusuna ve şiddetine bağlı olarak Yer'in magnetik alanındaki gözlenen ani değişimlere yol açmaktadır.



Şekil 11. Güneş ve Yer arasında gelişen jeomagnetik fırtınaların yapay etkileşimi http://www.eclipse2006.boun.edu.tr/eclipse99/Turpage/gunes.html (Erişim 11 Aralık 2021).

Yeraltı kaya birimlerinin yapısının belirlenmesinde jeoloji mühendisleri, Dünyanın magnetik alanından yararlanmaktadır. Bu jeolojik ölçümler, daha çok petrol, doğal gaz rezervuarlarını ve mineral yataklarını bulmak için yapılmaktadır. Söz konusu ölçümler sırasında doğru magnetik bulgular elde edebilmek için Yer'in magnetik alanının en sakin olduğu dönemler tercih edilmektedir.

Ancak, bunun tersine, bazı araştırmacılar da, jeomagnetik fırtınalar sırasında çalışmayı tercih etmektedir. Çünkü bu fırtınalar sırasında yeraltı elektrik akımlarında meydana gelen değişiklikler, alandaki yerel mineral yapılarının ve petrolün rezervuarlarının belirlenmesine işaret etmektedir. Dolayısıyla, bu araştırmacılar, araştırmalarını jeomagnetik fırtınalarla ilgili öngörülere göre yönlendirmektedirler.

Ayrıca, Süpernova patlamaları ile yıldızlar arası boşluğa dağılan H, C, O, N, Ca; Fe ve bu patlama enerjisinin tetiklediği füzyonlarla oluşan diğer ağır elementler gaz ve toz bulutlarını (nebula) meydana getirdi. Bu gaz ve toz bulutları 4.6 milyar yıl önce çöktü ve Güneş sistemini oluşturdu. Sistemin kütlesinin % 99.9'u Güneş'i, % 0.1'lik kütle ise gezegenleri, gezegenlerin uydularını, göktaşı (asteroid) kuşaklarını ve kuiper kuşağı ile oort bulutlarında bulunan kuyruklu yıldızları meydana getirdi. H, C, O ve N gibi uçucu elementlerin büyük bir bölümü Güneş sisteminin iç kesiminden dış kesimine doğru taşınarak ve orada yoğunlaşarak Jüpiter, Satürn ve Neptün gibi dev gaz gezegenlerin oluşumuna yol açtı.

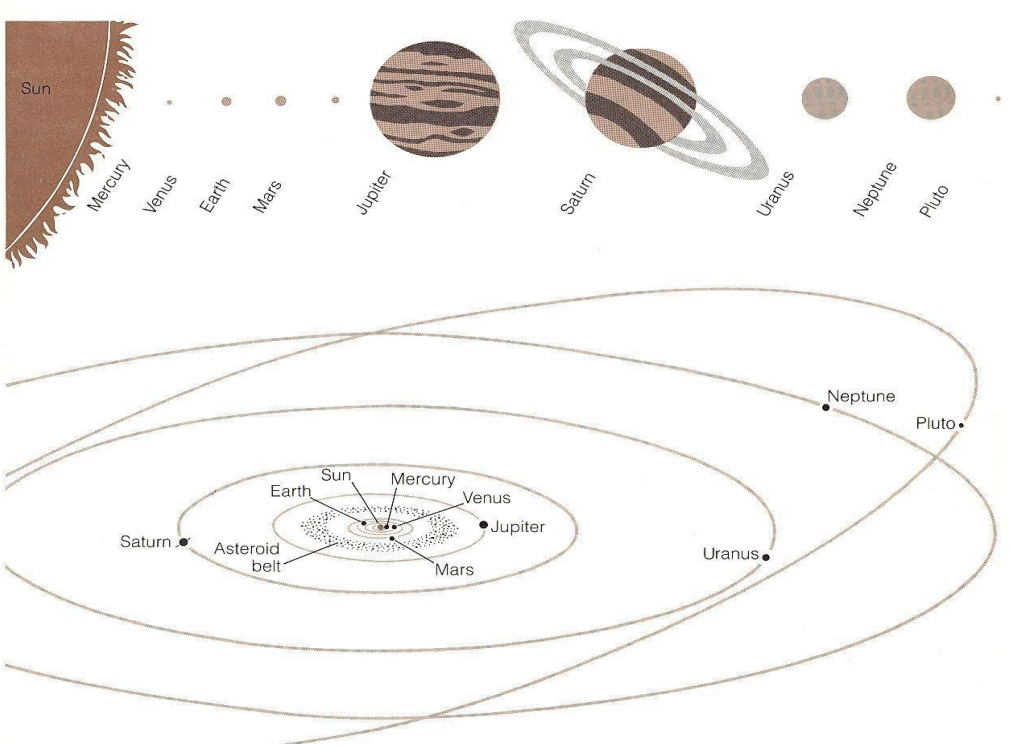
Uçucu olmayan Fe, Mg, Si, Al ve Ca gibi elementler, Güneş'in yakın çevresinde yoğunlaşarak önce göktaşlarına dönüştü. Daha sonra ise bu göktaşları kütle çekimi ile birbirine eklenerek Merkür, Venüs, Yer ve Mars gibi gezegenleri meydana getirdi. H, C, O, N ve P gibi elementler ise birleşerek su, karbondioksit, metan ve amonyak gibi basit moleküllere dönüştü. Bu basit moleküller kimyasal tepkimelerle önce aminoasitleri, daha sonra da proteinleri oluşturdu. Proteinler, şekerler, yağlar ve

karbonhidratlar da hücreleri meydana getirdi. Buna göre 13,7 ile 4,6 milyar öncesinde üretilen elementler Yer'in ve yaşamın yapıtaşları olarak kabul edilebilir.

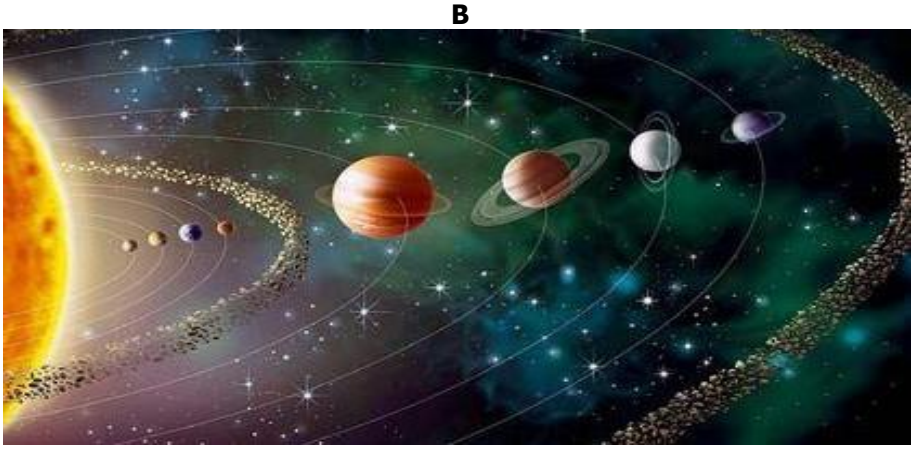
Güneş Sistemi'nde yer alan gezegenler

Bugünkü bilgilerimize göre Güneş ve onun çekim etkisi altında bulunan ve etrafında dolanan 8 gezegen, 190 uydu (ay), keşfi yapılabilen 600 000'nin üzerinde asteroitler, çok sayıda cüce gezegen ve bunlara bağlı 10'dan fazla ay (küçük gezegenler, yaklaşık 20 kadar, sayıları kesinleştirilememekte) ve kuyruklu yıldızlar Güneş Sistemi'ni meydana getirirler. Bu sistemi oluşturan gezegenlerin büyüklüğü ve Güneş'ten uzaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı oranları için Şekil 12 irdelenebilir.

A

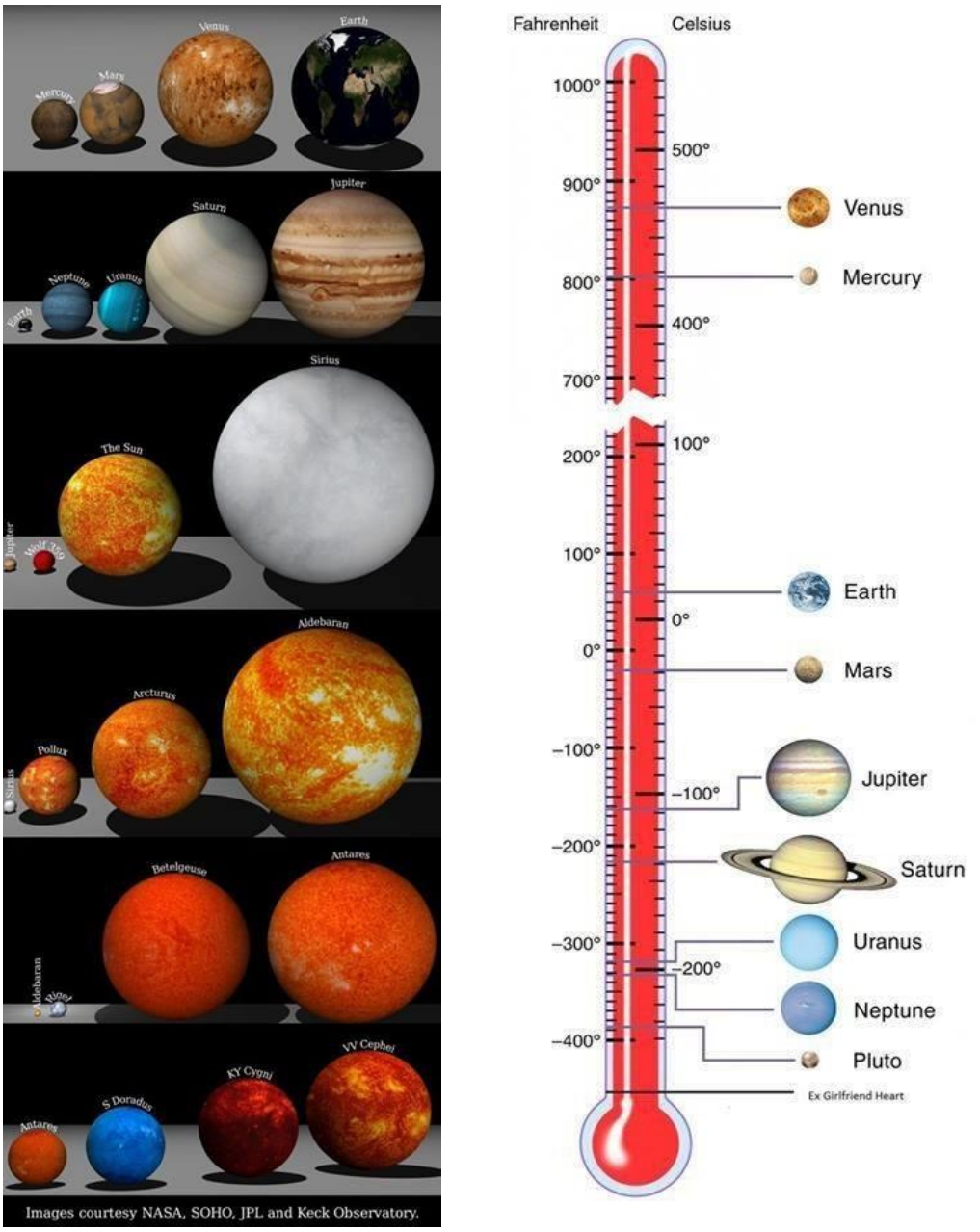


B



Şekil 12. Güneş sistemi, büyüklük ve uzaklık açısından karşılaştırmalı oranları, **A** (Pres ve Siever, 1974) ve yapay bir tasarımı **B** [(https://tr.pinterest.com/pin/756252962419494176/ (06 Ekim 2020, saat 07)].

Öte yandan gezegen ve yıldızların göreceli büyüklükleri karşılaştırmalı olarak ve Güneş sisteminin sıcaklık değerleri ise Şekil 13'de görülmektedir. Buna göre, gezegenlerin sıcaklığının Güneş'ten uzaklaşıldıkça azaldığı söylenebilir. Yapılan hesaplamalara göre, Güneş ile Yer arasındaki mesafe 2.5 cm olarak kabul edilirse Yer'e en yakın yıldız 6,5 km uzaktadır. Öteki yıldızlar o kadar uzaktır ki aramızdaki mesafeyi ancak triyon km ile ifade edebiliriz. Bu gibi mesafeler de ışık yılı ile tanımlanmaktadır.



Şekil 13. Gezegen ve yıldızların göreceli büyüklükleri ve Güneş sisteminin sıcaklık değerleri (NASA'dan).

Işık boşlukta saniyede 300 000 km kat eder. 1 Işık Yılı, ışığın bir yılda katettiği uzaklığı belirtmekte olup 9 460 730 472 580 kilometredir. Buna göre diğer hesaplamalar yapılabilir. Ayrıca, özellikle Güneş Sistemi içindeki gezegen gibi oluşumlar için kullanılan AB (astronomik birim, AU) olarak adlandırılan ve Güneş ile Dünya arasındaki ortalama uzaklık olan 149.597.870.700 metre uzunluğu olan bir birim de kullanılmaktadır. Buna göre Dünya ile Ay arası 0,0026 AB, Güneş ile Jüpiter arası 5,2 AB kadardır.

Güneş Sistemi'ni oluşturan gezegenler, Güneş'e yakınlıklarına göre sıra ile ***Merkür***, ***Venüs***, ***Yer***, ***Mars***, ***Jüpiter***, ***Satürn***, ***Uranüs***, ***Neptün*** ve ***Plüton*** biçiminde sıralanırlar. Plüton'nun konumu tartışmalıdır. Güneş Sisteminde ayrıca Asteroid Kuşağı, Trojan asteroidleri, Kuiper Kuşağı (Yakın Peryodlu Kuyruklu Yıldız Kuşağı) ve Oods bulutu (Uzak Peryodlu Kuyruklu Yıldız Kuşağı) olmak üzere asteroid ve kuyruklu yıldızlardan oluşan kuşaklar da yer almaktadır.

Merkür (Utarit), Güneş'e en yakın ve aynı zamanda en küçük gezegen olup Güneş'ten uzaklığı yaklaşık 58 milyon km, yarıçapı, Yer yarıçapının 0.38'i (2420 km), hacmi, Yer hacminin 1/8'i, çekimi ise yer çekiminin 1/3'ü kadardır. Yoğunluk açısından Yer ile Merkür yaklaşık aynı (5,5 gr/cm^3) kabul edilebilir. Merkür'ün bileşimi % 30 silikatlardan %70 ise metallerden oluşmaktadır. Gündüzleri Ekvator bölgesindeki sıcaklık ortalama 343 ^{0}C, güneşi görmeyen taraftaki sıcaklık –45 ^{0}C'dir. Uydusu olmayan Merkür'ün atmosferi de yoktur. Fakat Merkür'ün bir manyetik alanı olup, varolan koşulları canlı varlıkların yaşamasına uygun değildir. Merkür'ün ayı bulunmamaktadır.

Venüs (Zühre), Güneş ile Yer arasındaki ikinci gezegendir. Venüs'ün uydusu yoktur ve 1 yılı 225 dünya gününe karşılık gelir. Hacmi ve yoğunluğu yaklaşık Yer'inki kadardır. Venüs'ün yoğun ve kalın bir atmosferi olup, bunun % 95'i CO_2, % 5'i Azottan oluşur. Venüs'ü örten bulutlar, Güneş ışığını yansıtması nedeniyle, Venüs'ün karanlık gecelerde parlak bir yıldız olarak görünümünü sağlar. Güneş doğarken bile çıplak gözle görülebilen bir gök cismidir. Dolayısıyla Venüs, halk arasında Çoban Yıldızı, Akşam Yıldızı, Sabah Yıldızı, bazen de Çolpan ya da Zühre olarak bilinir.

Yer (Arz, Dünya), Güneş sistemi içinde Yer, Ay ile birlikte ikili bir gezegen-uydu sistemi oluşturmaktadır. Yer'in Güneş'e uzaklığı 150 milyon km, Güneş etrafında dolanma hızı saatte 107 000 km'dir. Yer'in yaşamın koşullarını sağlayan atmosferi vardır. Yer'in temel özellikleri Bölüm 2-2 ve diğer bölümlerde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

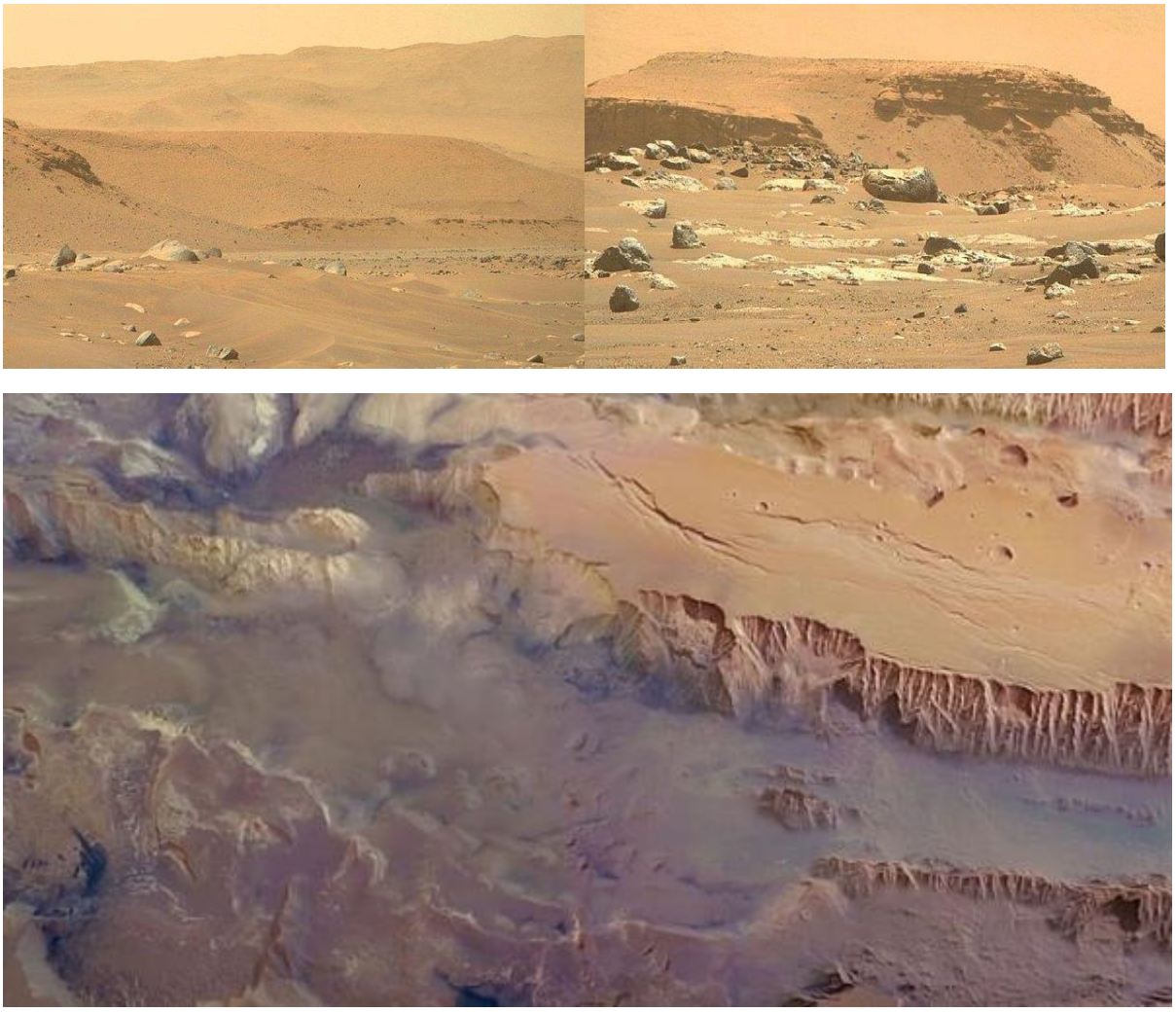
Mars (Merih), Yer'e en çok benzeyen, dolayısıyla üzerinde daha ayrıntılı durulması gereken bir gezegendir. Yarıçapı Yer yarıçapının yarısı (3377 km), kütlesi ise Yer'in 1/10'u kadardır. Güneş'ten uzaklığı Yer uzaklığının 1.5 katıdır (228.6 milyon km). Yer'e olan uzaklığı ise 55 milyon km'dir. Mars'ın çekirdeğinde herhangi bir hareketin olduğuna dair veriler ya da manyetik alan görülmemektedir. Çekirdekteki olası manyetik alanın yoğun demirin çekirdeğe doğru bir katman oluşturarak soğuması nedeniyle ortadan kalktığı düşünülmektedir.

Mars'ın dönme hareketi Yer gibi bir eksen etrafında olmaktadır. Eksenin eğikliği de Yer'inkine benzer olup 25.19 derecedir. Bu eğik yapı Mars'ta da mevsimlerin varlığına işaret etmektedir. Mars'ın mevsimleri Yer'in mevsimlerine oldukça benzer. Yer'den bakılınca kırmızı renkte gözükür. Bu renk, gezegenin yüzeyini kaplayan demiroksitten gelmektedir. Onun için halk arasında ***Kızıl Yıldız*** olarak bilinir.

NASA'nın aracı Perseverance, Mars'ta bulunan Jezero Krateri'ni en az 1 Mars yılı (Dünya zamanıyla yaklaşık 687 gün) boyunca inceledi. Ayrıca kraterdeki kayaların birçok kez suyla etkileşime girdiği ve bazılarının organik moleküller içerdiği kabul edilmektedir. Ayrıca, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Rusya Uzay Ajansı'nın (Roscosmos) ortaklaşa yürüttükleri ExoMars projesi kapsamında yapılan araştırmalarda Mars yüzeyinin hemen altında 'önemli miktarda' buzlu suyun varlığı iddia edilmektedir. Bu su topraktaki diğer minerallerle kimyasal olarak bağlanmış su halinde de olabilir. Genel olarak söz konusu suyun daha çok buz halinde olduğunu düşünülmekte, su buzunun da kalıcı olarak kuru

toprağın altında yer aldığı düşünülmektedir. Mars'taki bu görüntüler Yer'in permafrost bölgelerine çok benzemektedir. Mars'ın iki uydusu ve ince bir atmosferi vardır. Merih'in atmosferinde ise % 95 CO_2, %3 N ve bir miktar su buz kristalleri halinde bulunur. Mars'ta genel olarak oksijensiz ve susuz yaşayabilen mikroorganizmaların yaşadığına inanılmaktadır.

Mars'dan alınan iki görüntü Şekil 14'de görülmektedir. Bu görüntüler, Yer'in herhangi bir yerinden alınan görüntülere büyük ölçüde benzemektedir. Yani, Mars'da bir zamanlar jeolojik bir ortamın ve jeodinamik süreçlerin varlığı söz konusu olabilir. Üstelik yapılan çalışmalara göre, Salda Gölü'nün Jezero Krateri (paleogöl ortamı) için benzersiz bir analog olduğu yorumu yapılmaktadır (Garczynski ve diğerleri, 2020).

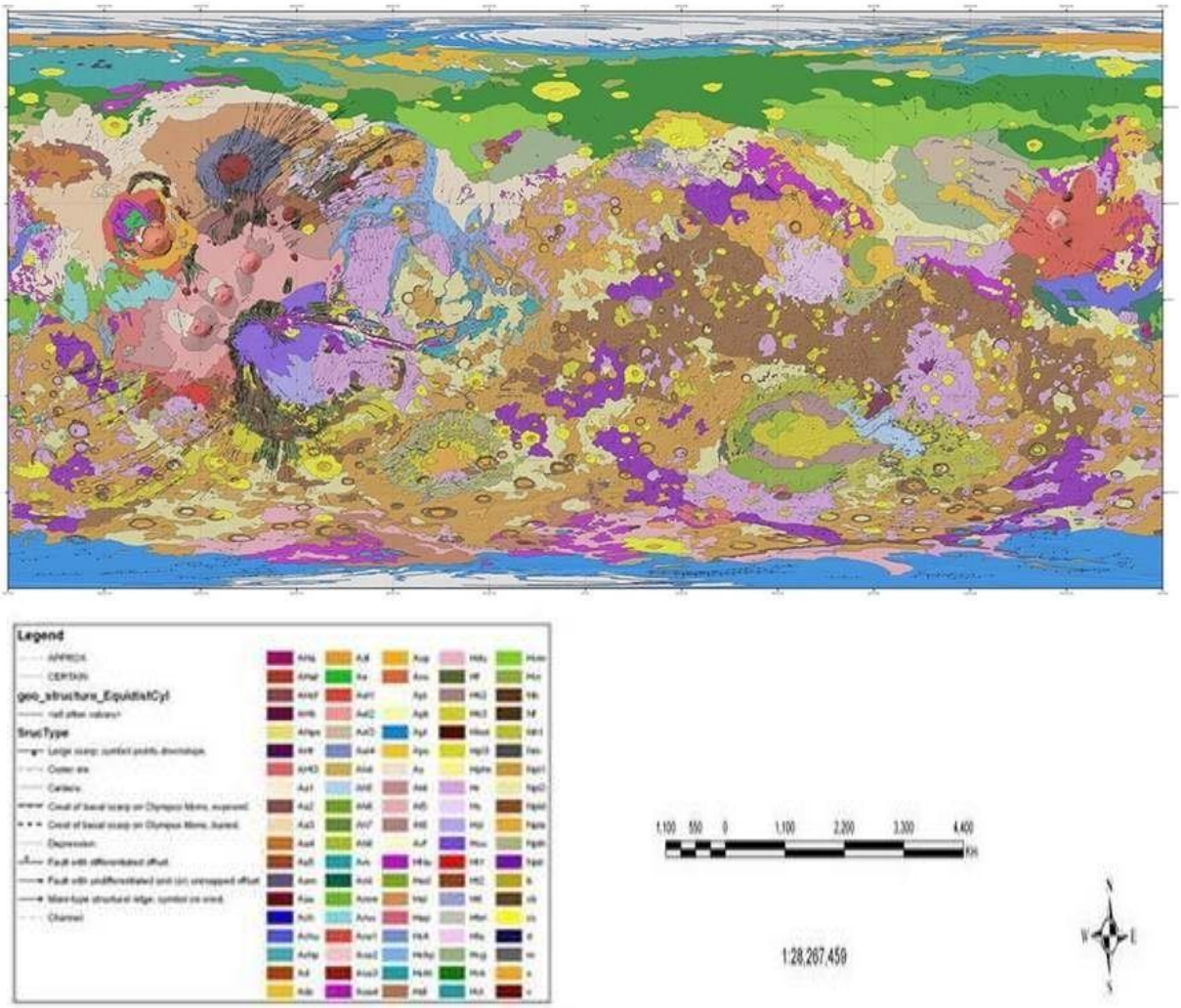


Şekil 14. Mars gezegenine dair bazı görüntüler
https://onedio.com/haber/nasa-nin-mars-tan-yayinladigi-yeni-yuksek-cozunurluklu-fotograflar-mizahsorlerin-diline-dolandi-968484 (11 Aralık 2021).

Öte yandan Salda Gölü'nde gözlenen hidromanyezit ($Mg_5(CO_3)(OH_2).4(H_2O)$) çökelleri, meteorik sular aracılığıyla ortama taşınan Mg elementinin, mavi-yeşil algler olarak bilinen siyanobakteri ve diatomlar tarafından tutulması sonucu oluşmaktadır. Bu tip bir jeolojik ortam değişkeninin ve jeodinamik sürecin birlikte oluştuğu özel ortamlarda, çökelim süreçlerini denetleyen ilksel yaşam

formları olan siyanobakteriler, bulundukları sığ su ortamlarında yarattıkları yığışımlar sonucunda stramotolitleri oluştururlar. Bu nedenle dünyamızda çok ender bulunan ve ilksel yaşam formlarının korunmuş yapısı niteliğindeki bu oluşumlar, gezegenin tarihini araştırmada çok değerli veri sunma potansiyeli içermektedir (Kırkayak, 2021).

Sonuç olarak, Mars'a dair verilerle Salda Gölü'nden sağlanacak veriler çeşitli açılardan karşılaştırılabilir. Böylesi bir karşılaştırma ile hem Mars'ta hem de Yer'in oluşumunu izleyen yaşamın başlangıcı ile ilgili bilgilerin gelişmesine katkı sağlanabilir. Mars'ın Jeolojik haritası Şekil 15'de görülmektedir. Günümüzdeki bilgilere göre Mars'ın temel jeolojik devirleri aşağıda sunulmuştur (Ulutürk, 2020 sunumundan): Nuh Devri: 3,8 milyar yıl öncesi ile 3,5 milyar yıl öncesi arasındaki dönemi kapsar. Nuh Devri yüzeyleri birçok büyük çarpma kraterleriyle oyulmuş haldedir. Tharsis volkanik plato bölgesinin bu devirdeki büyük bir sıvı su baskınıyla oluştuğu sanılmaktadır.



Şekil 15. Mars'ın küresel jeoloji haritası 1802ABC (Ulutürk, 2020 sunumundan).

Hesperian devri: 3,5 milyar yıl öncesi ile 1,8 milyar yıl öncesi arasındaki dönemi kapsar. Bu devir, geniş lav ovalarının oluşumu ile nitelenir. Amazon Devri: 1,8 milyar yıl öncesi ile günümüze kadarki dönemi kapsar. Amazon Devri bölgeleri, meteor çarpmalarıyla açılmış kraterleri pek içermez ve

tamamen değişiktir. Güneş Sistemi'nde bilinen en yükseği Olimpos Dağı bu dönemdeki lav akıntılarıyla oluşmuştur.

Bilim insanları Mars'taki metanı gazının olası kaynaklarını (Şekil 16) sorgulamakta ve bu konudaki gelişmeleri izlemektedir. Çünkü metan gazı varlığı kırmızı gezegendeki yaşamın bir göstergesi olabilir. Curiosity ve diğer araçlar tarafından Mars'ta metan belirlendi. Dünyada metan büyük bir oranda canlılar tarafından üretilir, ancak bu gaz su ile olivin kayaları arasındaki reaksiyonlar gibi jeolojik kaynaklardan da oluşabilir.

Şekil 16. Mars'taki olası metan gazı kaynakları ve diğer unsurlarla ilişkileri (Ulutürk, 2020'den).

Ayrıca Ultraviyole radyasyon, kozmik tozlar da metan üreten reaksiyonlara neden olabilir. Yeraltında üretilen metan depolanabilir ve zamanla yüzeye sızar. Metan güneş ışığı altında Mars atmosferinde okside olarak formaldehit ve metanola, sonra da Mars atmosferinde en çok bulunan gaz olan karbondioksite dönüşebilir. Mars'ta milyarlarca yıl önce yaşam var olmuş olabilir. Mars'ta izlenen metan biyolojik kökenli ise, bu Mars'ta canlı yaşamın yeri altında devam ettiğinin bir göstergesi olacaktır. Çünkü metanın Mars atmosferindeki yaşam ömrü 300 yılı geçememektedir. Bu atmosferin güncel olarak biyolojik kökenli metanla beslendiği sonucunu doğurur.

Asteroit kuşağı, Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında birçok küçük gezegenden oluşmuş bir kuşak, bir halka vardır. Bu kuşakta bulunan gezegenlerin toplam büyüklüğü Yer'in ancak 1/1000'i kadardır. Bunların nebula ya da toz gibi ilkel gök cisimleri oldukları sanılmaktadır. Ayrıca Jüpiter'in dolayında bulunan ve dev gezegenin çevresinde yörüngede dönmektense onu takip ediyor gibi görünen ve Trojan asteroidleri olarak adlandırılan bir gurup asteroid daha bulunmaktadır.

Jüpiter (müşteri), Yer'den 800 milyon km uzakta, yerküresinden 1300 kez büyük, renkli bantlar halinde bulutlardan oluşmuş dev cüsseli bir gezegendir. Venüs'ten sonra en parlak gezegendir. Jüpiter'in yarıçapı, Yer'in 11,2 katı, yoğunluğu ise 1,33 gr/cm^3, Güneş etrafındaki dolanımı 11,86 yıl,

kendi ekseni etrafındaki dönme periyodu 10 saattir. Jüpiter'in 79 uydusu olup, renkli bulutları %99 hidrojen ve helyumdan oluşmuştur. Ayrıca az miktarda metan ve amonyak içermektedir. Dünya'mızın 4,5 milyar yıl önce böyle bir atmosfere sahip olduğu sanılmaktadır. Jüpiter gaz gezegenler sınıfındadır. Jüpiter'in etrafında 4 halka bulunmaktadır.

Avrupa Uzay Ajansı, James Webb Uzay Teleskobu'nu kullanarak Jüpiter'i fotoğrafladı. Elde edilen görüntüler, gezegenin halkalarını ve kutup ışıklarını gözler önüne serdi (Şekil 17).

Şekil 17. Güneş sisteminin en büyük uydusu Jüpiter'in genel görüntüsü
https://www.webtekno.com/james-webb-teleskobu-jupiter-fotografi-h127123.html

Şekil 15'te sunulan görüntü, teleskopun bünyesinde bulunan ve üç özel kızılötesi filtre barındıran NIRCam ekipmanı ile çekildi. Kızılötesi ışıklar gözle görülebilir olmadığından, teleskobun elde ettiği görüntüler daha sonra işlenerek görülebilir renk spektrumuna dönüştürüldü. Jüpiter'in fazlasıyla meşhur ve Dünya'yı yutabilecek kadar büyük fırtınası olan Büyük Kırmızı Nokta (bu görüntülerde diğer bulutlar gibi) beyaz görünüyor. Çünkü bu nokta ve bulutlar, teleskoba çok fazla güneş ışığı yansıtıyorlar.

Satürn (Zühal), elmas gibi geniş ve parlak bir halkası ve 62 uydusu olan büyük gezegenlerden biridir. Güneş etrafındaki dolaşımı 29,5 yıl, kendi ekseni etrafında dönme periyodu 10 saat 14 dakikadır. Yarıçapı, Yer yarıçapının 9,5 katı, yoğunluğu ise 0.69 gr/cm^3'dür. Satürn'ün atmosferinde amonyak ve metan bulunur. Gezegeni çevreleyen halkalar içten dışa doğru harflerle gösterilir. Bunlar D, C, B, Cassini bölümü, A, F, G, E ve Phoebe halkalarıdır. Ana halkalar A, B ve C halklarıdır. Halkalar, saydam ve genelde de buzdan oluşmuştur. Gezegenin 62 uydusundan en büyük olan Titan'ın yarıçapı 1800 km olup, su buharı ve metan gazı içeren bir atmosferi vardır. Satürn gaz gezegenler sınıfındadır.

Uranüs, Yer'den çok uzakta, soluk bir görünümü ve 27 uydusu olan büyükçe bir gezegendir. Uranüs'ün kendi ekseni etrafında dönme periyodu 10 saat 50 dakikadır. Atmosferi hafif elementlerden oluşan Uranüs'ün yarıçapı Yer yarıçapının 3,7 katı (23 573 km), ortalama yoğunluğu 1,7 gr/cm^3, hacmi ise Yer'in 64 katıdır. Gaz gezegenler sınıfında yer alan Uranus, Neptün'le birlikte, Jüpiter ve Satürn'e

göre farklı yapılarından ötürü buz devleri olarak da sınıflandırılır. Uranus'un etrafında 13 halka bulunmakta ve iç katmanları kaya ve buz parçacıklarından oluşur.

Neptün, Uranüs'e çok benzer, Güneş'ten uzaklığı 4,5 milyar km, Güneş etrafındaki dönme periyodu ise 15 saat 48 dakikadır. Yarıçapı, Yer yarıçapının 4 katı olan Neptün'ün yoğunluğu 1,6 gr/cm^3'dür. Neptün'ün 14 uydusu vardır. Bileşiminde, diğer gezegenlere göre daha az hidrojen ve helyum bulunur. Atmosferinin üst katlarında bulunan metan gezegene mavi bir renk vermektedir. İç katmanları ise kaya ve buz parçacıklarından oluşur. Neptün, bir buz devi olarak da sınıflandırılır. Neptün'ün etrafında 5 halka bulunmaktadır.

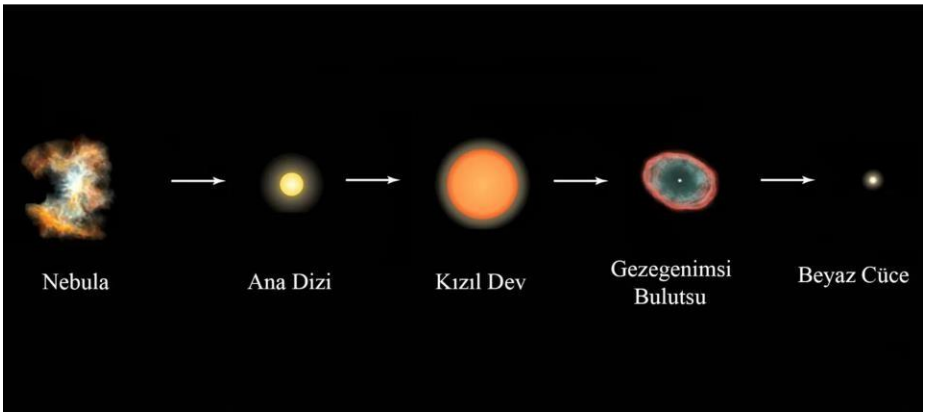
Plüton, Kurallara uymayan asi Plüton Güneş sisteminin en dıştaki gezegenidir. Aslında, tam anlamıyla bir gezegen olarak sayılmayı pek hak etmeyen Plüton, 13 Mart 1930'da W. Tombaugh tarafından keşfedilmiş olup, sarımtırak görünümlü küçük ve silik bir gezegendir ve yüzeyindeki sıcaklık –200 ^{o}C'den daha azdır.

Plüton, bilimsel gezegen tanımında kullanılan 3 temel özelliğe de uymamaktadır. Güneş'in etrafında dönmesi, yaklaşık küresel şeklinde ve oldukça kütleli olması yeterliliği sağlamasına karşın, bulunduğu yörüngeyi süpürüp temizleyemediği ve aynı yörüngede başka gök cisimleri de bulunduğundan (kendisi gibi cüce gezegenler) gezegen tanımına uymamaktadır.

Plüton'nun Güneş'ten uzaklığı 6 milyar km kadar olup Güneş'in etrafında dolanma periyodu ise 248 yıldır. Kendi ekseni etrafında dönme periyodu 6,4 gün olan Plüton'un yarıçapı 3900 km (Yer'in yaklaşık yarısı) kadardır. Plüton'un yoğunluğunun, Yer'in yoğunluğundan 6 kat fazla olduğu tahmin edilmektedir. Plüton'un yüzeyini kaplayan sıvı ya da donmuş haldeki metan, onu olduğundan da küçük göstermektedir. Güneş ve diğer gezegenlerin yörüngelerinin oluşturulduğu düzlemle 17^o'den daha büyük bir açı ile Güneş'in etrafında dönen Plüton'un, Neptün'ün (çekimden kurtulmuş) bir uydusu olduğuna da inanılmaktadır.

Güneş Sisteminin Evrimi: Oluşumundan, yok olmasına doğru

Nebular Kuramı'na göre, Güneş ve Güneş Sistemi'nin tüm gezegenleri, bundan yaklaşık 4,5 milyar yıl önce dev bir moleküler gazın ve toz bulutunun içe doğru çökmesi sonucu oluştu. Bu çökme sonucunda bulutsu yapı, disk şeklinde bir yapıya dönüştü. Bu disk üzerinde, tozlar ve gazlar daha yoğun bölgelerde toplanmaya başladı. Maddenin çoğu diskin merkezinde toplanırken, bir kısmı da merkezin etrafında dönen diske yayıldı. Merkezde oluşan top Güneş'in yapısını oluştururken, diske yayılan maddeler Güneş Sistemindeki gezegenleri oluşturdu. Aynı kurama göre, Güneş, Şekil 18'da izlenen evreleri geçirerek günümüze ulaşmış ve gelecekte nihai olarak beyaz bir cüceye dönüşecektir.



Şekil 18. Güneş'in evriminde önemli evreler [https://evrimagaci.org/gunesin-evrimi-gunes-nasil-var-oldu-nasil-yok-olacak-8400 (Erişim 21 Mart 2021, saat 19.05)].

Yaklaşık 4.5 milyar yıldır Güneş, Ana Dizi (the Main Sequence) evresindedir. Bu evrede, Güneş'in çekirdeğinde toplanan hidrojen atomları nükleer füzyon sonucu helyum atomuna dönüşür ve bu dönüşüm sonucunda ortaya çıkan enerji Güneş'in enerjisini oluşturur, ardından ısı ve ışık olarak Güneş Sistemine yayılır. Nükleer füzyon, iki elementin birleşerek daha ağır bir elementin oluşmasına neden olan reaksiyonlara denir ve bu reaksiyon sonucunda çok büyük enerji açığa çıkar. Ancak merkezde toplanan hidrojen atomlarının bir sınırı olduğu için bu olay sonsuza kadar devam edemez. Bir nevi Güneş'in yakıtı hidrojen atomlarıdır ve sınırsız bir yakıta sahip değildir.

Çekirdekteki hidrojen atomlarının tükenmesi sonucunda orada biriken helyum atomları kararsız hale gelecek ve çökmeye başlayacaktır. Bu durum çekirdeğin ısınmasına ve yoğunlaşmasına neden olacak ve Güneş gittikçe büyüyerek Kızıl Dev (Red Giant Branch) olarak adlandırılan evresine geçecektir. Bu genişleme sonucunda Güneş Merkür'ü, Venüs'ü ve belki de Dünya'yı kendi yörüngesi içine alacaktır.

Çekirdekte biriken helyum atomları da zamanla tutuşacak ve çekirdeğin yaklaşık %6'sı ve Güneş'in kütlesinin %40'ı karbona dönüşecektir. Daha sonra Güneş dengesiz hale gelecek ve kütlesini kaybetmeye başlayacaktır. Çünkü çekirdeğinde füzyon reaksiyonunu gerçekleştirebilecek yakıtı kalmadığı için Güneş'in içe çökmesini engelleyecek bir basınç da oluşmayacaktır. Dolayısıyla Güneş içe çökmeye başlayacaktır. Bu çökme sonucunda, gezegenimsi bulutsu bir yapı oluşturmaya başlayacaktır. Gezegenimsi bulutsu yapı, zamanla dağılacak, ancak merkezde oluşan beyaz cüce, trilyonlarca yıl hayatta kalacaktır.

Güneşteki tüm hidrojenler helyuma dönüştüklerinde Güneş giderek soğuyacak ve sonunda dünya büyüklüğünde, ancak yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle çok ağır bir cüce yıldız durumuna gelecektir. Güneş, geçireceği evrimin sonuna doğru, çekirdeğinde demir birikmeye başlayacaktır. Çekirdekte Güneş'in kütlesinden yaklaşık 1.38 kat daha fazla demir toplandığında, tekrar büyük bir patlama gerçekleşecektir ve etrafa çok büyük enerji yayılacaktır. Bu enerji, Güneş Sistemindeki bütün gezegenleri yok edecektir. Bundan sonrası için, artık Güneş Sistemi, evrenin küçük bir bileşeni olarak yaşam devam edecektir.

Kuyruklu yıldızlar ve meteoritler

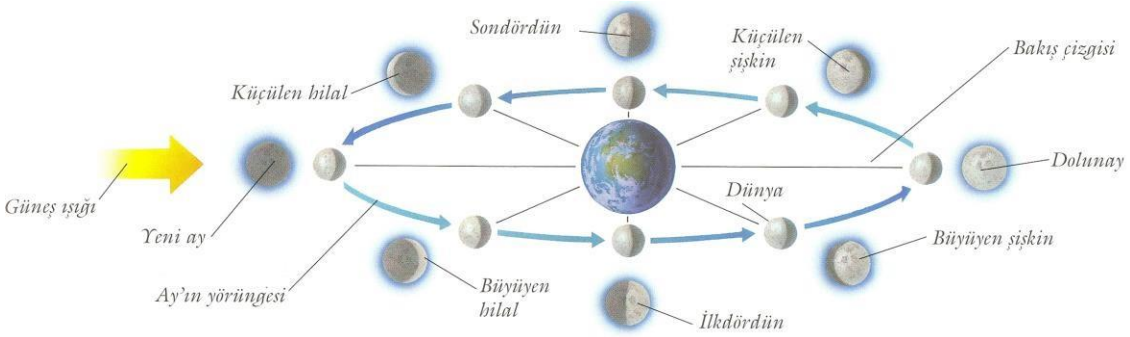
Kimi zaman Güneş Sistemi'ne giren üyelerden biri de ***kuyruklu yıldızlardır*.** Kuyruklu Yıldızların kaynağı Kuiper Kuşağı ve OOrt Bulutu'dur. Kuiper Kuşağı'ndaki Kuyruklu Yıldızlar kısa peryotlu, Oort Bulutu'ndaki Kuyruklu Yıldızlar uzun peryotlu olarak adlandırılırlar. Kimi zaman Güneş ile Yer arasından geçerken çıplak gözle izlenebilen kuyruklu yıldızların en bilineni Halley-kuyruklu yıldızıdır (Şekil 19).

Şekil 19. Halley Kuyruklu Yıldızı
https://tr.wikipedia.org/wiki/Halley_kuyruklu_y%C4%B1ld%C4%B1z%C4%B1 (25 Ocak 2023).

Bu yıldızların uzun ve parlak bir kuyruğu vardır. Kuyrukların boyları milyonlarca km olabilmektedir. Kuyruğu oluşturan gereçler, partiküler ya da gazlarla temsil edilmektedir. ***Meteoritler*** ise, uzaydan yeryüzüne düşen katı haldeki gök cisimleridir. Atmosferden geçerken, yeryüzüne düşmeyen akkor halindeki parlak cisimlere ise Meteor adı verilir. Bunlar çoğu kez "meteor yağmuru" biçiminde görünür ve meteorların kuyruklu yıldızlarla ilişkileri olduğu sanılır. Taş meteoritler, esas olarak silikat minerallerinden ve az miktarda demir ve nikelden oluşurlar.

DÜNYA'NIN UYDUSU: AY

Gökyüzüne bakıldığında, Güneş'ten sonra en çok insanların dikkatini çeken gökcismi Ay'dır. Ay, Dünya'nın biricik uydusudur. Dünya çevresinde, elips şeklinde bir yörünge üzerinde dolaşan ay, saatte ortalama 3681 km (saniyede 1023 m) hızla 27,3 günde bir yörüngedeki dolanımını tamamlar. Aynı süre içinde ay kendi ekseni etrafında da döner. Dolayısıyla yeryüzünden Ay'ın hep aynı tarafı görünür. Yani Ay'ın hep aynı yüzü bize dönüktür. Bunun nedeni, Ay'ın kendi ekseni etrafında dönme süresi ile Dünya'nın çevresi etrafında dönme süresinin (27,3) aynı olmasındandır. Bu olaya kütle çekim kilidi (tidal locking) denir. Ne var ki, Ay yüzeyinin görülebilen miktarı (ayın evreleri) ön yüzünün ne kadarına güneş ışığı vurduğuna bağlıdır. Böylece meydana gelen Ay'ın evreleri Şekil 20'de görülmektedir. Ay'ın yörünge düzlemi ile yerin yörünge düzlemi arasında 5 derece 9 dakikalık bir açı farkı vardır. Ayın dönme ekseni, yörünge düzlemine yaklaşık olarak diktir.

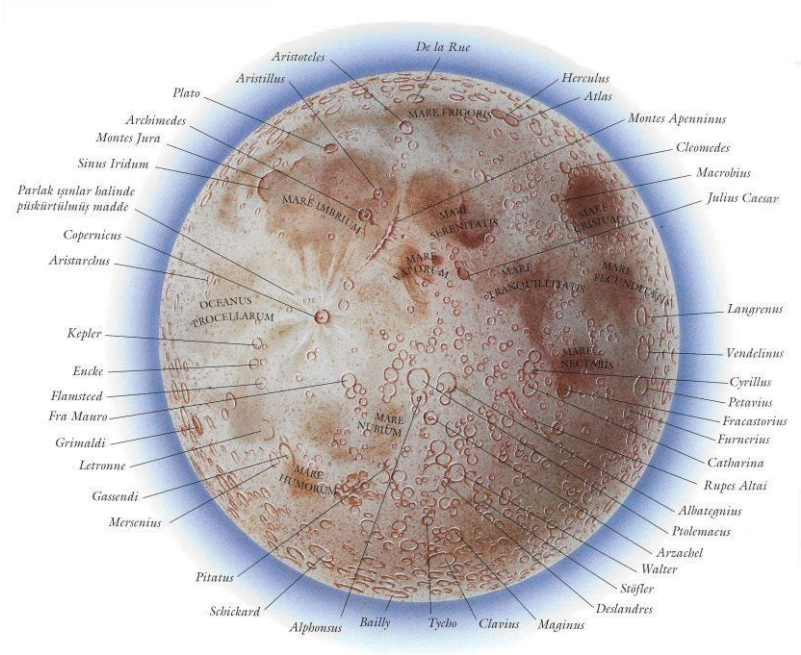


Şekil 20. Ay'ın evreleri (TÜBİTAK, 2000).

Dünya'nın yüzeyiyle üzerinde bulunan dev su kütlesi arasındaki sürtünme Dünya'nın dönüş hızını zaman içinde yavaşlatıyor. Dolayısıyla aralarındaki kütle çekimi etkisi nedeniyle Ay hızlanıyor ve merkezkaç kuvveti Ay'ı her yıl 3,5 cm Dünya'dan uzaklaştırıyor. Çok uzun bir gelecekte Ay, Dünya'nın kütle çekiminden (veya Dünya'nın uzayı bükerek oluşturduğu çukurluktan) kurtulacak ve uzaya savrulacaktır. Bu olay Dünya'daki yaşamın gelişmesine büyük katkısı olan ay olmayınca, Dünya'daki yaşam da zorlanacaktır (Ulutürk, 2020'den).

Ay'ın ön yüzü ile arka yüzü farklı görünümdedir. Güzel bir insanın yüzüne benzetilen ve "ay gibi güzel" diye betimlenen ayın ön yüzü Şekil 21'de görülmektedir. Dünya'dan izlenemeyen Ay'ın arka yüzü ise daha engebelidir. Ay'dan getirilen kayaların yaşı 3,16-4,3 milyar yıl arasında değişmektedir. Buna göre Ay'ın oluşum yaşı, 4,3 milyar yıldan daha eski olmalıdır.

Ay'ın yarıçapı 1738 km'dir. Bu da Yer yarıçapının ¼'ü kadardır. Ayın yoğunluğu 3,34 gr/cm^3, çekim ivmesi ise yerin 1/6'sı kadardır. Ay'ın atmosferi yoktur. Ay'ın üzerindeki sıcaklık, öğleyin tropik bölgelerde 130^{o}C, gece geç vakitlerde ise -200^{o}C'dir. Ay yüzeyinde çeşitli kraterler vardır. Ayın koyu renkli görülen bu bölgelerine Latince ***mare*** yani deniz adı verilir.



Şekil 21. Ay'ın ön yüzü (TÜBİTAK, 2000).

Piroksen, plajiyoklas ve opak minerallerden yapılı magmatik kayalar, Ay'ın bileşimini oluşturmaktadır. Bu kayaların başlıca oksitleri SiO_2, FeO, Al_2O_3, CaO, TiO_2, MgO ile temsil edilmektedir. Bu açıdan Ay'ın bileşimi ile yerin bileşimi büyük ölçüde benzerdir.

Ay'ın yaklaşık 4 milyar yıl önce, gökyüzündeki katı parçaların bir araya gelmesi, bir merkez etrafında toplanması sonucu oluştuğu, bu oluşumun yer yörüngesinin dışında bir yerde gerçekleştiği ve birkaç milyar yıl önce Ay'ın Yerküre'nin çekim kuvveti tarafından yakalanarak bir uydu konumuna getirildiği ileri sürülmektedir.

Bir başka görüşe göre, Ay'ın belli bir yörüngesi olmayan, asteroitlerle dolu ilksel bir güneş sisteminde oluştuğu düşünülmektedir. Buna göre bu asteroitlerden bir tanesi Yer'e çarptı ve çarpışma etkisiyle koparak etrafa saçılan ve belli bir yörüngeye giren ergimiş parçalar bir araya gelerek Ay'ı oluşturdular (Johnson, 2001).

Son dönemlerde uzay araştırmalarında önemli gelişmeler görülmektedir. Çin Ulusal Uzay İdaresi'nin 23 Kasım 2020'de fırlattığı uzay aracı (Change 5), 1 Aralık 2020'de Ay'a ulaştı. Çin'in Güneş'e doğru yol alan uzay aracı Dünya ve Ay'ın görüntüsünü birlikte kaydetti (Şekil 22).

Change 5, Güneş yönünde, Dünya'dan 1,5 milyon kilometre uzaktaki bir noktaya doğru ilerledikten sonra, bulunduğu noktadan Dünya ve Ay'ın iki küçük nokta gibi kaldığı bir fotoğraf çekti. Uzay aracı, Dünya ve Güneş'e yönelik bir dizi gözlem ve deney yapacaktır. Varılacak sonuçlar, uzay aracının gelecekteki görevleri için bilgi sağlayacaktır. Çinli bilim insanları, Change 5'in bulunduğu noktadaki gözlemlerini tamamladıktan sonra yeni hedeflere doğru yol alabileceğini ifade etmektedir.

Şekil 22. Dünya'dan 1,5 milyon kilometre uzaktaki bir noktadan Dünya ve Ay'ın görünümü. https://www.indyturk.com/node/360421/bi%CC%87li%CC%87m/%C3%A7inin-g%C3%BCne%C5%9Fe-do%C4%9Fru-yol-alan-uzay-arac%C4%B1-d%C3%BCnya-ve-ay%C4%B1n-%C3%BCrk%C3%BCt%C3%BCc%C3%BC-g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BCs%C3%BCn%C3%BC (Pazartesi 17 Mayıs 2021 11:03).

Ay, Dünya'nın çevresinde elipsoidal bir yörüngede seyrederken 38 yılda bir kez Dünya' ya oldukça yaklaşmaktadır. Bu yakınlaşma anı birçok insanın dikkatini çekmektedir. Şekil 23'de böyle bir anda çekilen Ay'ın görüntüsü izlenmektedir. Ay'dan Dünya'nın görünümü ise Şekil 24'de görülmektedir. Yer'in milyarlarca yıl önceki durumu hakkında daha fazla bilgi üretmek için, öncelikle Ay'ın daha ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir.

Şekil 23. 18 Kasım 2016 Konya yakınlarında Ay' ın Dünya' ya en çok yaklaştığı anlardan biri **(A)** (İzzet Baran'ın, MTA Emeklileri facebook sayfasından) ve başka bir görüntü (**B).**

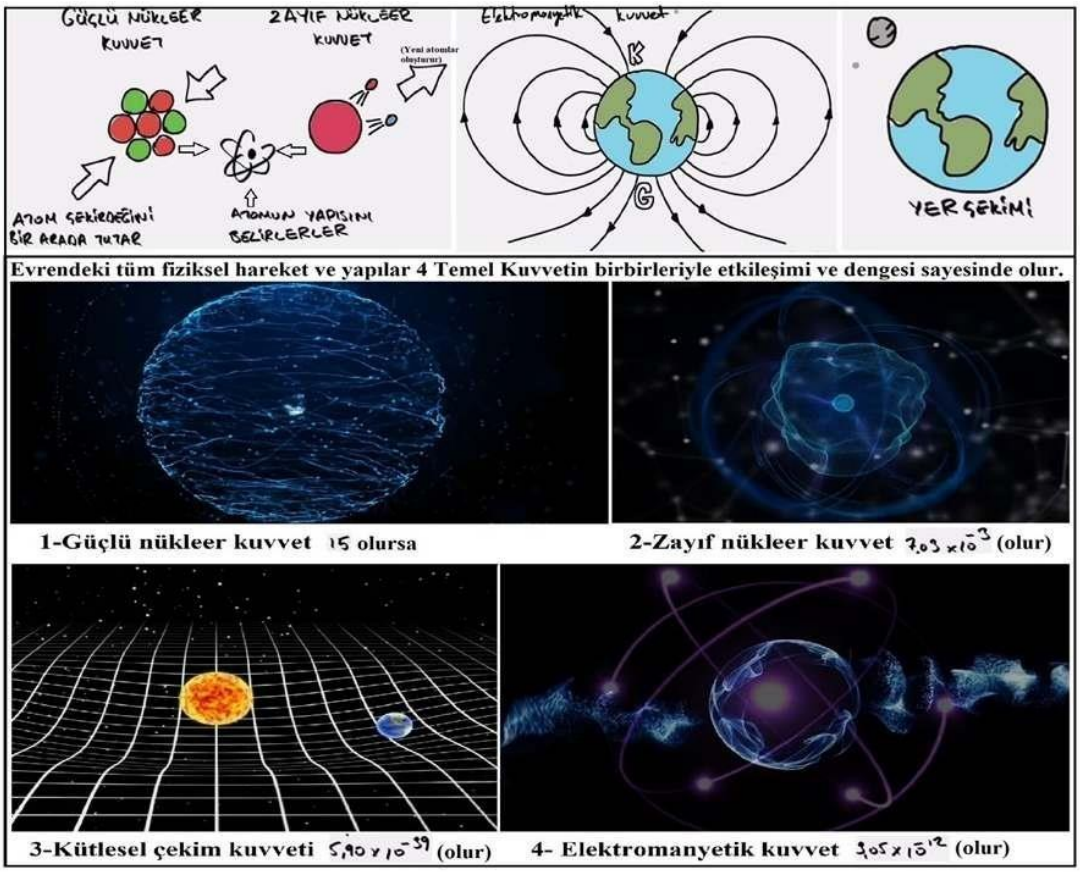
Şekil 24. Ay'dan Dünya'nın görünümü (Heron, 2016).

Bilim insanları Ay'ın jeolojik faaliyetlerinin 3 milyar yıl önce tamamen durmuş olması gerektiğine inanıyorlardı. Ancak uydular Ay'ın aktif volkanlardan kaçan gazlar olduğu sanılan "beyaz bir şeyler" püskürttüğüne ilişkin gözlemler yaptılar. Ayrıca Ay yüzeyindeki sismograflar da bazı faaliyetler ölçmektedir. Tüm bunlar bize, Ay'ın, kesinleşmemiş olsa da plaka tektoniği düzeyinde olmasa da jeolojik faaliyetlerinin halen devam etmekte olabileceğini göstermektedir. Ayın üst kısmında kraterli yanardağ, ya da büyük volkanik dağlar yoktur. Ancak küçük volkanik kubbeler, Maria adı verilen bazalt bileşimli devasa lav ovaları ve lav kanalları, dağlarında anortosit, mafik plütonik kayaçlar bulunmaktadır. Ay'ın yüzeyinin en büyük alanını ise asteroid çarpma kraterleri oluşturmaktadır. Ay'ın çok zayıf da olsa manyetik alanı bulunduğu son yapılan gözlemlerde öne sürülmektedir.

SONUÇLAR

Çağdaş Fiziğe göre, evrende 4 temel kuvvet tanımlanmıştır. Bunlar başlıca elektromanyetik kuvvet, güçlü nükleer kuvvet, zayıf nükleer kuvvet ve kütle çekim kuvveti olarak bilinmektedir. Bu kuvvetlerin yapıları ve ilişkileri Şekil 25'de, boyutları ise Çizelge 1'de sunulmuştur. Söz konusu kuvvetler evrenin günümüzdeki halini almasında yaşamsal derecede öneme sahiptirler. Fizikteki kuvvet algısı, fizikçiler için temel parçacıkların etkileşimi sayesinde olmaktadır. Buna örnek olarak, protonun ve nötronun pion (bir çeşit mezon) alışverişi sayesinde birbirine bağlanması, verilebilir. Bu nedenle, ***etkileşim*** sözcüğü, kuvvet yerine daha doğru bir seçimdir. Söz konusu etkileşimler, güç sıralamasına sokulursa en güçlüden, en güçsüze bunlar; güçlü etkileşim, elektromanyetik etkileşim, zayıf etkileşim ve kütle çekim etkileşimidir.

Ancak henüz pek çok sayıda bilinmeyen de vardır. Olası beşinci temel kuvvet, evren hakkında sonucu bilinmeyen soruların cevaplanmasına da yardımcı olabilir. Örneğin, evrenin genişlemesinin hızlandığına dair gözlem karanlık enerji olarak bilinen gizemli bir olayla ilişkilendirildi. Ancak daha önce bazı araştırmacılar bu olayın beşinci bir kuvvetin kanıtı olabileceğini iddia ettiler. BBC'deki 'Sky at Night' programının sunucularından Dr. Maggie Aderin-Pocock, deneylere ilişkin BBC News'e yaptığı açıklamada, "Oldukça şaşırtıcı. Fiziği tersine çevirme potansiyeline sahip. Evrenin henüz çözülememiş gizemli yönleri vardır. Bu, bize söz konusu gizemleri çözmek için bazı anahtarları verebilir" diye konuştu. Bilim insanlarının tahminine göre, aynı zamanda yapılan deneyin sonuçları, ***"Karanlık madde nedir?", "Evrende neden karanlık madde var?"*** gibi soruların da cevabı için kapılar aralanabilir (https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-56673648; Erişim 8 Nisan 2021; saat 10.00).



Şekil 25. Dört temel kuvvetin yapıları ve ilişkiler (Ulutürk, 2020).

Çizelge 1. Kuvvetlerin bazı temel özellikleri (Ulutürk, 2020).

Kuvvet Türü	Etki Alanı	Bağıl Şiddeti	Menzili	Kuantumu (parçacığı)	Kütlesi
Kütle-çekim Kuvveti	kütle	10^{-38}	∞	graviton	0 MeV
Zayıf Kuvvetler	lepton, mezon, baryon	$10^{-4} - 10^{-12}$	$< 10^{-17}$ m	W- parçacığı Z- parçacığı	81000 MeV 93000 MeV
Elektromanyetik kuvvetler	yüklü parçacıklar	10^{-2}	∞	foton	0 MeV
Şiddetli kuvvetler	Baryon, mezon (hadronlar)	1	10^{-15} m	pion (mezon)	140 MeV

Bilim insanları mademki Higgs kuvveti var, ama temel kuvvet değil, öyleyse Higgs mekanizmasını açıklayacak henüz bilinmeyen 5. Fizik kuvveti olabilir diye düşünmektedir. Eğer 5.

Kuvvet varsa bunu kanıtlamak çok zor olacaktır. 5. Kuvvet güçlü olsaydı bunu doğada tanımlamak mümkündü. Öte yandan 5. Kuvvet çok zayıf bir kuvvetse bunu belirlemek uygulamada olanaksız gibi görünmektedir. Karanlık madde 5. Kuvvete dair en güçlü ipuçlarını sunuyor. Evrende normal maddenin 5 katı karanlık madde var ve bunu açıklamak için birçok kuramsal parçacık görüşü ortaya atıldı. Buna karşın parçacıkların hiçbiri görülemedi. Bu nedenle karanlık maddenin bildiğimiz anlamda madde olmadığına dair kanılar güçlenmektedir. Her ne kadar karanlık maddenin madde olduğunu düşünülse bile 5. Kuvvet'in olduğunu öne sürenler vardır. Kuşkusuz evrenin genişlemesinden sorumlu karanlık enerjiyi de 5. Kuvvet sınıfına sokan araştırmacılar bulunmaktadır. Bu çerçevede pek çok 5. Kuvvet kuramı düşünülebilir.

Sonuç olarak, insanoğlunun ulaştığı Yer'e dair bilgilerle, henüz tüm evreni, ya da evrenleri anlamaya yetmediği açıkça görülmektedir. Bu konuda insanoğlu, sürmekte olan çabaların henüz ilk evresindedir. Çünkü, evren insanoğlunun hayal edebileceğinden de daha karmaşık bir yapıdır.

TEŞEKKÜR

Bu bölüm değeli meslektaşım Yavuz Ulutürk tarafından okunmuş ve yapılan önerilerle birlikte yapılan çevrimiçi sunum (Ulutürk, 2020), metnin gelişmesine katkı sağlamıştır. Kendisine teşekkürlerimi sunuyorum.

KAYNAKLAR

Akoğlu, A., 2001. Kraliçe'nin İncileri: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, s.409, s.104-105.

Garczynski, B. J., Horgan, B., Kah, L. C., Balci, N., Gunes, Y., Williford, K. H., & Cloutis, E. A. (2020). Investigating the Origin of Carbonate Deposits in Jezero Crater: Mineralogy of a Fluviolacustrine Analog at Lake Salda, Turkey. 51st Lunar and Planetary Science Conference.

Gökmen, İ., 1966. Astronomi (Liseler için), 4. Baskı, Kurtuluş Matbaası, Ankara.

Gürdilek, R., 2001. Evrenin Kaderi: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 405, 34-41 s.

Hawking, S., 2005, A Breafer History of Time (Zamanın Daha Kısa Tarihi: Çev. Selma Öğünç): Doğan Kitapçılık A.Ş., Şişli-İstanbul, 125 s.

Heron, P., 2016, Plate tectonics: new findings fill out the 50-year-old theory that explains Earth's landmasses (https://theconversation.com/plate-tectonics-new-findings-fill-out-the-50-year-old-theory-that-explains-earths-landmasses-55424 (17 Ekim 2018, saat 16.10).

Holmes, A., 1965. Principles of physical geology. Thomas Nelson, London.

http://www.eclipse2006.boun.edu.tr/eclipse99/Turpage/gunes.html (11 Aralık 2021).

http://www.nationalgeographic.com.tr

http://www.thewallpaper.us

https://evrimagaci.org/gunesin-evrimi-gunes-nasil-var-oldu-nasil-yok-olacak-8400 (21 Mart 2021, saat 19.05)

https://onedio.com/haber/nasa-nin-mars-tan-yayinladigi-yeni-yuksek-cozunurluklu-fotograflar-mizahsorlerin-diline-dolandi-968484 (11 Aralık 2021).

https://t24.com.tr/yazarlar/gunec-kiyak/evrenin-kenarinda-kara-akim-gizemi,34102 (06 Şubat 2022).

https://tr.pinterest.com/pin/756252962419494176/ (06 Ekim 2020, saat 07)

https://tr.wikipedia.org/wiki/Halley_kuyruklu_y%C4%B1ld%C4%B1z%C4%B1 (25 Ocak 2023).

https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-56673648 (Erişim 8 Nisan 2021; saat 10.00).

https://www.indyturk.com/node/360421/bi%CC%87li%CC%87m/%C3%A7inin-g%C3%BCne%C5%9Fe-do%C4%9Fru-yol-alan-uzay-arac%C4%B1-d%C3%BCnya-ve-ay%C4%B1n-%C3%BCrk%C3%BCt%C3%BCc%C3%BC-g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BCs%C3%BCn%C3%BC (17 Mayıs 2021 11:03).

https://www.webtekno.com/james-webb-teleskobu-jupiter-fotografi-h127123.html (30.08.2022 07:40)

Johnson, E.D., 2001, Moon formed from older Earth?, Geotimes, October 2001, 6.
Kırkayak, Y., 2021. Salda gölü Mars gezegenini keşfetme ve anlama görevinde ilham kaynağı oldu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, no 143, Ankara, 22 s.

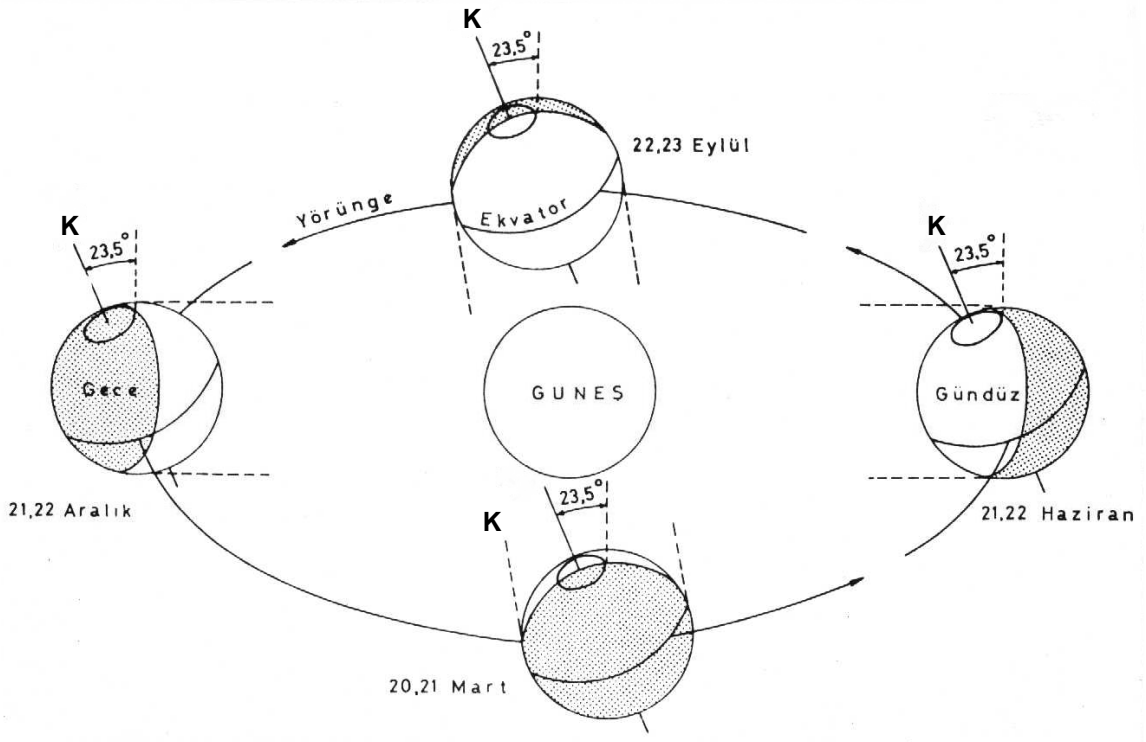
King, H.C., 1966. Book of Astronomy. Collins, London and Glagow.
Moore, P., 2004, Gezegenler Klavuzu (New Guide to The Planets, 1993'ten Çeviri: Özlem Özbal, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 22), 14. Basım, Kalkan Matbaacılık, Ankara, 260s.
Oldroyd, D., 2004. İnsan Düşüncesinde Yerküre (Çeviri: Ülkün Tansel), TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 186, Ziraat Matbaacılık A.Ş., Ankara, 563 s.
Press, F. ve Siever, R., 1974. Earth, W.H. Freeman and Company, USA, 945s.
TÜBİTAK, 2000, Evren, Popüler Bilim Kitapları 129, Başvuru Kitapları 7, (Çeviri Ali Kozbek), Nurol Matbaacılık, Ankara, 64 s.
Ulutürk, Y., 2020. Uzay Madenciliği. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 25.06.2020 tarihinde Çevrimiçi Sunum. www.youtube.com/c/JeolojiMühendisleriOdası, Zoom Linki: https://us02web.zoom.us/j/89286003986?pwd=dkpiRWlxZ3dBVU9uR2o0QmVTak5LQT09
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

2. 2-YER'İN TEMEL ÖZELLİKLERİ

GENEL BİLGİLER

Bu bölümde Yer'in şekli, yerçekimi ve izostazi, yerin manyetik alanı (jeomanyetizma), kayaların mıknatıslanması ve paleomagnetizma, yerin sıcaklığı, yerin katmanları, magmatizma, volkanizma gibi dünyamızın genel yapısını anlamayı kolaylaştıran ve çevre ile ilişkilerini kurmaya katkı sağlayan bazı özgül (karakteristik) nitelikler sunulacaktır.

Güneş Sistemi içinde bir gezegen durumunda olan Yer, diğer gezegenler gibi Güneş'in çevresinde elips şeklinde bir yörünge üzerinde dolanmakta ve 365 +1/4 günde (365 gün, 5 saat 48 dakika 46 saniye'de) bir dolanımını tamamlamaktadır. Yer'in Güneş'e uzaklığı yaklaşık 150 milyon kilometredir. Yer'in ortalama olarak Güneş'in etrafında dolanma hızı saatte 107.000 km, yada saniyede yaklaşık 30 km'dir. Dünya'nın ekseni (N-S), Güneş'e göre eğik olduğundan, dolanma sırasında Yer'in değişik kesimleri Güneş enerjisinden farklı zamanlarda farklı derecelerde etkilenmekte ve bu suretle mevsimler meydana gelmektedir (Şekil 1). Yerin kendi ekseni etrafında dönme periyodu 24 saattir. Bu hız ekvatorda en yüksek, kutupta ise sıfırdır.



Şekil 1. Yeryuvarı'nın Güneş etrafında dolanımı ve mevsimlerin oluşumu. Bu sırada Yer ekseninin uzaydaki yönü ve doğrultusu değişmez, aynı kalır (Strahler, 1972).

Yeryüzündeki tüm değişimlerden termodinamik yasaları geçerlidir. ***Entropi*** de söz konusu değişimlerde gelişen bir düzensizlik ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Örnek vermek gerekirse, masanızın üstü eski gazetelerle, işe yaramaz postalarla, üst üste koyulmuş kitaplarla, yarısı okunmuş makalelerle doluysa eğer, son derece bir düzensizlik var demektir, bu da ***yüksek düzeyde entropi durumu*** olduğu anlamına gelmektedir. Oysa, masanızın üzerinde yazılarınız alfabetik bir sırayla kutulara koyulmuş ve kitaplarınız yazarların isimlerinin alfabetik sırasına göre dizilmiş şekilde, son derece düzenli bir durumda ise, bu da ***düşük düzeyde bir entropi durumu*** var anlamına gelir.

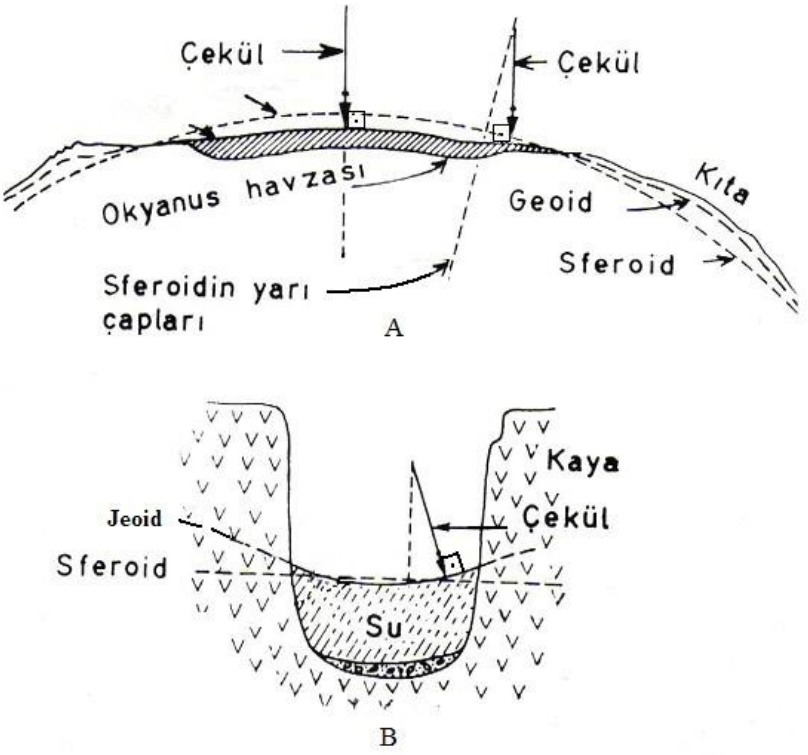
Örneğin, bir sisteme ısı verilirse entropi artar, sistemdeki ısı azaldıkça entropi de azalır. Isı transferi, daima yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akar. Bir ısı makinesinin ısıl enerjiyi % 100 verimle işe çevirmesi mümkün değildir. Bir nesnenin sıcaklığını sonlu sayıda aşamada mutlak sıfıra indirmek olanaksızdır. İşte bu akış içinde, her şey sürekli değişim içindedir. Doğanın denge haline gelmesi, yeni bir dengesizliğe yol açar. Yeniden denge arayışı da entropinin değişimine, söz konusu değişimin de yer süreçlerini yönlendirdiği kabul edilebilir.

YERİN ŞEKLİ

Yer'in şekli tam bir küre olmayıp, ekvator bölgesi şişkin, kutuplar ise basıktır. Yer'in şeklini betimlemek üzere jeoid ve sferoid terimleri kullanılmaktadır.

Jeoid, Yer'in çeküllere her noktada dik olan bir Yer yüzeyinin oluşturduğu ve yaklaşık olarak okyanuslar seviyesindeki yerküresini tanımlar. Yani, Jeoid, kıtalara doğru devam ettirilerek uzatılan ortalama deniz düzeyinin yüzeyi olarak gözetilen Yer'in şeklidir.

Sferoid ise okyanusta deniz seviyesi üzerinde, dolayısıyla jeoidin biraz üzerinde kıtalarda ise jeoidin biraz altında yer alır (Şekil 3.2). Yani, sferoid, hafifçe yassı bir elipsoidin ana ekseni etrafında dönmesiyle meydana gelen üç boyutlu sferoidal yüzey şeklidir. Genel olarak bir küreden az bir şey farklı bir yer şeklidir. Bu terimler, Yer ile ilgili bazı hesapları kolaylaştırmak amacıyla ortaya konulmuş ve Yer'in şekli hakkında doğruya en yakın bilgiyi sistemleştirmek üzere değerlendirilmektedir. Yer'in şekli de gözetilerek coğrafi bilgi sistemleri (CBS) oluşturulmuştur. CBS'nin yardımıyla Yer'in herhangi bir noktası tanımlanabilmektedir.



Şekil 2. Jeoid ve Sferoid'in karşılıklı ilişkileri ve yeryüzüne göre durumları (Ketin,1977).
A, Kıta ve okyanusların genel görünümü
B, Bir göl ortamında abartılmış genel görünüm.

Yer' in boyutları ile ilgili diğer bilgiler Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Yerin bazı boyutları

Yer'in ekvator yarıçapı: 6378,4 km
Yer'in kutuplar yarıçapı: 6356,9 km
Yer'in ortalama yarıçapı: 6371 km
Yer'in ekvator (enlem) çevresi: 40.077 km
Yer'in kutuplar (boylam) çevresi: 40.009 km
Yer'in basıklık oranı: $\frac{a-b}{a}=\frac{1}{297}$ (a, ekvator, b, kutup yarıçapları ile temsil edilmektedir).

Yer'in şekli, boyutları ve Güneş sistemindeki konumu, mevsimlerin meydana gelmesinde etkilidir. Ayrıca, Yer'in bileşimi, yerçekimi ve izostazi, manyetizma, yer içinin sıcaklığı ile yerin katmaları, Yer süreçlerinin gelişmesinde belirleyici işlevlere sahiptir.

YERİN BİLEŞİMİ

Yeryuvarının genel olarak elementler yönüyle bileşimi Çizelge 2'de, kıtasal kabuğun oksitler ve eser elementler yönüyle bileşimi ise Çizelge 3'de sunulmuştur. Yer'in bileşiminde en yaygın elementler Fe, O, Si, Mg ve Ni'dir. Diğer elementler % 1 dolayında ya da çok daha az miktarda bulunmaktadır. Kıtasal kabuğu oluşturan başlıca oksitler ise SiO_2, Al_2O_3, CaO, FeO, Fe_2O_3, Na_2O, MgO ve K_2O' dir.

Çizelge 2. Yeryuvarının bileşimi: Elementler yönüyle % olarak (Ketin, 1977).

Fe % 34.6	Ca % 1.13	Co % 0.13
O 29.5	Al 1.09	K 0.07
Si 15.2	Na 0.57	Ti 0.05
Mg 12.7	Cr 0.26	
Ni 2.39	Mn 0.22	
S 1.93	P 0.10	

Çizelge 3. Kıtasal kabuğun oksitler ve eser elementler yönüyle bileşimi (Ketin, 1977).

Oksitler	**%**	**Eser elementler**	**ppm olarak**
SiO_2	61.9	Ba	425
Al_2O_3	15.6	Sr	375
CaO	5.7	Zr	165
FeO	3.9	Cu	55
Na_2O	3.1	Pb	12.5
MgO	3.1	U	2.7
K_2O	2.9	Hg	0.08
Fe_2O_3	2.6	Ag	0.07
TiO_2	0.8	Au	0.004
P_2O_5	0.3		
MnO	0.1		

ppm=milyonda bir gram (ppm= $\frac{1}{10^6}=10^{-6}$ gr).

YERÇEKİMİ VE İZOSTAZİ

Salınım yapan bir sarkacın devinimi, boşluğa bırakılan yada havaya fırlatılan bir cismin yeryüzüne düşmesi, dünyanın bir çekim kuvvetine sahip olduğunun açık belirtileridir. ***Yerçekimi,*** Yer'in kütlesinin

Yer'in merkezine doğru uyguladığı kuvvettir. Newton'un yerçekimi yasası, $F=G\ (m_1m_2)/r^2$ formülü ile ifade edilmektedir. Burada iki cismin birbirine uyguladıkları çekim kuvveti (gravitation) , cisimlerin kütlelerinin (m_1,m_2) çarpımı ile doğru orantılı ve aralarındaki uzaklığın (r) karesi ile ters orantılı olduğu ifade edilmektedir. G, yerçekimi sabitesidir ve değeri $6.673x10^{-8}$ cgs olarak kabul edilir.

Newton'un ikinci yasasına göre bir cismin oluşturduğu kuvvet (F), bu kuvvetin yarattığı devinimin ivmesi (a) ile kütlenin (m) çarpımına eşittir (F = m.a). Yani, her iki yerçekimi yasasında kütle önemli bir unsurdur. Yerçekiminin değeri, çekim kuvvetinin ivmesi ile tanımlanır ve (g) harfi ile belirtilir. İvmenin birimi ise cgs sisteminde cm/san^2dir. Bu birime gal denir (Galile'nin ilk üç harfi) ve bir saniyede bir santimetrelik hız artışını (a = v/t) belirler.

İstanbul enleminde ve deniz düzeyinde yerçekiminin değeri yaklaşık olarak 980 cm/san^2 yada 980 gal'dir. Jeofizik çalışmalarda gal'in 1/1000 olan miligal (mgal) temel bir birim olarak kullanılmaktadır. (g) değeri özel olarak yapılmış sarkaçlar ve gravimetrelerle ölçülür. Yeryuvarı geometrik olarak tam bir küre biçiminde olmadığından yani kutuplarda basık ve ekvatorda şişkin olduğundan (g) nin kutuplardaki değeri ekvatordan daha fazladır. Yerçekimi (g) Yer'in merkezinde yoğunlaşmaktadır. (g) nin kutuplardaki değeri 983 gal, ekvatordaki 978 gal' dır. Çünkü, ekvatorun yerin merkezine olan uzaklığı, kutuplara göre daha fazladır.

Yeryüzünde bir noktadaki çekim kuvveti, bu noktanın yerin merkezinden olan uzaklığına, deniz düzeyine göre yüksekliğine ve o noktayı çevreleyen maddelerin yoğunluğuna bağlı olarak değişir.

Yer merkezinden uzaklığa ve deniz düzeyinden yüksekliğe göre hesaplanan çekim değerine "***kuramsal gravite (çekim) değeri***" denir. Eğer gravimetre ile ölçülen gerçek çekim değeri kuramsal değerden farklı ise, bu iki değer arasındaki farka dayalı olarak ***"gravimetre anomalisi"*** belirlenir. Ölçülen gravite değeri kuramsal değerin altında ise anomali eksi (negatif), kuramsal değerin üstünde ise anomali artı (pozitif) dır, denir. Anomaliler kütle ve yoğunluk farkından ileri gelir.

Ay ve Güneş'in Yeryuvarı'na uyguladıkları çekim, met-cezir ya da gel-git ile kendini göstermekte ve Yer'in kendi ekseni etrafında dönmesi sonucu meydana gelen merkezkaç kuvvet ile birlikte yerçekimini zıt yönde etkilemektedir.

İzostazi (isostasy), isos (eş) ve stasis (ayakta duran) sözcüklerinden türemiş olup, 'dengede olan' anlamına gelmektedir. İzostazi, Yer'i oluşturan levhaların kuramsal olarak dengede olma halidir. Günümüzde, yerkabuğunun kütleleri ve yoğunlukları birbirinden farklı kimi bloklardan ya da levhalardan oluştuğu ve bu parçaların kendi aralarında dengede oldukları bilinmektedir. Yani Izostazi, Yer'i oluşturan blokların ya da levhaların dengede olma durumuna denir.

Amerikalı Dutton (1889) tarafından tanımlanan bu duruma göre, yüksek dağlık bölgeler, dolaylarındaki alçak bölgelere oranla daha hafif kayalardan meydana gelmişlerdir. Yani, yoğunluğu az olan kabuğun olduğu yerler, yoğunluğu yüksek olan kabuğun olduğu yerlere göre topografik olarak daha yüksek bir konumda olurlar. Buna göre okyanusların olduğu yerlerde kabuk daha yoğun olduğu için daha ince, kıtaların ya da dağların olduğu yerlerde kabuk daha hafif olduğu için daha kalındır. İzostazi aynı zamanda, hafif maddelerden oluşmuş dağlık bölgelerin yükseklikleri ile orantılı derin kökleri bulunduğu gerçeğini belirtir.

Yeryüzünün engebeleri (sıradağlar ve okyanuslar) yerkabuğundaki yoğunluk farklarından ve dolayısıyla izostazinin varlığından ileri gelmektedir. Vadiler ve tepeler gibi küçük engebelerin oluşumu ise kayaların aşınmaya karşı gösterdikleri farklı dirençlerinin de bir sonucudur.

Tüm mühendislik uygulamalarında örneğin su, petrol, doğal gaz gibi doğal kaynakların taşınmasına ilişkin projelerin gerçekleştirilmesi sırasında yerçekimi ve izostazi gözetilerek hesaplamalar yapılır.

YER'İN MANYETİZMASI (JEOMANYETİZMA)

Yer küresinin büyük bir mıknatıs gibi davrandığı, İngiliz saray doktoru William Gilbert'in "De Magnete" adlı eserini yayımladığı 1600 yılından beri bilinmektedir. Daha sonra Alman matematikçi Gauss (1839) Yer'in manyetik alanının büyük kısmının bizzat yerin içinden, değişken olan küçük bir bölümünün ise Yer'in dışından gelmekte olduğunu saptamıştır.

Yer'in manyetizması, Yer'in günümüzde bir mıknatıs gibi davranmasını sağlayan özelliklerinin incelenmesidir.

Pusula ibrelerinin gösterdikleri yön ile coğrafik kutup noktası arasındaki açıya ***sapma açısı*** (declination) denir ve (d) ile gösterilir. Sapma açısının sıfır olduğu yerlerde, pusula ibresi aynı zamanda coğrafik kuzey kutbunun yönünü gösterir.

Ayrıca, ağırlık merkezi üzerinden geçen yatay eksen etrafında serbestçe hareket eden bir mıknatıs çubuğunun yada pusula ibresinin kuzey ucu kuzey yarımküresinde, güney ucu güney yarımküresinde aşağı doğru eğilir ve yatay düzlemle belirli bir açı yapar. Bu açıya da ***manyetik eğim*** (inclination) denir ve (i) harfi ile gösterilir. Bu açının değeri, yeryüzünün değişik bölgelerinde farklı olup ekvatorda sıfır, kutuplarda 90^o'ye yakındır.

Yerin manyetik alanının günlük olarak hafif ama düzenli bir biçimde oluşan değişikliğine "***günlük değişim***" denir. Manyetik alanın günlük değişimleri ve manyetik fırtınalar, atmosferin üst katmanlarındaki elektrik akımlarından ileri gelmektedir. Yeryüzünün birkaç yüz kilometre yukarıda iyonosfer bölgesinde Güneş'in radyasyon etkisiyle oksijen ve azot atomlarından elektronlar ayrılır, etrafa yayılır. Pozitif ve negatif yüklü parçacıklar (iyonlar ve elektronlar) iyonosferdeki havayı (ortamı) elektrik için iletken duruma getirirler. İyonosferdeki elektrik akımlarının meydana getirdiği manyetik alan, yerin manyetik alanında geçici değişikliklere neden olmaktadır.

Yer'in manyetik alanının uzun süreli, ama düzenli olmayan değişimlerine ***seküler değişim*** (secular variation) denir. Seküler değişimden elde edilen en önemli sonuç, Yer'in manyetik alanının yılda ortalama 0.2^o (0.18^o) kadar batıya doğru kaymakta olduğunun saptanmasıdır. Buna göre jeomanyetik alan yerküresini her 200 senede bir kez dolanmış olacaktır. Yerin manyetik alanının batıya doğru kaymasının nedeni, çekirdeğinin mantoya göre daha yavaş dönmesidir.

Manyetik alanın kökeni

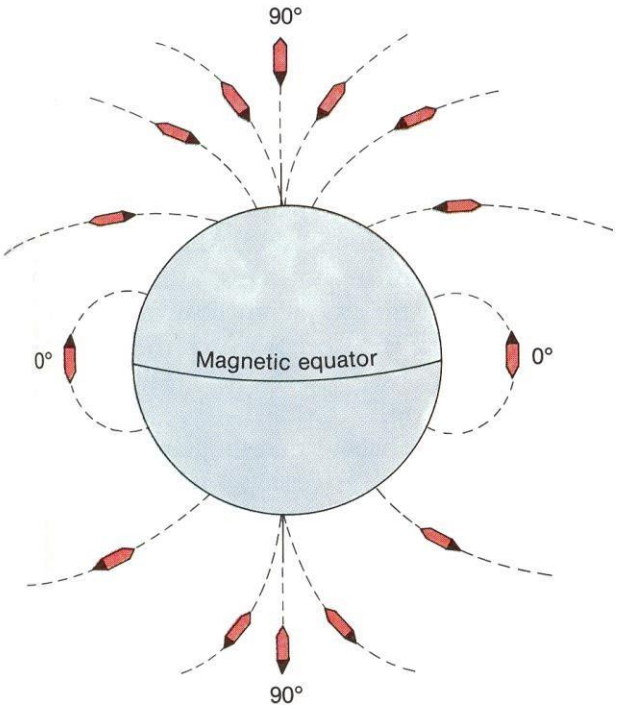
Bullard (1955) tarafından öne sürülen Dinamo Kuramı'na göre Yerin metalik ve sıvı olan dış çekirdeği ***kendi kendini işleten bir dinamo*** (self-exciting dinamo) gibi davranmaktadır. Kuramın fiziksel yönü, ***manyeto-hidrodinamik bir olay*** olarak değerlendirilmektedir.

Sıvı (ergimiş) halde demir-nikel karışımından meydana gelen ve elektrik akımı için iyi bir iletken durumunda olan Yer'in dış çekirdeğinde sürekli olarak gelişen termal konveksiyon hareketi elektrik akımını oluşturmaktadır. Bu akım Yer'in asıl manyetik alanını meydana getirmektedir. Manyetik alan, ortamda daha önce var olan alanı kuvvetlendirmekte, yenilemekte ve böylece sistem kendi-kendini işleten (besleyen) bir dinamo gibi çalışmaktadır.

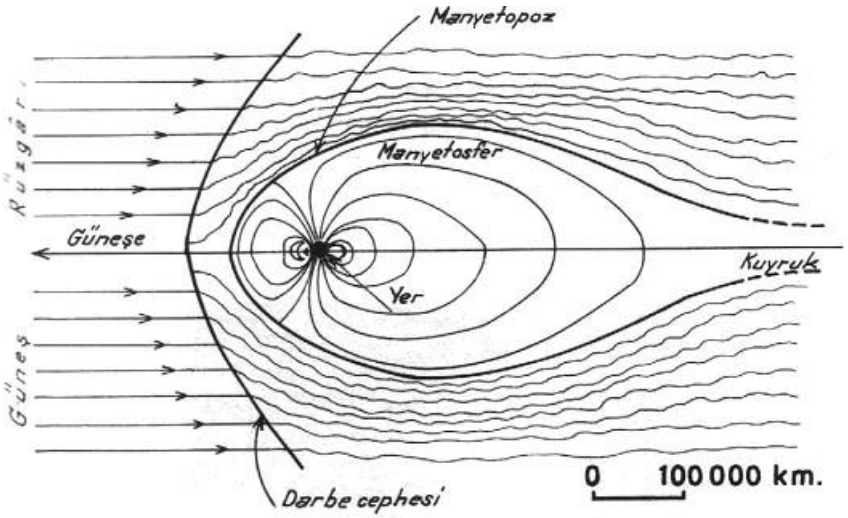
Dinamo kuramının geçerli sayılabilmesi için iki önemli sorunun açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Birinci sorun, başlangıçta manyetik alanın kaynağının ne olduğudur. İkinci sorun ise dış çekirdekteki konveksiyon hareketlerini hiç durmadan sürdüren enerjinin kökeni ve kaynağının ne olabileceğidir.

İlk sorunun yanıtı, yerin oluşumu sırasında bir manyetik alanın var olduğuna ve başlangıçtaki alanının çekirdekteki termoelektrik akımlarından ileri gelmesine dayandırılmaktadır. İkinci sorunun yanıtı ise Çekirdek'teki bileşimin değişkenliğinden ileri gelen heterojen bir yapının dengelenememesi ile ilişkilendirilmektedir.

Gauss (1839) Yer'in manyetik alanının bizzat yerin içinden, küçük bir bölümünün ise Yer'in dışından geldiğini saptamış ve dipol alanını tanımlamıştır (Şekil 3). Buna göre Yer'in manyetik dipol alanı, atmosferin daha ötelerine kadar uzanmaktadır. Yerden 64.000 ile 130.000 km uzaklığa kadar uzanan bir alanı temsil eden bölgeye ***Manyetosfer*** denilmektedir. Manyetosferin şekli uzun saplı bir armuda benzer (Şekil 4).



Şekil 3. Yerin manyetik ekvatoru (Coch ve Ludman, 1991).



Şekil 4. Manyetosferin şematik görünümü ve yaklaşık boyutları (Strahler, 1972).

Güneş rüzgârının manyetik kuvvet çizgilerini taşıyan plasması ile Yer'in uzaydaki manyetik alanı arasında kesin bir sınır bulunur ve bu sınıra ***Manyetopoz*** (Magnetopause) denir.

Kayaların mıknatıslanması ve paleomanyetizma

Bir cismin mıknatıslığı (manyetik oluşu), cismi oluşturan atomlar içindeki elektronların hareketinden ileri gelir. Bilindiği gibi, bir atomun yapısında merkezde bir çekirdek (nucleus) ile bunun etrafında hızlı dolaşan bir ya da birçok elektron bulunur. Elektronların hareketi iki çeşittir. Bunlardan birincisi, çekirdek etrafındaki yörünge hareketi, diğeri ise elektronların kendi eksenleri etrafındaki dönme hareketidir ki buna da iğ ya da spin hareketi (spin motion) denir. Elektronların bu hareketlerinden her biri bir manyetik alan oluşturur ve bir cismin manyetizmanın asıl nedeni de budur.

Yörüngeleri elektronlarla tam olarak dolmuş olan He, Zn gibi atomlarda elektronların yarısı bir doğrultuda, diğer yarısı ise buna zıt doğrultuda spin hareketi yapar ve atomun net bir manyetik momenti oluşmaz. Bu tür bir olaya ***diamanyetizma*** ve bu tür cisimlere ***diamanyetik cisimler*** denir. Kuvars, feldispat, tuz, kalsit, altın, gümüş, kükürt, su ve buz gibi cisimler başlıca dia-manyetik cisimlerdir.

Yörüngeleri elektronlarla tam olarak dolmayan atomlarda ise yörünge ve spin manyetik momentleri birbirlerini tümü ile etkisiz bırakamazlar ve atomun net bir manyetik momenti olur. Böyle bir cisim manyetik alana konulursa, atomların manyetik momentleri alanın doğrultusunda sıralanırlar. Bu tür cisimler alan doğrultusunda zayıf bir manyetik moment oluştururlar. Bu olaya ***Paramanyetizma***, cisimlere de ***paramanyetik cisimler*** denir. Fayalit, Piroksen, Biyotit, Granat gibi cisimler Mn^{+2}, Fe^{+3} ve Fe^{+2} iyonlarını kapsarlar ve para manyetik cisimlerdir.

Atomların karşılıklı olarak birbirlerini etkiledikleri, komşu atomların manyetik momentlerini kendi manyetik momentlerine koşut olarak sıralamaya zorladıklarında, cisimlerde ***ferromanyetizma*** gelişmektedir. Karşılıklı etkileme (exchange interaction) özellikle atomlarının düzenli olmayan termal hareketlerinden daha şiddetli ise cisim ***ferromanyetiktir***. Demir, nikel, titan gibi metaller ve bunların oksitleri olan magnetit, hematit, ilmenit gibi cisimler ferromanyetik cisimlerdir.

Manyetik alanın ortadan kalkması ile paramanyetik ve diamanyetik cisimler mıknatıslıklarını tümüyle yitirirler. Buna karşın ferromanyetik cisimlerde mıknatıslanmanın büyük bir kısmı arta kalır. Buna ***kalıcı*** (sürekli) ***mıknatıslanma*** denir.

Demir ve nikel gibi ferromanyetik maddeler Curie-noktası ya da sıcaklığı üstünde manyetik özelliklerini yitirirler. Curie sıcaklığı demir için 770 ^{o}C, nikel için 360 ^{o}C'dir. Yer'in dış çekirdeği sıvı halde ve sıcaklığı 2000 ^{o}C'nin üstünde olduğuna göre çekirdekteki demir ve nikelin ferromanyetik olarak kalması ya da yerin çekirdeğinin kalıcı bir mıknatıs durumunda olması mümkün değildir.

Çökel kayalarda çökelme sırasında kalıcı mıknatıslanma oluşabilmektedir. Bu olayda manyetik tanecikler Yer' in manyetik alanı doğrultusunda sıralanırlar ve çökel içinde kalıcı mıknatıslanma meydana getirirler.

Yeryuvarı manyetik alanının jeolojik çağlar boyunca birçok kez yön değiştirmiş ve ters dönmüş olduğu ortaya konulmuştur. Bu olaya ***manyetik alanın terslenmesi*** (reversal) denmektedir.

Paleomanyetizma

Kayalardaki doğal kalıcı manyetizmanın yönlerinin (declination ve inclination) ölçülmesi yolu ile Yer'in manyetik alanın jeolojik geçmişteki durumunun incelenmesine paleomanyetizma denir.

Paleomanyetik araştırma, arazi üzerinde çok sayıda yönlü kaya örneğinin alınmasıyla başlar. Yeteri kadar yönlü örnek alındıktan sonra, bunların içindeki kalıcı mıktatıslanma ve onun doğrultusu ölçülür. Ölçme işi basit manyetometrelerle (Astatik ya da Spinner) yapılır. Veriler, sterografik projeksiyon düzlemi (Schmidt network) üzerinde değerlendirilir.

Yapılan paleomanyetik çalışmalara göre, her kıta kendine özgü bir manyetik tarihçeye sahiptir. Kıtalar değişik jeolojik zamanlarda farklı kayma hızlarına sahip olup paleomanyetik kutup değişmelerinin temel nedeni de kıtaların kaymasıdır.

Elektromanyetik dalgalar, manyetik kirlenme ve insan sağlığı

Öncelikle radyasyon kavramına açıklık getirmekte yarar vardır. Bir elementin yapı taşı olan atom başlıca proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ve çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan yapılıdır. Atomun çekirdeğinde nötron sayısı proton sayısından fazla olursa, bu fazla nötronlar parçalanabilir. Parçalanma sırasında çıplak gözle görülmeyen ve alfa, bete, gama adı verilen ışınlar ortaya çıkar. Bu ışınlar ***radyasyon*** olarak adlandırılmaktadır. Nükleer tıpta görüntüleme için sıkça gama radyasyon, tedavi amacıyla da beta radyasyon tipleri kullanılmaktadır. Atom ve molekül düzeyinde değişiklikler yaparak hücreye zarar veren yüksek enerjili radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denilmektedir. Bu grup başlıca X, gama, kozmik ışınlar, nötron, alfa ve beta radyasyonlardan oluşmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon hücre zarında, stoplazmada ve DNA'da değişikliklere yol açmaktadır.

Oysa radar ve radyo dalgaları, kızılötesi dalgaya sahip radyasyon (yani Radyo Frekans-RF elektromanyetik dalgalarının foton enerjileri) atomları ve molekülleri iyonlaştıracak düzeyde değildir. Dolayısıyla, elektromanyetik radyasyonun düşük frekanslı biçimleri olan görünen ışık, kızılötesi radyasyon ve RF dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örnektir.

Günlük yaşamda elektromanyetik radyasyon için en büyük kaynak, içinde yaşadığımız binaların yapımında kullanılan taş, toprak ve diğer malzemelerdir. Elektromanyetik radyasyon kaynakların yaklaşık %50'sini yaşadığımız binalarda var olan radon gazından almaktayız. Diğer doğal radyasyon kaynakları arasında Güneş, hava, su ve toprak yer alır. Yapay radyasyon kaynakları içinde nükleer santraller, röntgen makineleri, cep telefonları-vericiler, uzaktan kumanda cihazları, elektrikli ısıtıcılar sayılabilir.

Ortamda elektromanyetik dalgaların etkisinde kalma sonucunda canlılarla iki tür etkiler oluşur: ısıl etkiler ve ısıl olmayan etkiler.

Isıl etkiler, vücut tarafından yutulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanır. Bu sıcaklık artışı, ısısının kan dolaşımı ile atılarak dengelenmesine dek sürer. Cep telefonları gibi RF dalgalarının neden olabileceği sıcaklık artışı çok düşük olup vücudun olağan işleyişi ile etkisizleştirilebilir.

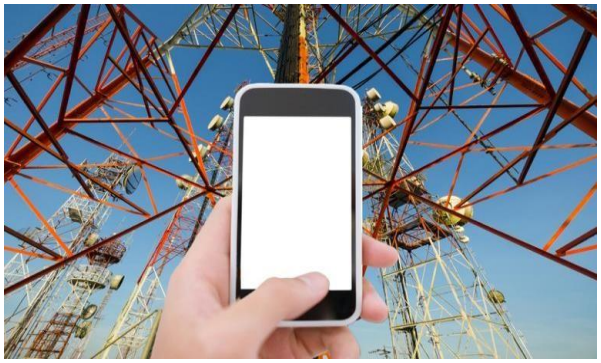
Isıl olmayan etkilere bağlı olarak bozukluk ve hastalıklar arasında yorgunluk, baş ağrısı, hafıza kaybı, beyin faaliyetinde değişiklikler, uyku ve dikkat bozuklukları ve baş ağrıları, kulak çınlaması ve eklem ağrıları bulunmaktadır. Ancak bu sorunlar, yüksek dozlar ve uzun sürelerde devam eden elektromanyetik faaliyetler sırasında meydana gelir.

Yüksek enerjili iyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar, DNA ve genetik malzemeyi kapsayan biyolojik dokuda hasara neden olan moleküler değişikliklere yol açabilirler. Bu etkilerin ortaya çıkması için moleküler dokunun X-ışınları ve gama ışınları gibi yüksek enerjili fotonlardan etkilenmesi gerekmektedir.

Yüksek voltajlı elektrik hatlarının oluşturduğu elektromanyetizmanın alanların bazı kanser türlerine ve özellikle çocuklarda kan kanserine yol açtığı belirtilmektedir. Yüksek gerilim hatlarının yakınında oturan annelerde düşük yapma oranı yüksektir. Ayrıca elektrik ve elektronikle uğraşanlarda lösemi ve beyin kanseri görülmektedir. Konunun sağlık açısından önemi gözetildiğinde, tüketiciler ve özellikle çocuklar cep telefonları dahil, bu araçları kullanmaktan kaçınmalıdır. Ayrıca baz istasyonu ve cep telefonları standartlara uygun olarak planlanıp üretilmelidir. Bu sorunlar, iletişim araçlarını sorumluca kullanmayı gerektirmektedir.

Elektro manyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda oluşturulmuş uluslararası standartlar ve sınır değerleri vardır. Ülkemizde, TSE'nin yanı sıra TELEKOM tarafından yayınlanmış yönetmeliklerde geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Örneğin, Uluslararası Non-iyonizan Radyasyondan Koruma Komisyonu (ICNIRP) cep telefonu SAR (Specific Absorbtion Rate-Özgül Soğurma Oranı) değerleri için üst sınır 1.5-2 watt/kg olarak belirlemiştir. Türkiye'de 2 watt/kg oranı dikkate alınmaktadır.

Ayrıca çeşitli uydular, yakıt tankları, roket kabukları gibi manyetik parçaları olan uzay araçlarının yerçekimi nedeniyle parçalanarak yere düşmesi de Dünya'nın manyetik kirlenmesine yol açmaktadır. Sonuç olarak, halkın elektromanyetizmanın yüksek olduğu baz istasyonları, anten siteleri ve yüksek gerilime sahip enerji iletim hatları hakkında bilgilendirilmesi gerekmektedir. Elektromanyetik kirlilik yaratan ürünlerin kullanılması hususunda toplum bilincinin yaratılması zorunludur. Elektromanyetik radyasyon, kullanılan araçlar yolu ile de sağlığı tehdit etmektedir (Şekil 5). Örneğin geniş bir kitle tarafından kullanılmakta olan cep telefonlarının bile söz konusu riskleri yarattığı ileri sürülmektedir.



Şekil 5. Elektromanyetik radyasyon, kullanılan araçlar yolu ile sağlığı tehdit etmektedir.

Sonuç olarak, elektrikli cihazlardan mümkün olduğunca uzak durmak gerekir. Elektromanyetik etki mesafe ile azalmaktadır. Mikrodalga fırınlardan en az 50cm, televizyondan en az 2m uzak durmak gerekir. Ayrıca 16 yaşın altındaki çocukların cep telefonunu kullanmaması ya da cep telefonundan kulaklıkla konuşulması tercih edilmelidir. Elektromanyetik radyasyonu tümüyle yaşamımızda çıkarma olası değildir. Kullanımda dikkatli davranma, bu zararları an aza indirmek için akılcı bir yol olarak görünmektedir.

Ülkemizde geçen yıl baz istasyonu sayısı 80 bin adet iken şu an 100 bini geçiyor. Çevremizde sürekli elektromanyetik radyasyon yayan ve kirlilik oluşturan fiziksel bir etki altında kalıyoruz. Elektromanyetik radyasyonun şiddeti az bile olsa zaman içerisinde hafıza kaybı, alzaimer, parkinson gibi birtakım hastalıklara neden olabiliyor. Son zamanlarda beyin tümörü nedeniyle beyin kanserine yakalanmada artışların söz konusu elektromanyetik kirlilikten olabileceği bilim adamları tarafından da vurgulanıyor.

YERİÇİNİN SICAKLIĞI

Yer'in içindeki ısı, Güneş'ten gelen ısıya göre oldukça az olmasına rağmen, birçok volkanlar, depremler ve dağ oluşumu için gerekli enerji kaynağını oluşturur. Aslında 30 m'den daha derinlerde Güneş ısısının ve mevsimlik sıcaklık değişimlerinin etkisi olmaz. 30 m'den sonra Yer'in kendi ısısı etkili olmaya başlar ve 100 m derinlik için 2-3 ^{o}C, ya da km başına 30 ^{o}C sıcaklık artışı olur.

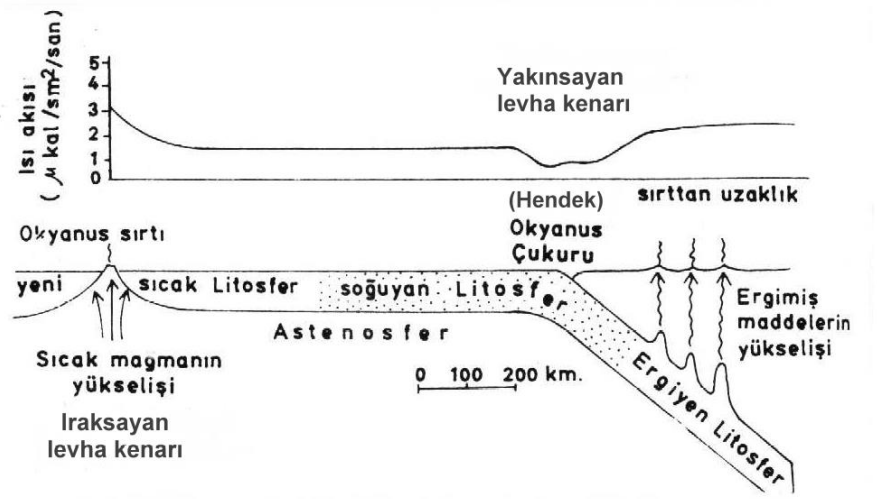
Ergimiş durumda olan Astenosfer'in başladığı 100 km derinlikte sıcaklık 2000- 3000 ^{o}C kadardır. 40 km derinklikte yaklaşık 500-1200 ^{o}C lik sıcaklıklara erişilir. Yer sıcaklığının derinlikle artma hızına

jeotermik gradyan (geothermal gradient) denir. Yerin içinden yeryüzüne doğru akan ısı enerjisine ***yerin ısı akısı*** (terrestrial heat flow) denir.

Isı akısının miktarı (q)= jeotermik gradyan (r) x ısı iletkenliği (K) olup, ***ısı iletkenliği*** birim alandan bir saniyede geçen ısı miktarı (mkal/sm/san/^{o}C) olarak tanımlanır.

Yeryuvarının litosfer ve üst manto bölgesindeki yüksek radyoaktivite ile daha derinlerde etkin olan yerçekimi enerjisinin termal enerjiye dönüşümü, yer içi ısısının ve sıcaklığının başlıca kaynaklarıdır.

Isı akısı, okyanus ortası sırtlarda yüksek, yitim zonlarında düşüktür (Şekil, 6).



Şekil 6. Isı aksının yerkabuğundaki yanal ve dikey değişimi. Okyanus ortası sırtın üzerinde yüksek değerde, okyanus çukurunda ise düşük değerde ısı akısı gözlenmiştir. Litosferin ergidiği ve sıcak malzemenin yükseldiği yerlerde yine yüksek değerlerde ısı akısı saptanmıştır. Şekilde düşey ve yatay ölçek aynı (Press-Siever, 1974).

Yer içinin sıcaklığı, ısı iletkenliğine, ısı akışına ve radyoaktif element miktarına bağlı olduğu gibi, Yeryuvarı'nın ilk oluşumu, evrimi ve jeolojik gelişimiyle de ilgilidir. Dolayısıyla yeryüzünde izlenen termal kaynaklar da, jeolojik gelişimin bir ürünü olarak ortaya çıkmaktadır.

Magmatizma

Magmaya ilişkin tüm süreçlere ***magmatizma***, magmanın yeryüzüne çıkmadan yerkabuğu içinde gelişimini tamamlarken meydana gelen süreçlere ***plütonizma***, magmanın yeryüzüne çıkarak çeşitli volkanik kayaların oluşumuna yol açan süreçlerine de ***volkanizma*** denir.

Magma (Akkor), yer içinde bulunan ergimiş bir silikat karışımı olup bileşiminde çeşitli gazlar bulunur. Yani magma aynı zamanda bir sıvı+gaz+kristal karışımından oluşmaktadır. Magmanın fizikokimyasal niteliği, bileşimine, sıcaklığına ve akıcılığına bağlıdır. Magmanın bileşimine giren başlıca oksitler: SiO_2, A_2O_3 ve CaO dir.

Magma içinde çözünmüş (ergimiş) halde bulunan gazların türü ve miktarı önemlidir. Bunların başında su buharı (H_2O) ve karbondioksit (CO_2) gelir. Bu iki gaz, yanardağlardan çıkan tüm gazların % 90' ını oluştururlar. Ayrıca, azot, klor, kükürt, argon gibi gazlar da bulunur. Tüm bu gazlar ekolojik dengeyi etkileyecek boyutlardadır.

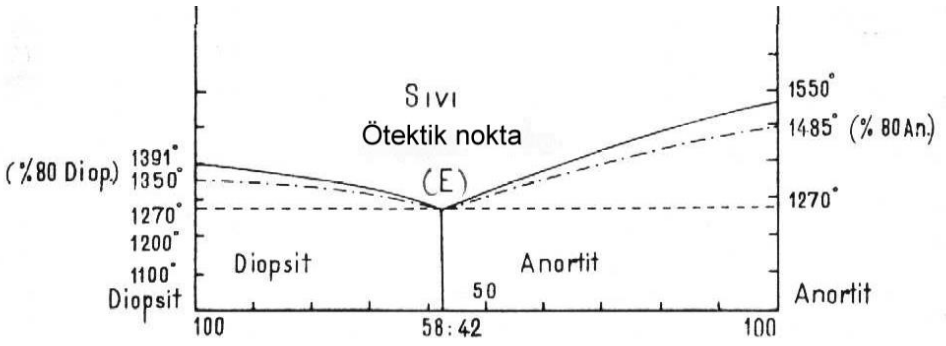
Volkanlardan yeryüzüne çıkan magmanın (lavın) duyarlı aygıtlarla (pirometre) ölçülen sıcaklığı 1040 °C – 1200 °C arasında değişmektedir. Akıntı halinde bulunan lavın sıcaklığı ise 800 °C ye kadar düşmektedir. Magmaların yoğunluğu, soğuyup katılaşarak meydana getirdikleri kayaların yoğunluğundan azdır. Magma, genellikle sıvı ve akıcı bir maddedir. Akıcılık derecesine direnç (viskozite), bileşimindeki SiO_2 miktarına ve sıcaklığa bağlıdır. SiO_2'in artması ile viskozite de artar, yani akıcılığı azalır, sıcaklığın yükselmesi ile viskozite düşer, akışkanlık artar.

Yeryüzünde rastladığımız çok çeşitli magmatik kayalar başlıca üç grup ana magmadan (ya da kök magmadan) türemişlerdir. Bunlar sıra ile bazik, ortaç ve asidik magmalardır. Bazik magmada SiO_2 < % 50, ortaç magmada $SiO_2 \cong$ % 50- % 60, asidik magmada SiO_2 > % 60 dır.

Bazik magmalardan bazik plütonik (gabro) ve bazaltik volkanik kayalar, ortaç magmalardan ortaç plütonik (diyorit) ve andezitik volkanik kayalar, asidik magmalardan ise asidik plütonik (granit) ve dasitik-riyolitik volkanik kayalar meydana gelmektedir (Şekil 5). Bazik kayatürü topluluğu, ıraksayan levha kenarlarında örneğin okyanus ortası sırtlarda; ortaç ve asidik kayatürü topluluğu ise yakınsayan levha kenarlarında oluşmaktadır (Şekil 6). Yakınsayan levha kenarlarında kıtasal yada okyanus kabuğunun bir bölümü de ergiyerek ortamda var olan magmanın bileşimini değiştirir.

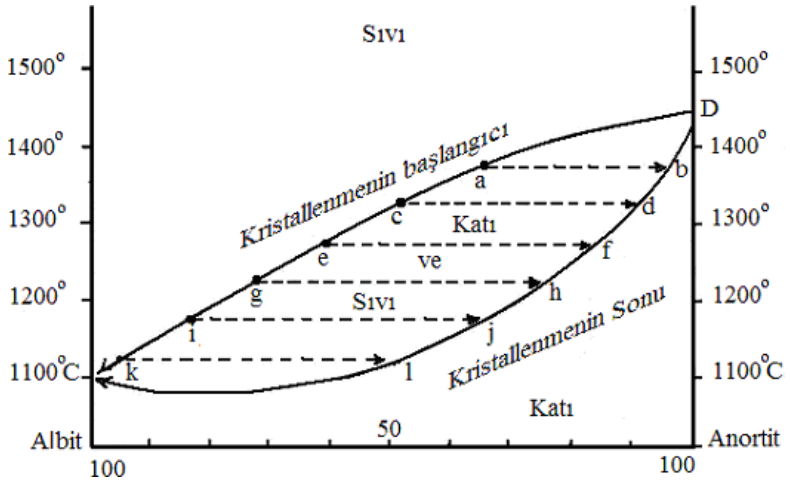
Ergimiş sıvı magmanın soğuyarak katılaşması yada kristalleşmesi termodinamik ve fizikokimyasal ilkeler çerçevesinde meydana gelir. Örneğin erimiş halde bulunan diyopsit ($CaMgSi_2O_6$) soğumaya bırakıldığında 1391 °C de ilk kristaller oluşmaya başlar. Kristalleşme süresince sıcaklık hep aynı kalır.

İki mineralin karışımından meydana gelmiş sıcak bir eriyiğin kristalleşmesi biraz farklı olmaktadır. Örneğin % 80 Diyopsit ve %20 Anortit ($CaAlSi_2O_8$) içeren bir karışım katılılaşmaya bırakıldığında ilk diyopsit kristalleri 1371 °C yerine 1350 °C'de oluşmaya başlar. Eriyikte diyopsit/anortit oranı 58 / 42'ye gelinceye ve sıcaklık 1270°C'ye düşünceye kadar diyopsit yalnız başına kristalleşir. Fakat bu oran ve sıcaklık gerçekleştiğinde her iki mineral birlikte kristalleşir (Şekil 7).



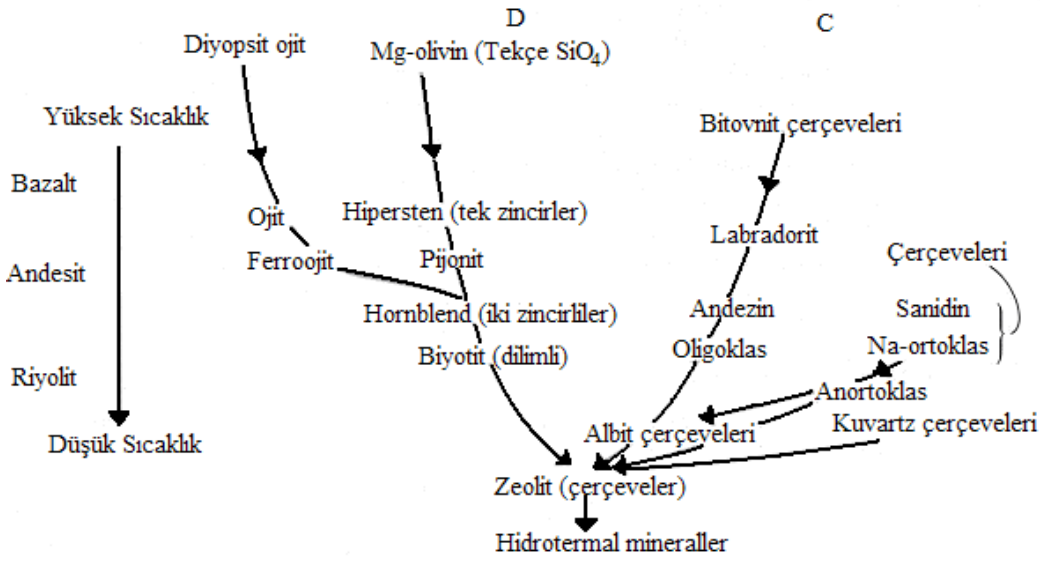
Şekil 7. Diyopsit ve Anortit'ten oluşan bir eriyiğin katılaşma (kristallenme) diyagramı. Diyopsit/Anortit oranı 58:42 ve sıcaklık 1270°C oluncaya kadar mineraller ayrı-ayrı kristallenirler; bu oran ve sıcaklıkta ise her iki mineral birlikte kristallenmeye başlar ve sonuna kadar bu olay devam eder (E: Ötektik nokta) (Ketin,1977).

Belirli bir karışımda birlikte kristalleşme gösteren eriyiklere ***Ötektik eriyikler*** denir. Tüm ötektik eriyiklerde belirli bir ötektik nokta bulunur. Bu nokta, minerallerin birlikte kristalleşmesinin oranını ve sıcaklığını (E) gösterir. Plajiyoklaslar arasında ise ötektik denge yoktur (Şekil 8).



Şekil 8. Plajiyoklasların katılaşma (kristallenme) diyagramı, Albit ve Anortit her oranda, katı ve sıvı halde, yan-yana bulunabilirler, bunlar arasında ötektik denge yoktur (Ketin,1977).

Ayrıca magmanın soğumasına bağlı olarak düşük ve yüksek sıcaklıklarda oluşan çeşitli minerallere ve bu minerallere bağlı olarak oluşan volkanik kayalara ilişkin reaksiyon dizileri Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9 . Reaksiyon dizileri (Bowen, 1922 ve Barth; 1962 s. 110;'dan kısmen değiştirilerek, Hyndman, 1972).

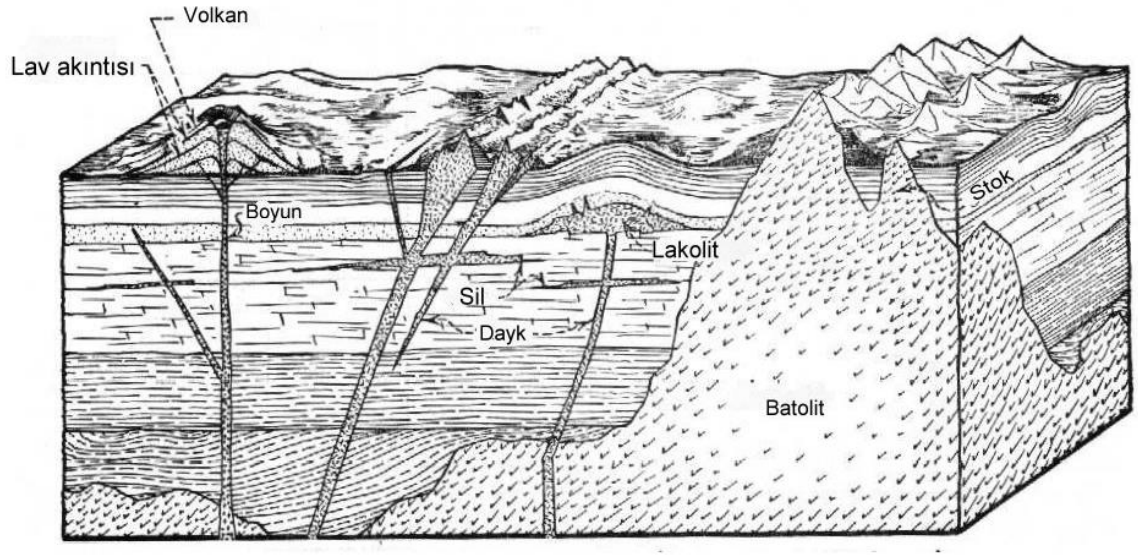
Plütonizma

Mağmanın yerkabuğu içindeki etkinliklerini içeren süreçlere plütoznima, bu süreçler sonucu meydana gelen tümüyle kristalli kayatürü (litoloji) kütlelerine Plüton denir. Plütonlar, birkaç km^2 den 250.00 km^2 büyüklük arasında değişen boyutlarda olabilirler ve bunların karalar üzerinde kapladıkları alan yaklaşık 7 milyon km^2'dir.

Plütonlar, magmanın yerkabuğu içerisindeki yerleşme durumuna ve boyutlarına göre değişik adlarla anılırlar. Az derinliklerde katmanlı kayaları kesen ve katılaşan magmatik kütlelere ***damar*** (filon yada dayk), katmanlara paralel olarak yer alan magmatik damar kayalarına ise ***sil*** ya da ***yatak*** adı verilir.

Katmanlar arasına mantar şeklinde sokulmuş ve onları biraz kabartmış ve ergitmiş olan 200-300 m boyutlarındaki kütlelere ***lakolit***, derinlere doğru büyüyen ve üst kısımları kubbemsi olan büyük hacimli kütlelere de dipsiz anlamına gelen ***batolit*** adı verilir (Şekil, 10).

Orta kısmı basık bir mercek biçiminde olan ve çapı 20 km ile 200 km, kalınlığı 250-300 m arasında değişen magmatik kütleye ***lapolit***, kıvrımlı bölgelerde, kıvrım boşluklarına yerleşen, çevresi ile uyumlu (konkordan ve sintektonik) plütonlara ise ***fakolit*** adı verilir (Şekil, 10). Plütonların çoğunluğu asit bileşimli olup granitler ve grano-diyoritlerden oluşurlar.



Şekil 10. İntrusif magmatik yapılar (Krynine ve Judd, 1957).

Bir kristal hamuru durumunda olan magma kütlesi, litosferde yeryüzüne doğru yükselip yerkabuğuna yerleşirken soğuyup katılaşması sırasında uğradığı basınçların etkisi ile kendine özgü bir içyapı kazanır. Bu yapıda magmanın akıntı ve katılılaşma evrelerini simgeleyen izler ve kanıtlar yer alır. Gelişen yapı bölgenin tektonik analizinde önemli bir yer tutar. Plütonların içyapılarını yansıtan yapı elemanları çizgisel ve düzlemsel akıntı elemanları, eklem ya da kırık sistemleri ile ifade edilir.

Henüz tam olarak katılaşmamış magma içindeki iri kristaller, koyu renkli kristal toplulukları (otolit), magmaya çevreden karışmış kaya parçaları (ksenolitler) plütonun akıntı elemanlarını meydana getirir. Magma kütlesinin katılaşmasından sonra gelişen enine (transversal), boyuna (longitudinal) verevine (diyagonal) çatlaklarla, kenar fayları ve damarlar ise kırılma elemanlarını ya da kırık sistemlerini oluştururlar.

Volkanizma

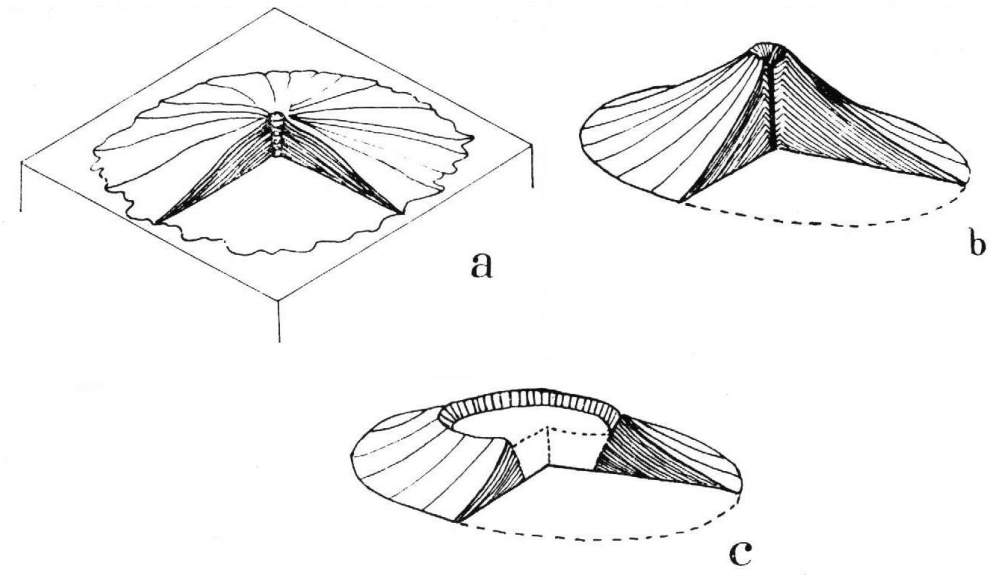
Magmanın yeryüzünde yada yeryüzüne oldukça yakın derinliklerdeki etkinliklerini içeren süreçlere volkanizma, bu süreçler sonucu meydana gelen kayatürü topluluklarına da genel olarak volkanik kayalar denir. Volkanizma sırasında sıvı, katı ve gaz biçiminde yeryüzüne çıkan magma değişik volkanları (yanardağları) meydana getirir.

Volkanların çoğu koni şeklindedir. Volkanın çıkardığı malzemenin yer aldığı koninin ağız kısmında çukur tabak biçiminde bir krater ve iç kısmında magma haznesine kadar inen bir baca yer alır. Bazı volkanlar birleşik yada karmaşık bir yapı sunarlar. Bu yapıların birkaç bacası, krateri, ikincil bacaları ve konileri bulunur. Örneğin, Erciyes Yanardağı oldukça karmaşık bir yapı sunar.

Volkanlar sıvı halinde lavlar, patlama sonucu katı parçalar halinde piroklastik kayalar (tüf, aglomera, volkanik bomba, lapilli) çeşitli gazlar ve buhar (H_2O, HCI, H_2S, H_2, CO_2, CO, Cl, F_2 (Flüor), HF, SiF_4, N_2 (azot) Ar (argon), CH_4 (metan) ve amonyak (NH_3) çıkarır. Normal bir volkan etkinliği sırasında patlama ve lav akıntısı birkaç kez birbirini izler. En son evrede, yalnızca gaz ve buhar püskürmesi (duman çıkması) şeklinde olur. Bu duruma ekshalasyon ya da fumerol evresi denir.

Volkanlar, biçimlerine göre tabla, kalkan, koni, kaldera, maar(kül), kubbe, baca ve iğne şeklinde olabilirler (Şekil 11).

Tabla şeklinde volkanlar ya da ***plato volkanları,*** akıcılığı fazla olan bazaltik lavların geniş alanlara yayılmaları ile meydana gelen volkanik şekillerdir. Güneydoğu Anadolu'da yer alan Karacadağ yanardağı tabla şeklinde ve 120 km çapında dairesel bir alanda yer alır. Diyarbakır surları bu bazaltlardan yapılmıştır. ***Kalkan şeklinde olanlar,*** Havai tipi volkanlarla temsil edilirler.



Şekil 11. Başlıca volkan örnekleri, a: kalkan, b: koni, c: kaldera (Cloos, 1936).

Koni şeklinde olanlar, Ağrı, Süphan, Tendürek, Erciyes ve Hasan dağları başlıca konik volkan örnekleridir. Bu volkanlar, asit ve yarı bazik magmaların birbirini izlediği, çeşitli evrelerdeki patlama ve akmalar sonucu meydana gelen yanardağlardır.

Kaldera şeklinde olanlara Nemrut yanardağı tipik bir örnektir. Kalderalar, kratere (volkanların çıkış yerlerine) göre daha büyük çaplı, dik kenarlı, leğen ya da kazan biçimindeki volkanik çukurlardır. Çapları 5-15 km arasında bulunur. Bunlar, şiddetli patlamaların etkisi ve koni şeklindeki volkanların tepe kısmının çökmesi ile meydana gelirler.

Bir ya da birkaç kez patlamalarla meydana gelen ve yalnızca küllerden oluşan krater biçimindeki volkanlara "Maar" denir. Bunlar, volkanizmanın ilk öncüleri ya da son ürünleri sayılırlar.

Doğu Anadolu'da Kuvaterner (4.zaman) yaşlı bir bazalt konisi olan Tendürek, ülkemizin aktif sayılabilecek biricik volkanıdır. Bu dağın kraterinden sıcak buharlar ve H_2S içeren gazlar çıkmakta ve çevreye kükürt yayılmaktadır. Buharların sıcaklığı 50-60 ^oC'dir. Diyadin'deki sıcak su kaynağı da Tendürek yanardağı ile ilgilidir.

Sıcak gaz ve buharlar yeraltı sularını da etkileyerek onları ısıtır, mineral bakımından zenginleştirir ve ılıca, kaplıca ve gayzerler oluşur. Sıcak suların içerdiği çeşitli maddeler, özellikle karbonatlar kaynaklar etrafında çökelir ve traverten denilen kalker tüflerini, benzer şekilde silisli sular gayzeritleri meydana getirirler.

Volkanların çıkardığı maddeler:

1- Lavlar, 600-1200^oC sıcaklıkta yeryüzüne çıkar ve daha sonra soğurlar.

2- Piroklastik kayalar, iri parçalı olanlara aglomera, orta boyutlu olanlara tüf, ince taneli olanlara kül denir. Ayrıca volkanik bomba, lapilli (küçük lav parçaları) gibi taneler etrafa yayılır. Ignimbrit ise, silisce zengin, akıntı görünümünde ve perçinlenmiş-camsı yapıda olan riyolitik tüf yataklarıdır. Bu çerçevede kimi yerlerde volkanik çamurlar da yer yüzeyine çıkar (Şekil 12).

3- Gazlar ve buharlar, H_2O, HCI, H_2S, H_2, CO, CO_2, CI, F_2 (florür), HF, SiF_4, N_2 (azot), Ar (argon), CH_4 (metan) ve amonyak (NH_3). Örneğin kimi uzmanlar, Turkmenistan'da bir mağaranın çökmesiyle ortaya çıkan metan gazının da volkanik kökenli bir etkinlikle ilişkilendirmektedir (Şekil 13).

Şekil 12. Taman Yarımadası' nda (Taman Stanitsa-Rusya) bulunan ve 'Yer'in Gözü' olarak bilinen çamur volkanları (Geology Here' den).

Şekil 13. Turkmenistan Derweze gaz sahasında Door to Hell (Cehennem Kapısı) olarak anılan sahadan bir görüntü (#GeologyPage'den).

Türkmenistan'da 1971 yılında yeraltındaki bir mağaranın çökmesi sonucu açığa çıkan metan gazının çevreye yayılmasına önlem olarak bir yangın başlatılmış, ancak yangın, o günden günümüze kadar sürekli devam etmiştir. Kraterin çapı 69 m, derinliği 30 m'dir. Son 5 yılda 50 000' den fazla turist krateri ziyaret etmiştir. Krater alanı yaklaşık 5350 m2 olup bu alan yaklaşık olarak bir Amerikan futbol sahası boyutuna karşılık gelmektedir. Kraterin etrafı yabani çöl kamp alanı olarak değerlendirilmiştir.

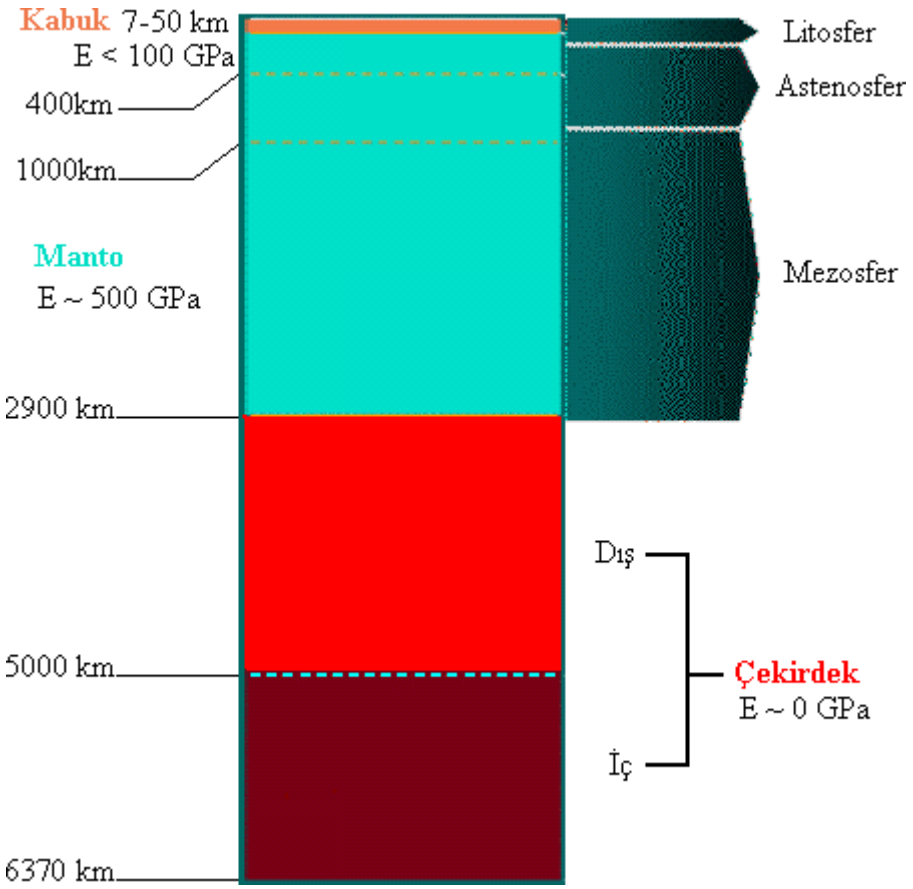
YERİN KATMANLARI

Yer' in iç kesimlerinden dışa doğru ***çekirdek*** (iç ve dış çekirdek olmak üzere ikiye ayrılmakta), ***manto*** (iç ve dış manto olmak üzere ikiye ayrılmakta) ve ***litosfer*** sıralanır. Bu katmanların her birinin kendine özgü ortalama yoğunluğu, basıncı, sıcaklığı ve P-S deprem dalgalarının yayılabildiği hızı gibi özellikleri vardır (Şekil 14). Yerküre'nin oluşumundan (4.56 milyar yıl önce) hemen sonra, ayrımlaşma ile çekirdek, manto ve taşküre (litosfer) oluşmuştur. Bunu kıtasal kabuk, atmosfer ve hidrosfer oluşumu izlemiştir.

Çekirdek

Yer'in merkezinden (6371 km derinlikten), 5150 km drinliğe kadar olan kısma ***İç Çekirdek***, 5150 km'den 2900 km derinliğe kadar olan kısma ***Dış Çekirdek*** denir. Dış ve İç çekirdek sınırında yoğunluk 12.3 gr/cm^3, basınç 3340 kb, sıcaklık ise yaklaşık 4300 ^{o}C, P-dalgalarının hızı 11 km/sn'yi bulur.

İç çekirdeğin bileşimi, kristal halinde Fe ve Ni, dış çekirdeğin esas maddesini ise ergimiş halde Fe ve Ni karışımından oluştuğu sanılmaktadır. Yoğun olan demir ve nikel mantodan ayrılarak Yer'in çekirdeğini oluşturdu. Sıvı özelliğine sahip olan dış çekirdek Yer'in içindeki elektromanyetik dinamonun kaynağını oluşturmaktadır. Çekirdek mantoya göre iki kez daha yoğundur. Çekirdeğin hacmi tüm yerküre hacminin %16'sı olduğu halde, kütlesi Yerküre'nin %32'sini oluşturur. Yeryüzünden 2900 km derinlikte Çekirdek ile Manto arasındaki süreksizliğe ***Wiechert-Gatenberg Süreksizliği*** denir.



Şekil 14. Yer'in Litosfer, Manto ve Çekirdek'ten oluşan içyapısını ve bunların kalınlıkları ve bazı özellikleri (Press ve Siever,1974).

Manto

Yerkabuğu kıtalarda 70-100 km, okyanuslarda 8-10 km derinliğe kadar iner. Daha altta ise ***Astenosfer***_denilen yumuşak ***Üst Manto***'nun üst düzeyi bulunur. Üst Manto bölgesi 700 km derinliklere kadar iner. Üst Manto yanlara doğru heterojen bileşimli olup bu düzeyi oluşturan mineraller topluluğuna pirolit (pyrolite) denir.

Yer'in 700 km ile 2900 km derinlikleri arasında kalan kısmına ***Alt Manto*** denir. Burada yüksek basınç mineralleri, özellikle magnezyum ve demirin ağır oksitleri ve silikatları egemen durumdadır. Bu bölgede oldukça yüksek basınçlar altında çoğu silikatlar, özellikle magnezyum silikat ağır (yoğun) oksitlere dönüşür. Manto, genel olarak tüm Yerküre hacminin %83'ünü ve yer kütlesinin %68'ini oluşturur.

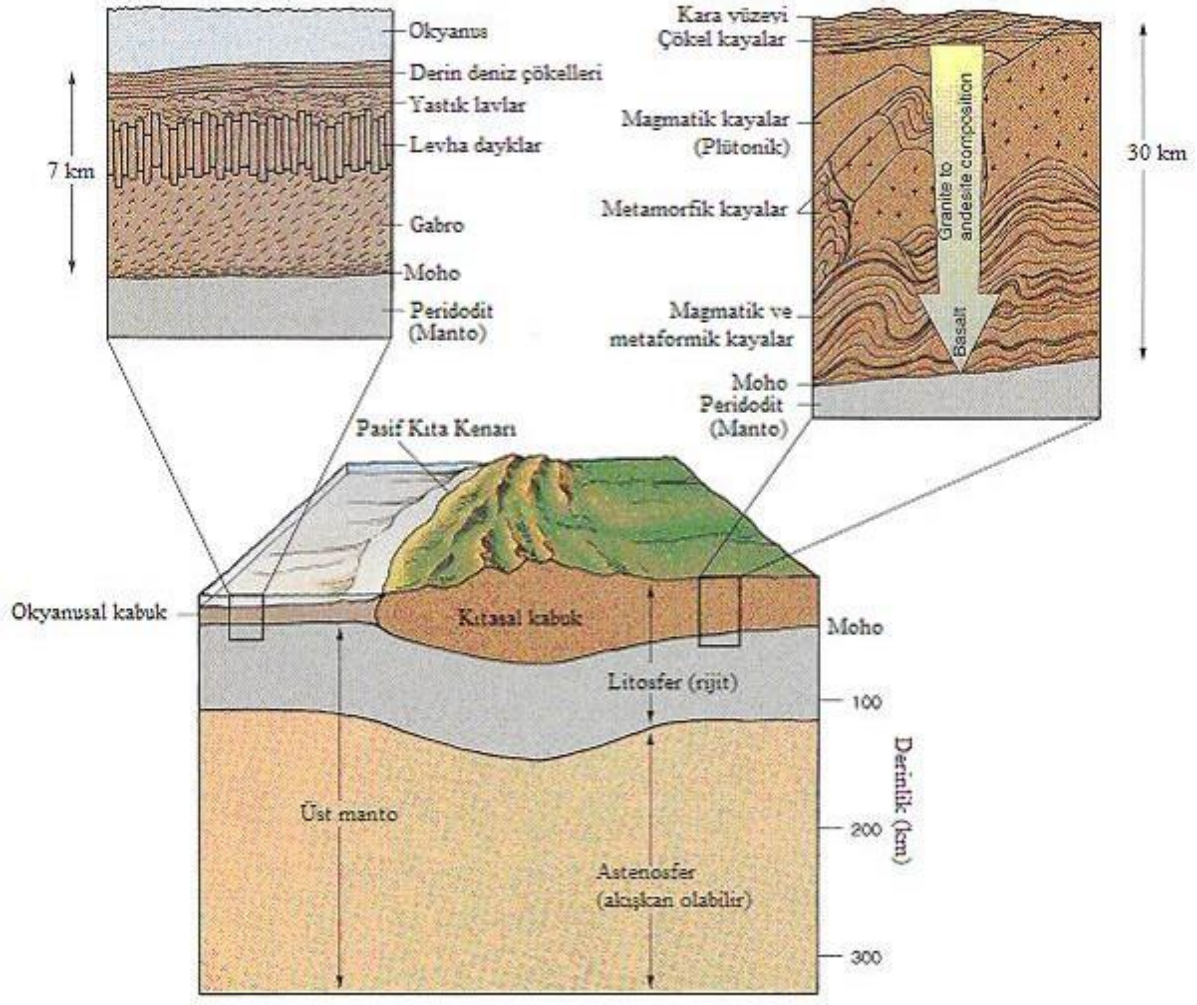
Yerkabuğunu mantodan ayıran süreksizliğe ***Mohoroviç Süreksizliği*** denilmektedir. Bu süreksizliğin iki yanında yoğunluk, basınç, sıcaklık ve P ve S-dalgalarının hızı farklı değerlere sahiptir. Kısaca Moho süreksizliği olarak denilen bu süreksizliği, ilk kez Andrija Mohorovičic 1909 yılında P (sıkışma) ve S (makaslama) sismik dalgalarının yapısını inceleyerek tanımlamıştır.

Litosfer

Yer'in en üst katmanını oluşturan bölümüdür. Alttan, Moho süresizliği ile sınırlanan kesimi katı olup, ***yerkabuğu*** olarak adlandırılır. Kimi araştırmacılar, litosferi yer kabuğu karşılığı olarak da kullanırlar. Ancak katı yerkabuğu alttan Mohoroviç Süreksizliği ile sınırlanır.

Kısaca Moho süreksizliği olarak tanımlanan bu süreksizliğin iki türü vardır: Sismik Moho ve Petrolojik Moho. ***Sismik Moho*** kümülat gabronun tabanından geçer. ***Petrolojik Moho*** ise perododitin katmanlı olan kesiminin tabanından geçen bir uyumsuzluktur. Litosfer ise bu süreksizliklerin daha altına da iner.

Ayrıca gerek litosferin gerekse yerkabuğunun, okyanusal ya da kıtasal kökene sahip olmak üzere bileşimi, yoğunluğu ve kalınlığı farklı iki türü vardır (Şekil 15). Kıtasal kabuğun kalınlığı en fazla 70–100 km kalınlığa ulaşır. Daha altta Astenosfer denilen Üst Manto'nun üst kesimi bulunur. Bu kesim de Üst Manto'nun alt kesimi üzerinde olup olasılıkla yerkabuğu ile beraber hareket eder. Hareketi sağlayan güç, magmadan ileri gelen transveksiyon akımları olup, Üst Manto'nun alt kesiminin bileşim, yoğunluk, sıcaklık ve basınç gibi fiziksel ve kimyasal süreçlerdeki duraysızlıklardan kaynaklanır.

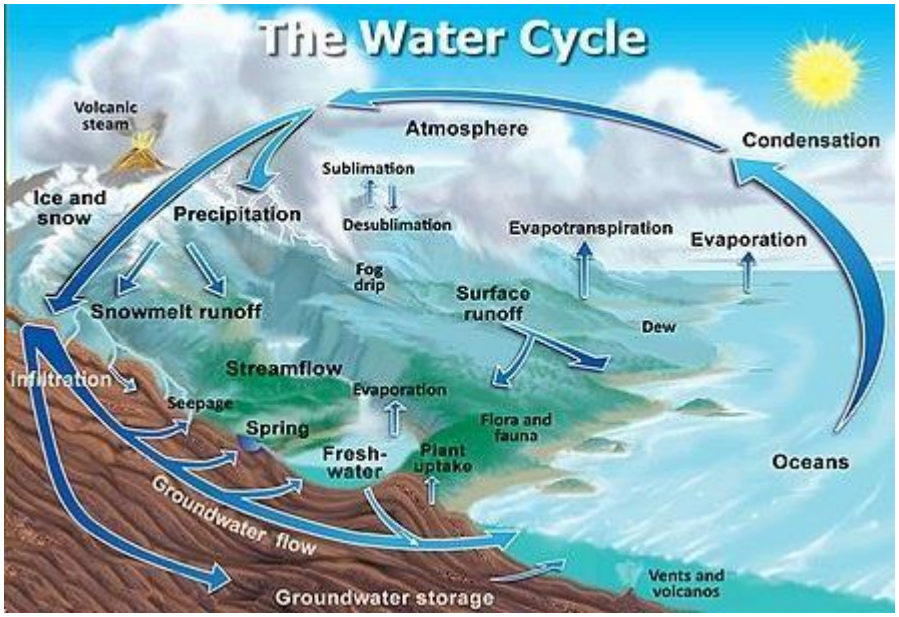


Şekil 15. Kıtasal ve okyanusal kabuğun yalınlaştırılmış kesitleri (Davidson ve diğerleri, 1997).

Ayrıca, yerkabuğu ve daha üstte yer alan ***atmosfer*** arasında sürekli devinim halinde olan ***hidrosfer*** ile ***biyosfer*** (ekosfer) olarak tanımlanan ve çevremizdeki tüm yaşamsal olguların etkileşim halinde olduğu katmanlar da vardır.

Hidrosfer

Dünyanın gözle görülebilen bölümlerinden biri olan sıvı ya da büyük bir kesimi deniz olan bölümüdür. Akarsular, yeraltı suları ve denizler yerin hidrosferini oluştururlar. Şekil 16'da hidrosferi ve su döngüsünü temsil eden bir görüntü sunulmuştur.



Şekil 16. Hidrosfer ve su döngüsü. https://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrosfer (25 Ocak 2023).

Okyanuslar, hidrosferin önemli bir bölümünü oluşturur. Okyanusların ortalama derinliği 300m'dir. Okyanus tabanlarının % 2'si 6000 m'nin altındadır. Okyanus tabanları kıta sahanlığı, kıta yamacı ve derin okyanus tabanı olmak üzere üç bölümden oluşur. Kıta sahanlığı jeolojik olarak kıtayı oluşturan kara parçasının deniz altındaki uzantısıdır. Kıta yamacı 3- 4 km'lik bir aralıkta eğimli bir yüzey ile temsil edilir ve eğimli yamacın sonunda 4000m'lik derin okyanus tabanına ulaşır. Kıta yamacının en alt düzeyi kıtasal kabuğunun bitip okyanus kabuğunun başladığı yerdir. Derin okyanus bölgelerinde okyanus sırtı adı verilen dağlar bulunur. Okyanus sırtları hidro-termal çatlakların ve volkanların geliştiği yerlerdir. Çatlaklardan mağma ve termal sular çıkar. Düzenli ya da düzensiz olarak yukarıya doğru su ve gaz fışkırtan sıcak su kaynaklarına ***gayzer*** denir.

Çatlaklardan çıkan sıvıların katılaşması ile volkanik bacalar oluşur. Üst üste biriken gereçlerle bacalar zamanla büyür. Deniz suları bu çatlaklarda kaloriferde dolaşan sular gibi dolaşır. Klima gibi işleyen bu sistem deniz suyunu canlıların yaşaması için uygun sıcaklığa getirirken atmosferin de uygun bir sıcaklığa erişmesini sağlar(www.facebook.com/labmedya).

Hidrotermal kırıklar supap noktaları gibi Yer'in merkezindeki basıncın ayarlanmasında önemli bir işleve sahiptir. Hatta son derece karanlık olan ve normal olarak yaşamın mümkün olmadığı zan edilen okyanus diplerindeki kırıklar birçok organizma için yaşama alanları oluşturur. Oysa bu gibi bölgelerde yaşayan bakteriler ve diğer canlılar okyanusların havalandırılmasında ve metan döngüsünde yaşamın devamı için vazgeçilmezdir. Bakteriler yeryüzünden 60 km yüksekte ve okyanusların 11 km derinliklerinde yaşayabilir. Atlantik Okyanusu'nun 3.8 km altında Titanik'i yiyenler barofilik bakterilerdir. Karbon dioksiti besin olarak kullanan bakteriler metan üretir. Günümüzde bakterilerin yaşadığı bilinen üst sıcaklık sınırı 113 ^{0}C'dır(www.facebook.com/labmedya).

Atmosfer, karasal su sisteminde yaşamsal bir rol oynar. Güneş enerjisi nedeniyle, yerküreyi çevreleyen nem katmanı, milyonlarca beygir gücü ile hareket eden geniş bir sıcaklık makinesini oluşturur. Açıkta olan su yüzeyinin tümü sürekli olarak buhara dönüşür. Buharı içeren hava soğur ve buhar yağmur, dolu ya da kar biçiminde yoğunlaşır. Bu yağışın çoğu denize, ¼'üne yakını ise toprağa düşer. Yağışın 2/3'ü tekrar buharlaşır ya da bitkiler tarafından emilir, geri kalanı ırmaklara akar ya da yere süzülerek yeraltı suyunu oluşturur.

İnsan için gereksinim duyulan su, tatlı su olup, bu da son derece sınırlıdır. Günümüzde, tatlı suyun sınırlı olması nedeniyle, kullanılmış suların artırılmasına ve tekrar kullanılmasına da büyük bir gereksinim doğmuştur. Genel olarak tüm ülkelerde ev gereksinimleri için kullanılan suyun kalitesi çeşitli denetimlerden geçer. Su olmasaydı yeryüzünde yaşam da olmazdı.

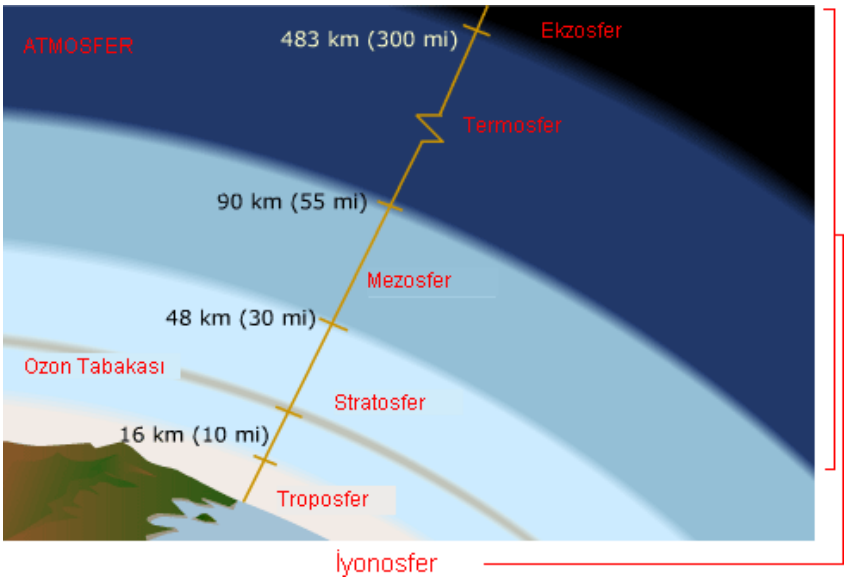
Atmosfer

Yeryuvarını saran yada geniş anlamıyla bir gök cismini çevreleyen gaz katmanıdır. Yerin atmosferdeki yerçekimi etkisi ile dünyaya bağlıdır ve dünyayı çepeçevre kuşatır. Yoğunluğu deniz düzeyinde en fazla olup yüksekliğe bağlı olarak azalır.

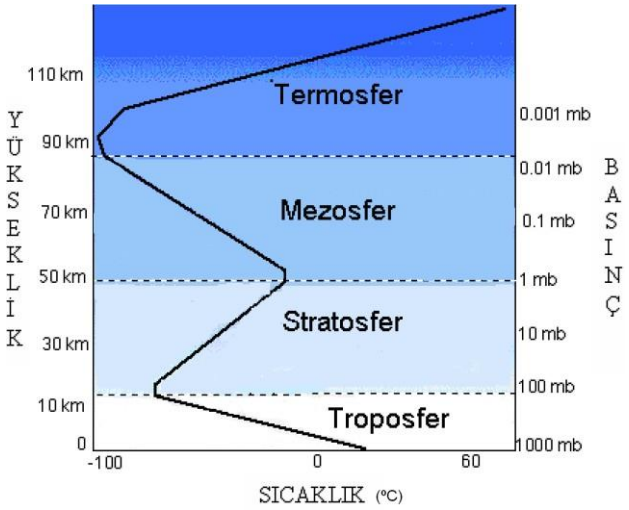
Yer kabuğunu saran ve yaklaşık 10 000 km yüksekliğe kadar varlığını koruyabilen ***Atmosfer***' de, ***homosfer*** (90 km kalınlıkta ve altta), ***heterosfer*** ise 90 km' nin üzerinde yer alan iki temel katmandan oluşmaktadır. Bu her iki katmanın da kendi içinde alt katlara ayrılmaktadır (Şekil 13 ve 14).

Meteorolojik olaylar atmosferin ilk 100 km' lik alt kısmında oluşur. Bu bölüm homosfer olarak bilinir ve esas olarak gazlar, su buharı ve toz taneciklerinden oluşur.

Homosferde Azot (N_2) % 78, Oksijen (O_2), % 21, Argon (Ar) % 0.934, Karbondioksit (CO_2), % 0.033, toplam % 99.967'dir. Geriye kalanı ise neon, helyum, kripton, hidrojen, metan gibi gazlardan oluşur. Yani % 99 N_2+O_2'dir. Az oranda olan CO_2 iklim ve canlılar için çok önemli olup güneşin kızılötesi ışınlarını emer (absorbe eder) ve sıcaklığı ayarlar. Atmosfer, Güneşten gelen zararlı ışınları (adsorbe eder), sıcaklık ve basıncın dikey doğrultuda değişimi gözetilerek atmosfer çeşitli katlara ayrılır (Şekil 17 ve 18).



Şekil 17. Dünya'yı saran atmosferin katmanları (http://sfk.gfzpotsdam.de/images/atmosphere.gif).



Şekil 18. Atmosfer katmanlarının sıcaklık, basınç ve yükseklik ile ilişkisi (www.aerospaceweb.org/.../atmosphere/layers.gif).

Homosferin, Troposfer denilen en alt katmanında, yüksekliğin artmasıyla sıcaklık hızla düşer. Güneş yeryüzünü ısıtır, deniz suyunu buharlaştırır, buharlaşıp atmosfere karışan su buharı ise genel ve yerel hava dolaşım sistemini oluşturur. Troposferdeki havanın tümü hareket halindedir. Bu hareket hızlı olursa rüzgâr oluşur. Rüzgâr toprağı aşındırır, yeryüzünü yağmurla yıkar ve soğuk bölgeleri karla örter.

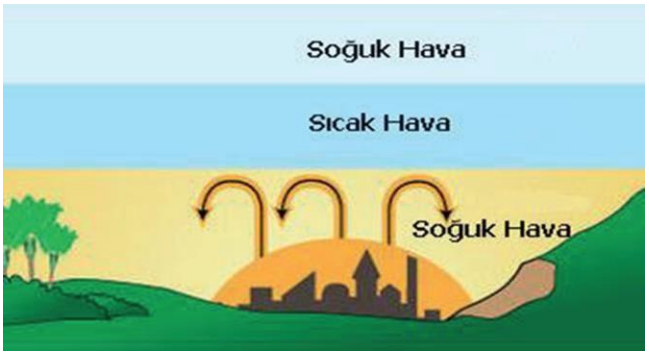
İklim ve siklonların (kasırgaların) sayısı ve yoğunluğu, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve hava basıncına bağlı olarak değişir. En büyük değişiklikler, mevsimlik değişiklikler olmakla beraber, 5-6 haftalık bir süre içinde de önemli hava değişiklikleri görülebilir. Bu değişiklikler fırtınaların kaynağını oluşturur. Örneğin harikanlar (Hurricane), göz ardı verilen durgun bir merkez etrafında dönen büyük bulutlar girdabıdır.

Rüzgâr hızı, göz duvarının yakınından 30-40 km uzaklığa kadarki mesafede 180 km/saat hızla eser, duvardan daha da uzaklaştıkça hız düşer. Hava, 12 km'ye kadar yükselir ve alçalmaya başlamadan önce burada soğur, nemini yoğunlaştırır. Dünya'nın dönmesi yükselen sütuna devinim verir ve sütun spiralli bir silindir biçimini alır. Bu sırada ortaya çıkan sıcaklık yükselme hızını, dolayısıyla fırtına şiddetini artırır. Fırtına, soğuk su ya da kara üzerine doğru gitmedikçe sönmez. Ancak fırtına karaya doğru ilerlediğinde, enerjisi tükenir ve dönüşlü rüzgârların hızı azalır ve dağılır.

Atmosferin bazı tipik özelliklerini de sunmakta yarar vardır. Örneğin, ufuk kızıllığı bunlardan biridir. Burada anahtar kelime 'ısı' dır. Bu enerji olarak da tanımlanabilir. Enerji de dalgaboyu ile değerlendirilir. Düşük ısıda dalgaboyu uzun olur ve renk olarak kırmızı ortaya çıkar. Isı yükek ise yayılan enerjinin dalga boyu kısa olur ve mavi renk ortaya çıkar. Güneş ışığının atmosfere girmeden önceki enerjisi ile atmosfere girdikten ve yeryüzeyine ulaştığı aşamadaki enerjisi farklıdır. Enerji ayrıca kaynakğa olan uzaklığın karesi azalmaktadır. Ufuğun rengini de bu çerçevede değerlendirmek gerekir.

Kar ya da dolu yağışı da üzerinde durulması gereken bir konudur. Sıcak yüksek enerji, soğuk ise düşük enerji ile tanımlanmaktadır. Enerji akışı da yüksel olduğu yerden düşük olduğu yere doğru olur. Özellikle dolu yağışı, Yer yüzeyinde ısınan havanın yükselip soğuk hava katmanına ulaşması ile buzlanması ve ağırlaşarak yerçekimi ile yeryüzeyine düşmesi olayıdır. Güneş'in buharlaştırdığı suyun 1-2 km yüksekliklerde soğuk hava katmanına ulaştığında doluya dönüşür. Güneş battıktan sonra, gecenin ilerleyen saatlerinde yeryüzünde gündüze göre soğuk hava egemen olur. Bu soğuk hava da yükselemeyeceğine göre dolu oluşturacak ortam da geceleyin oluşmayacaktır.

Atmosferde gelişen olaylarda biri de inversiyondur. Yer yüzeyinden yükseldikçe, normal olarak sıcaklık her 200 metrede 1°C azalır. Ancak hava kirliliğini arttığı bazı durumlarda yerden yükseldikçe sıcaklık azalmaz, tersine artar. Yükselen kirli hava, sıcak havayla temas edip yeryüzüne geri döner. İşte bu olaya sıcaklık terslenmesi (inversiyon) denir. Şekil 19'da inversiyon sırasında sıcak ve soğuk hava katmanlarının dizilimi görülmektedir. Böyle bir durumda, ayrıca düşük rüzgâr hızı nedeniyle kirlilik dağılmaz ve kent merkezi üzerine çöker.



Şekil 19. Atmosferde gelişen inversiyon sırasında sıcak ve soğuk hava katmanlarının dizilimi (Ankara BB, 2017'den).

Sonuç olarak, meteorolojik olaylarda "İnversiyon" olarak bilinen bu olay, Ankara'da, özellikle Sıhhiye'de sık sık meydana gelen bir olaydır. İnversiyon, Ankara'da genellikle her gün sabaha karşı ve akşama doğru olmaktadır. Bu da Ankara özelinde kirlenmiş olan havanın temizlenmesini güçleştirmektedir (Ankara BB, 2017).

Biyosfer

Üzerinde yaşamın hüküm sürdüğü yeryüzü bölgelerine ***biyosfer*** denir. Karada, havada ve denizlerde, canlıların yaşadığı tüm alan biyosferi oluşturur. Canlılar, denizlerde, karada ya da havada yaşayan bakteriler, bitkiler ve hayvanların tümünü kapsar. Biyosfer, canlı küre için kullanılan genel bir terimdir. Ekologlar, biyosferin ekolojik bir sistem olduğunu vurgulamak için biyosfer yerine ekosfer terimini yeğler. Belirli bir alanda bulunan canlılar ile bunları saran cansız çevrelerinin karşılıklı ilişkileri ile meydana gelen ve süreklilik sunan ekolojik sistemlere ekosistem adı verilmektedir.

Doğal çevre bir ekosistemdir. Doğal çevre insan eliyle oluşmamış kendiliğinden meydana gelmiş olan çevredir. Ekosistemler, belli bir yaşam alanından ve oradaki canlı topluluktan oluşurlar (Şekil 20).

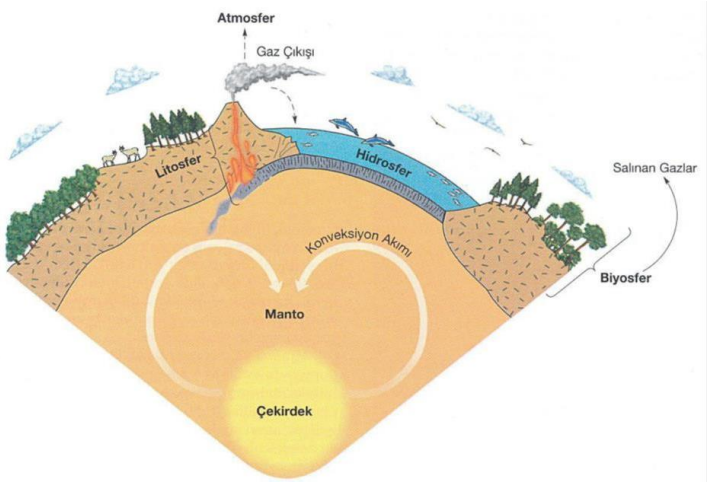
Şekil 20. Doğal bir ekosistemi temsil eden bir görünüm.
http://cgrfy34.blogspot.com/2015/04/ekosistem-ve-cevre.html

Bunlar, değişik türde organizmalarla ve onların cansız çevrelerinin oluşturduğu bir bütün olarak ele alınabilen birimlerdir. Canlılar, çevre ile etkileşime girerek kendi kendine yeterli olan ekolojik bir birim oluştururlar. Biyomlar, karaların gruplandırılmasında kullanılan en büyük ekosistemlerdir. Her biyom kendine özgü bitki örtüsü ile adlandırılır ve çeşitli bitki ve hayvan türlerini kapsar.

Ekosistemdeki bir bozulma tüm çevrenin yapı ve işleyişini olumsuz etkiler Bazı varlıkların azalması diğer bazı varlıkların azalmasına ya da artmasına neden olur. Beslenme zincirini oluşturan madde döngülerinin gerçekleşmesi zorlaşır. Yani, doğadaki enerjinin her aktarımda azalması sonucu aşağıdaki sorunlar meydana gelir (http://cgrfy34.blogspot.com/2015/04/ekosistem-ve-cevre.html):

1. Ekosistemin temel unsurlarını oluşturan toprak, su, hava-iklim, bitki-hayvan gibi unsurların olumsuz yönde değişmesi çevrenin tüm ekolojik özelliklerini de değiştirmektedir. Uzun süren kuraklıklar sonucu bir ekosistemdeki bitki ve hayvan sayısı hızla azalır suların kirlenmesi sonucu suya ışık girişi azalır, suyun hava oranı düşer. Toprakta oluşan tahribat ve kirlenmeler önce bitkilerin sonrada diğer canlıların zamanla ölmesine neden olur Ormanların kesilmesi ve yanması çevrenin çölleşmesine ve sonrasında küresel ısınmaya etkide bulunur.
2. İklim koşullarının değişmesi ekosistemdeki canlı yaşam ve dağılışını olumsuz oranda etkiler. İklimi değişen bir bölgedeki bazı canlılar göç ederken, bazı canlılar ölür ya da koşullara uymaya çalışır. Küresel ısınmaya bağlı olarak ozon tabakasının incelmesi, ormanların azalması, havanın kirlenmesi, yağışların azalması, çölleşmenin başlaması bir bölgedeki iklimin ve coğrafik yapının değişmesine etkide bulunur.
3. Toprağın yerçekiminin, suyun ve rüzgârın etkisiyle aşınıp taşınması, çevredeki bitki örtüsünün azalması, şiddetli yağmurların yağması, karların kısa sürede erimesi, fırtınaların oluşması, ormanların yanması gibi etkenler, erozyonun oluşmasına neden olur.
4. Suların kirlenmesi ve kuruması sonucu çevredeki kullanılabilir su oranı azalır. Suyun azalması da tarımsal verimin düşmesine ve hidroelektrik santrallerdeki enerji üretiminin azalmasına neden olur.
5. Ekosistemdeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik koşulların değişmesi canlıların ortak yaşamını, yayılış ve üremesini etkiler. Bozulan koşullara uyanlar yaşarken diğerleri yok olur. Çevredeki bitki sayısının azalması besin zincirindeki canlı tür ve sayısının azalmasına neden olmaktadır.

Sonuç olarak, Yer'i, yani Dünya'yı oluşturan tüm süreçler, Yer'in canlı bir varlık olduğunu gösteren tek bir sistemi temsil etmektedir. Bu sistemi oluşturan atmosferin, hidrosferin, biyosferin ve jeosferin ise sürekli etkileşim halinde olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 21).



Şekil 20. Dünya'da gelişen etkileşimlerin genel görünümü (http://80.251.40.59/ankara.edu.tr/v.isik/3_EarthSystemScience_Atmosfer_Biosfer_Hidrosfer_Jeosfer.pdf, 07 Mart 2019, saat 11.00).

KAYNAKLAR

Ankara BB, 2017. 2038 Ankara Çevre Düzeni Planı, Plan açıklama Raporu. Ankara Büyükşehir Belediyesi, İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, Ankara 828 s.

Barth, T.F.W., 1962. Theoritical Petrology, 2d. Ed. Wiley New York.

Bowen, N.L., 1922. The Reaction Principles in Petrogenesis. J. Geol., 30, 177-198.

Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.

Dutton, C. E., 1889, On some of the greater problems of physical geology: Philos. Soc. Washington Bull.,11, 51-64.

Holmes, A., 1965. Principles of Physical Geology. Thomas Nelson, London.

http://80.251.40.59/ankara.edu.tr/v.isik/3_EarthSystemScience_Atmosfer_Biosfer_Hidrosfer_Jeosfer.pdf (07 Mart 2019, saat 11.00).

http://sfk.gfzpotsdam.de/images/atmosphere.gif

https://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrosfer (25 Ocak 2023).

Hyndman, D.W., 1972. Petrology og Igneous and Metamorphic Rocks, McGraw-Hill Book Company, New York USA, 533 s.

İpek, N., 2006, Elektromanyetik Kirlilik, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 44/429, 46-49.

Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.

Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957. Principles of Engineering Geology and Geotechnics. McGraw-Hill Comp. Inc., New York, USA, 730s.

MTA, 1993. Büyük Dünya Atlası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, 1. Baskı, Ankara, 267 s.

Press, F. ve Siever, R., 1974. Earth, W.H. Freeman and Company, USA, 945s.

TUBİTAK, 2000, Evren, Popüler Bilim Kitapları 129, Başvuru Kitapçığı 7; Nurol Matbaacılık, Ankara, 64s.

TUBİTAK, 2001. Elektromagnetik dalgalar ve insan sağlığı, Bilgi Teknolojileri ve Elektronik Araştırma Enstitüsü (BİLTEN), TÜBİTAK yayınları, Bilgi dizisi, Ankara, 27s.

www.aerospaceweb.org/.../atmosphere/layers.gif

Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.

Yılmaz, A., 2009a, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Yılmaz, A., 2009b, Çevre Kaynakları, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.117, Sivas, 348 s.

Bölüm 3. YER'İN BİLEŞİMİ, YAPISI VE DİĞER ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde önce Yerküre' yi oluşturan mineraller ve kayalar ile bunların temel özellikleri (Bölüm 3.1'de) ele alınacak; daha sonra çevre jeotekniği çerçevesinde Yer'i oluşturan kayaların mühendislik özellikleri ile ilgili temel bilgiler (Bölüm 3.2'de) sunulacaktır. Böylece, jeolojik ortamın temel özellikleri eksiksiz bir şekilde ortaya koymak üzere sunulmuş olacaktır. Jeolojik ortamın temel özellikleri ortaya koyulmadan, herhangi bir faaliyetin etkileri irdelenemez.

Bölüm 3. 1. YERKABUĞU'NU OLUŞTURAN MİNERALLER ve KAYALAR

GENEL BİLGİLER

Atom, sözcük olarak bölünemeyen anlamına gelmektedir. Atomlar, bir elementin özelliklerini taşıyan en küçük parçaları olup proton, nötron ve elektron gibi taneciklerden oluşurlar. Element ise kimyasal analizle ayrıştırılamayan ya da sentez yoluyla elde edilemeyen maddelerdir.

Protonlar ve nötronlar atomun çekirdeğini, elektronlar ise onun kabuğunu oluşturur. Elektron negatif, proton pozitif yüklüdür. Nötronun herhangi bir yükü yoktur. Atom'da proton sayısı kadar elektron bulunur. Aynı element farklı yapılarda olabilir. Örneğin Grafit ve Elmas karbon (C) elementinin iki değişik biçimidir. Bunların her birinin kristal yapısı farklıdır. Atomun yarıçapı yaklaşık $1A^{o}$ (Augstrom) ya da 10^{-8} cm, çekirdeğin yarıçapı ise yaklaşık 10^{-12} cm'dir.

Fizikte genel kabul gören 'Standart Model'e' göre atomlar da bazı atom altı temel parçacıklardan oluşurlar. Yani protonlar ve nötronlar ***'kuark'*** denilen parçacıklardan, kuarklar da onları bir arada tutan ***'gluonlardan'*** oluşmaktadır. Parçacıklardan bazıları görünür kütleye, bazıları da enerji (kuvvet) taşıyıcı nesnelere karşılık gelirler. Yani bazı partikküllerin kütlesi varken, bazılarının kütlesi yoktur. Bu parçacıkların bir bölümü gözlenebilir, bir bölümü de matematiksel bir gerçeklik olarak kabul edilirler. Standart Model'e göre partikküller ***'Higgs bozonu'*** ile temasa geçince kütle kazanmaktadır. Higgs bozonu ile temasa geçemeyen partikküllerin kütlesi yoktur. Higgs mekanizması ile temal parçacıklar kütle kazanmaya başlayınca evrenin süper simetrik durumu da bozulmaya başlamıştır.

Ancak, Higgs mekanizmasına (yani enerjinin kütleye dönüşümüne) dair tartışmalar bugün de devam etmektedir. Fizikçilerin itirazına karşın Higgs bozonu 'Tanrı partikkülü' olarak adlandırılmıştır. Higgs bozonu kütlesinin 125- 126 gigaelektronvolt (GeV) aralığında bir enerjiye karşılık geldiği kabul edilmektedir (http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/madde/standart.html).

Öte yandan, Werner Karl Heisenberg, Kuantum Mekaniği çerçevesinde Belirsizlik İlkesi'ni ilk kez 1927 yılında tanımladı. Bu ilke, bir parçacığın konumu belirlendiği anda, momentumunda (yani hızında) bir değişim olacağını, dolayısıyla bir parçacığın konumu ve momentumunun aynı anda kesin doğrulukla bilenemeyeceğini ifade etmektedir. Bir parçacığın konumu ne kadar kesin olarak belirlenirse, momentumdaki belirsizlik o ölçüde artar. Bunun matematiksel ifadesi $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ şeklindedir. Konumdaki belirsizlik (Δx) ile momentumdaki belirsizliğin (Δp) çarpımı her zaman h Planck sabiti düzeyindedir. Belirsizlik ilkesi, enerjiyi yoktan var etmeye ve var olan enerjiyi de yok etmeye izin vermektedir. Aslında, Kuantum Mekaniği eşliğinde ortaya çıkan Belirsizlik İlkesi hemen benimsenmedi. Einstein tarafından Belirsizlik ilkesinden dolayı kuantum kuramının henüz tamamlanmadığını ileri sürdü.

Molekül ise herhangi bir maddenin tüm kimyasal özellikleri değişmeksizin aynı kalacak biçimde bölünebileceği en küçük parçasıdır. Moleküller atomlardan oluşur. Herhangi bir elementin molekülü, bir ya da birden çok atomlardan ya da O_2, O_3, H_2 gibi aynı tür atomlardan oluşur. Oysa bir bileşiğin molekülünde iki ya da daha çok elementin atomları bulunur. H_2O, bir su molekülünü temsil eder.

Mineral, yer kabuğundaki katı ve çoğunlukla kristal yapılı bileşiklere ya da kristal yapılı element ve molekül topluluklarına verilen addır. Mineraller, doğada belirli kimyasal bileşimlere ve düzgün

atomik düzene sahip olup homojen ve çoğunlukla katı cisimlerdir. Minerallerden cıva ve su sıvı, silis camı ve opal gibi bazıları şekilsiz (amorf) olup, çoğunluğu ise kristallidir. Mineraller yan yana gelerek kayaları (litolojiyi), kayalar da yan yana gelerek yerkabuğunu oluştururlar.

ELEMENTLER

Kimyasal olarak ayrıştırılamayan maddelerin en küçük taneleri olarak tanımlanan elementler sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama elementlerin içyapıları gözetilerek yapılmıştır. Çizelge 1a'de elementlerin adı, sembolü, konumu, atom numaraları ve yaşam açısından önemleri, çizelge 1b'de ise elementlerin yaşam ile ilişkileri resimli olarak sunulmuştur. Ayrıca doğada bol olan elementler ile çevresel açıdan önemli olan iz elementler işaret edilmiştir.

I. ve II. kolonda yer alan elementler alkali metalleri, II. ile III. kolonlar arasında yer alanlar metaller ile metal olmayanların geçişini temsil eden elementler, III. IV. V. VI. ve VII A elementler metal olmayanları, VIIB kolonunda yer alan elementler ağır (inert) gazları temsil etmektedir. Her kolonda, üstte yer alan elementler hafif, altta yer alanlar ağır (inert) gazları temsil etmektedir. Ayrıca her kolonda, üstte yer alan elementler hafif, alt düzeylere doğru inildikçe giderek ağır elementlere geçilir.

Elementlerin doğada bulunma oranı ile atom numarası arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Hafif elementler, ağır elementlere göre daha bol oranda görülmektedir. Bu ilişki hem biyosfer hem de litosfer (yer kabuğu) için geçerlidir. Doğa'da toplam 104 element belirlenmiştir. Ayrıca her elementin kendi özelinde elektron düzeni, kaynama ve ergime noktaları vardır.

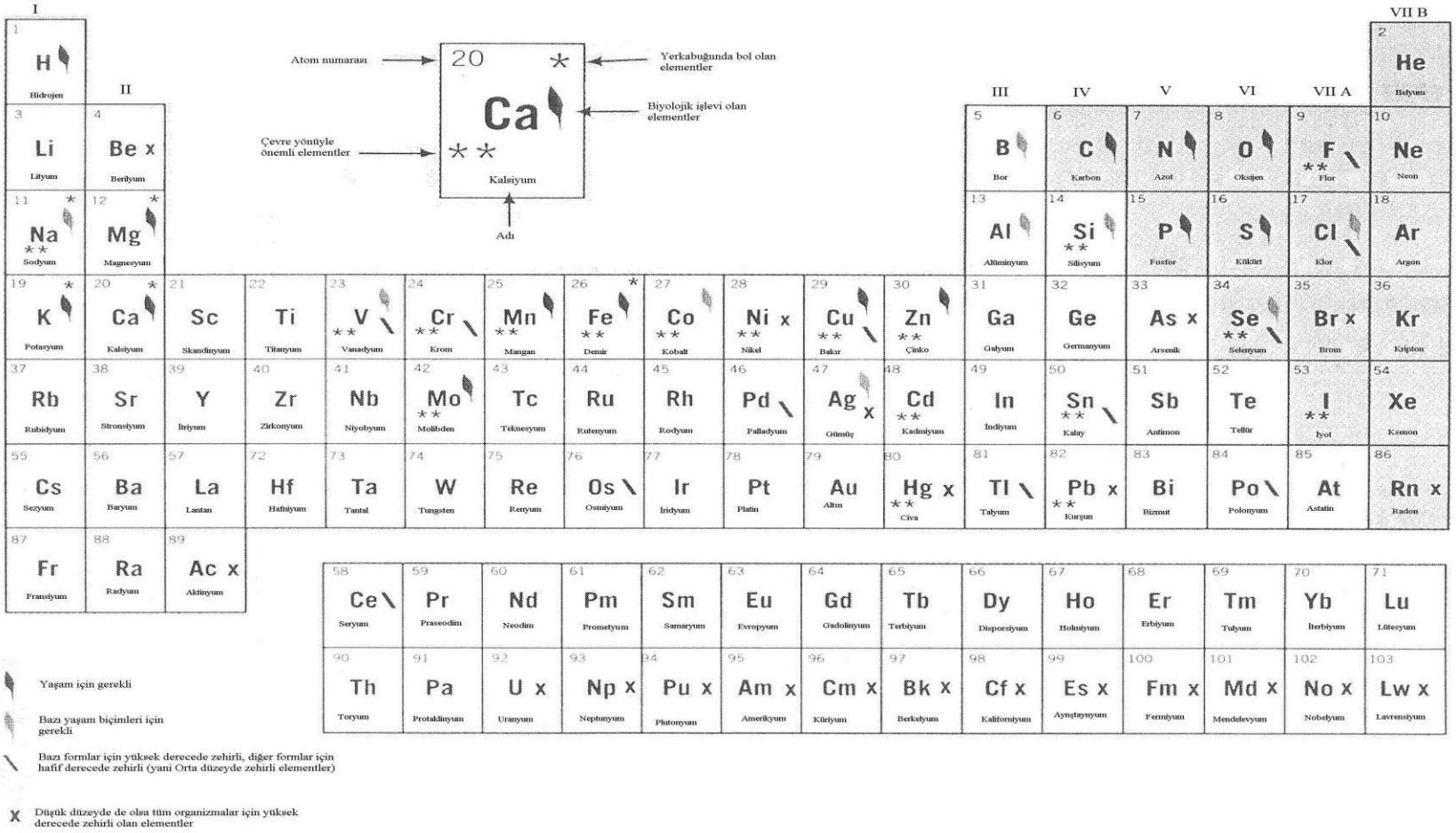
Elementler, atomlardan, atomlar ise proton, nötron ve elektron gibi parçacıklardan oluşmaktadır. Elementler, çekirdeklerinde bulunan proton sayılarına göre, başka bir ifade ile atom ağırlıklarına göre periyodik çizelgede yerini bulmaktadır. İlk periyodik çizelge, 19 yy'ın sonlarına doğru Rus kimyacısı Dimitri İvanovich Mendelyev (1834 -1907) tarafından oluşturulmuştur.

Periyodik çizelgenin en hafif elementi bir proton ve bir elektron içeren hidrojen (H) olup, çizelgenin birinci sırasında yer alır. Hidrojen o kadar hafiftir ki kolaylıkla yer çekiminin etkisinden kurtulup uzaya çıkar. H Evrende en çok bulunan elementtir. En nadir bulunan element ise astatin (At)'dir. Katı elementlerin en hafifi Lityum (Li), en ağırı ise Osmiyum (Os)'dur.

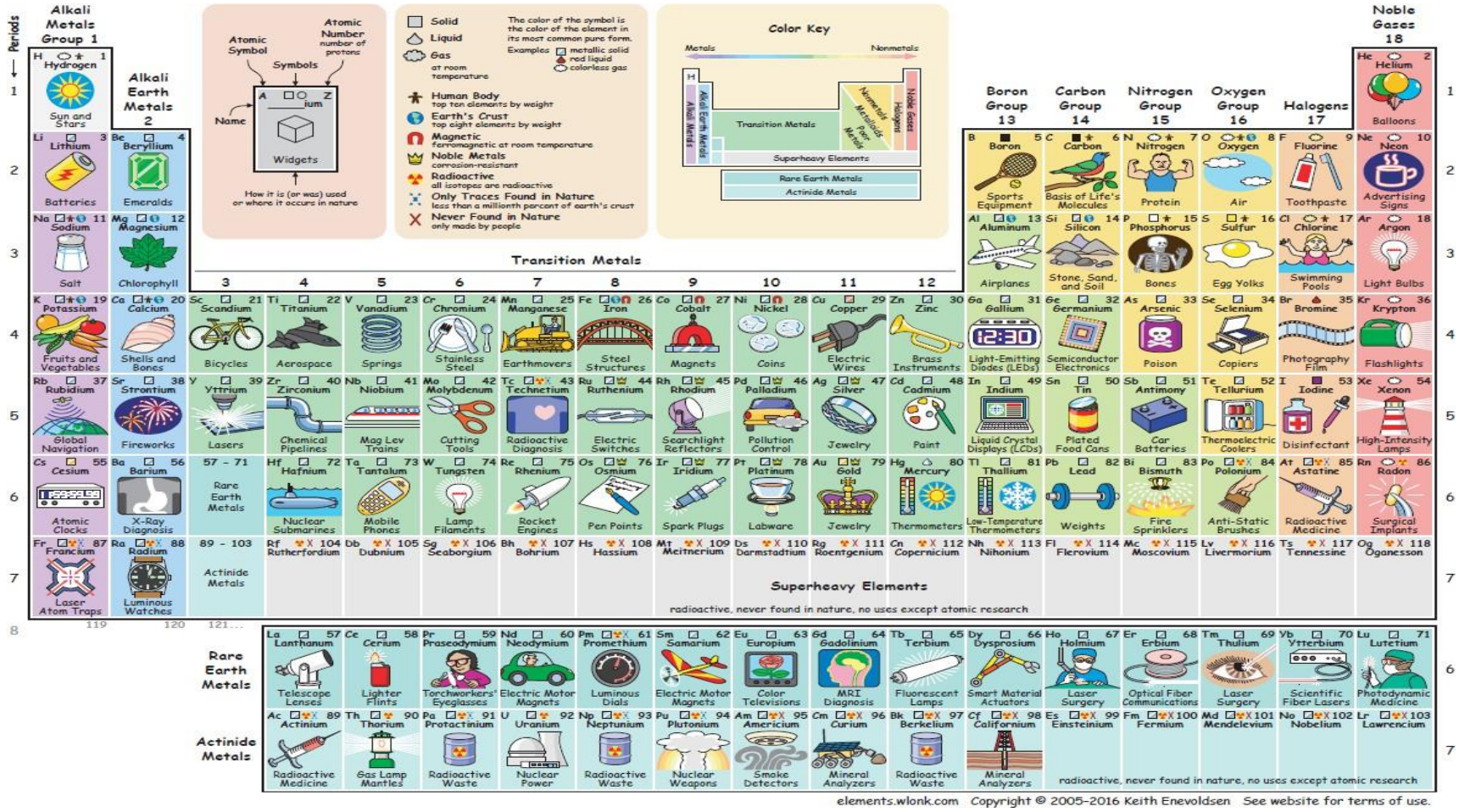
Dünya üzerindeki tüm maddeler gibi, insan vücudu da elementlerden oluşur. İnsan vücudunda belirlenmiş olan element sayısı 76'dır. Vücudumuzda bulunan başlıca elementler ise karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve bunların dışında yiyecekler ve içecekler yoluyla vücudumuza aldığımız kalsiyum (Ca), demir (Fe), sodyum (Na), potasyum (K) ve fosfor (P) dur. Yaşadığımız bir gün gibi kısa bir sürede bile periyodik çizelgede bulunan elementlerin çoğuyla karşılaşırız. Ancak bu elementlerin neler olduklarından ve nasıl bulunduklarından çoğu kez haberimiz bile yoktur. Yer ve Yer'i oluşturan tüm elementler kozmik olaylar ile başlayan bir süreç sonucu oluşmuş ve bu sürecin enerji kaynaklarından biri de Güneş'tir (Busbey ve diğerleri, 1996).

Bazı elementlerin atom çekirdeğinde farklı sayıda nötronlar vardır. Böyle bir durumda elementin izotopları söz konusu olur. Yani izotop, çekirdeğinde farklı sayıda nötron içeren elementlerdir. İzotopları birbirinden ayırmak için atom numarası (proton sayısı) genel olarak elemente ait sembolün alt sağ tarafına, kütle sayısı (proton ve nötronların toplamı) ise elemente ait sembolün üst sol tarafına yazılır. Örneğin $^{12}C_6$, 6 proton ile 12 proton+nötron içeren C -12 izotopunu göstermektedir. Ayrıca oksijen ile radyoaktif elementlerin çeşitli izotopları vardır. Oksijen izotopları duraylıdır. U, Sr, Th gibi radyoaktif elementlerin izotopları ise duraysız olup nükleer yarılanma süreleri sabittir. İzotopların incelenmesiyle Yer'in tarihi ve gelişimine ilişkin koşullar hakkında önemli bilgiler sağlanmaktadır.

Çizelge 1a. Elementlerin periyodik düzeni (Botkin ve Keller, 1995).



Çizelge 1b. Elementlerin resimli periyodik çizelgesi (https://evrimagaci.org/elementlerin-resimli-periyodik-tablosu-2753).



MİNERALLER

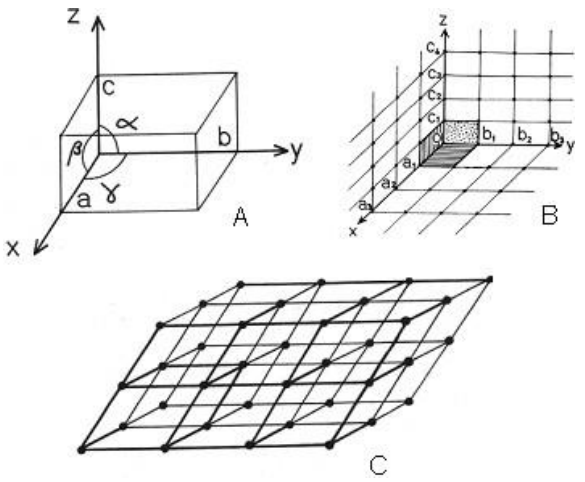
Mineraller, doğada bulunan, belirli kimyasal bileşimi ve düzgün atomik yapısı olan tekdüze (homojen) ve çoğunlukla katı olan maddelerdir. Canlılarda hücreler, cansızlarda ise mineraller en küçük temel birimi oluştururlar. Mineraller yan yana gelerek kayaları, kayalar da dağları ve kıtaları oluştururlar. Doğada 2000 çeşit mineral bilinmekte, özellikleri ayrıntılı bir şekilde tanımlanmaktadırlar. Ancak bunların çok azı (yaklaşık 12-15 tanesi) kayaların bileşimine girmekte ve bazıları ekonomik değer taşıyan maden yataklarını oluşturmaktadır. Diğer mineraller ise yerkabuğu ve manto içinde dağılmış durumda bulunurlar.

Minerallerden su ve cıva sıvı halde, silis camı ve opal amorf (şekilsiz) olup, diğer tüm mineraller belli bir kristal yapısına sahiptirler.

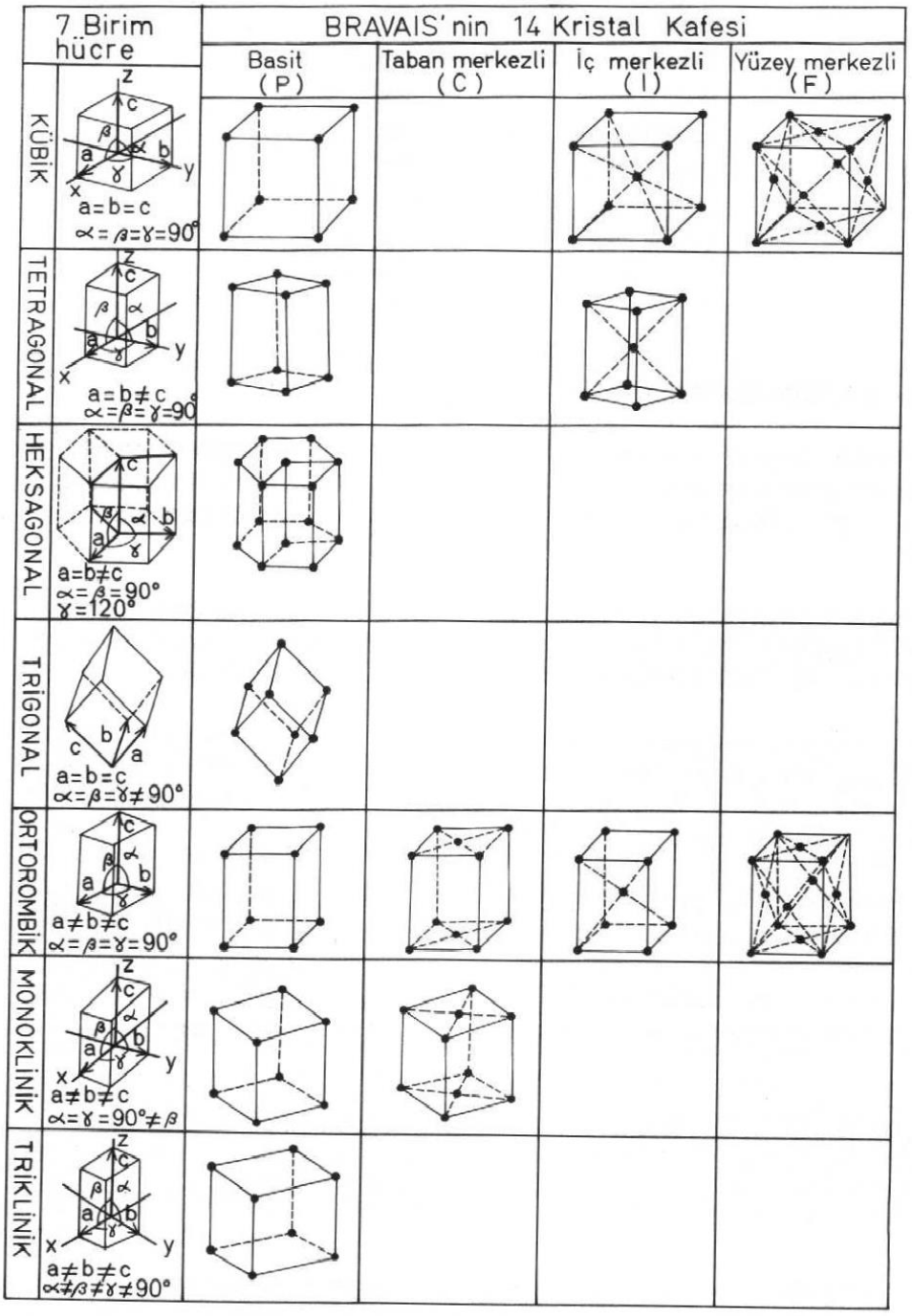
Kristal (billur), atomların devirli yada düzenli tekrarlanan iç düzenlerinin bir anlatımı olan düzlemsel yüzeylerle sınırlı, düzenli ve çok yüzlü bir şekildir. Kafes noktaları arasındaki uzaklık ancak Angstrom [(A^o)= 10^{-8} cm] ile ifade edilebilir. Kristallerin asıl özelliği, çok düzenli bir içyapıya sahip olmaları, yani düzgün yüzeylerle çevrilmiş geometrik şekilleri, düzenli, periyodik olarak sıralanmış bir atomik yapıları vardır.

Uzayda üç eksenli bir koordinat sistemine göre dizilen kafes noktaları, üç doğrultuda periyodik olarak sıralanmış çok sayıda birim hücreler meydana getirirler (Şekil 1A). Böyle bir birim hücrenin x,y,z doğrultularında a,b,c, gibi eksenleri ve bu eksenler arasında α,β,γ, gibi eksenler arası açılar bulunur. Her kristal, fiziksel koşullar değiştiğinde a, b ve c eksenleri boyunca değişime uğrar(Şekil,1B). Kristal yapısı, kristali oluşturan elementlere ait atomlarının ya da atom gruplarının düzenli-periyodik bir yapı içinde, çizgisel, düzlemsel ya da üç boyutlu olarak sıralanmaları ya da dizilmeleri ile meydana gelmektedir. Kristal yapısını oluşturan atom topluluklarına, iyon ya da moleküllere nokta, bunların bir boyutlu sıralanışlarına, nokta dizisi, iki boyutlu sıralanışlarına nokta ağı(net), üç boyutlu sıralanışlarında kafes (lattice) adı verilmektedir (Şekil,1C).

Birim hücrelerin belirli sayıda değişik türleri vardır. Bu türler a, b, c, eksenlerinin karşılaştırmalı boyutlarına ve aralarındaki α, β, γ açılarının değerlerine göre 7 kristal sistemi içinde irdelenebilirler. Yani Kristal sistemleri, 7 tür birim hücreden oluşur. Bu sistemler sıra ile kübik, tetragonal, hekzonal, trigonal, ortorombik, monoklinal ve triklinal olmak üzere adlandırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Birim hücrelerden oluşmuş kafes yapısı elemanları (Ketin,1977).
(A) : X, Y, Z eksenleri üzerinde meydana gelmiş bir birim hücrenin, a, b, c eksenleri ve α, β, γ açıları. (B): Üç boyutta gelişmiş kristal kafesi, (C): OX, OY, OZ eksenleri üzerinde gelişen kristal kafesi.



Şekil 2. Birim hücre türleri ve BRAVAIS'nin 14 kristal kafesi; a, b, ve c kenar uzunluklarını, α, β, γ ise kenarlar arasındaki açıları temsil etmektedir (Hurlbut, 1970; Ketin,1977).

Kristallerde, düzgün ve periyodik yapının sonucu olarak belirgin bir simetri düzeni de gelişmiş bulunmaktadır. Bu düzen simetri düzlemi, simetri ekseni ve simetri merkezi olarak adlandırılan simetri elemanları ile gerçekleşir. Simetri özelliklerini mikroskop altında da irdelemek mümkündür. Her mineral belli bir kristal sisteminde yer alır (Şekil 3). Dolayısıyla kristal sistemlerinin optik özelliklerine göre mineralleri birbirinden ayırt etmek mümkündür.

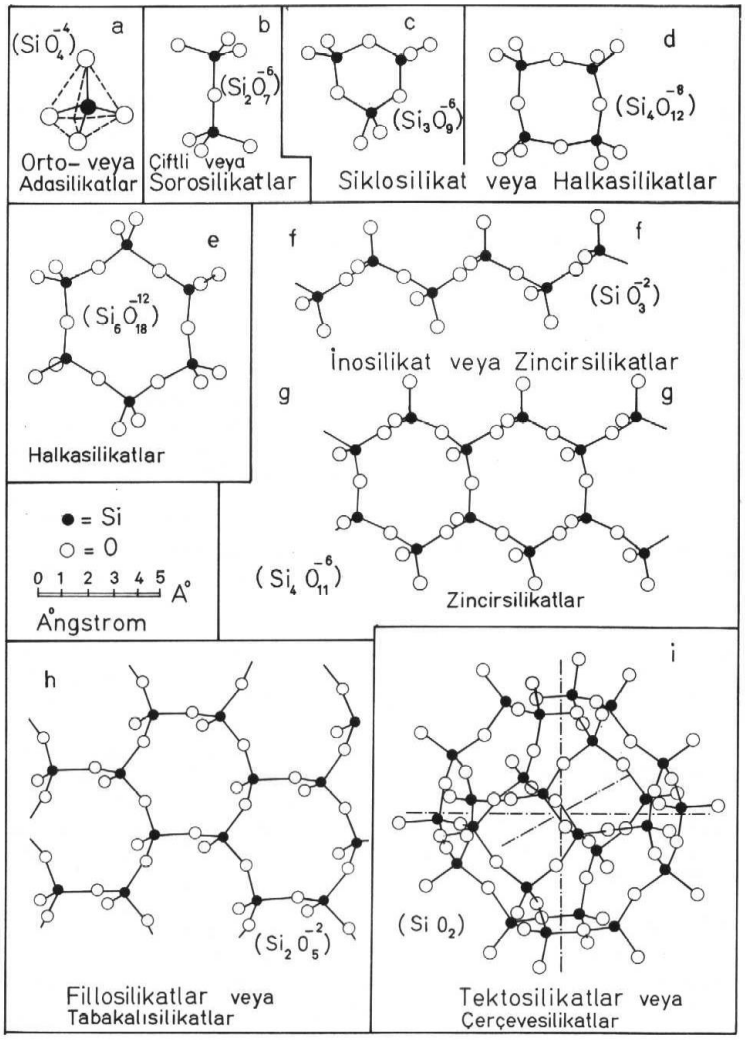
Şekil 3. Yeşil floritli ametist kristalleri

Aynı maddeden oluşan ve aynı sistemde kristalleşen değişik kristal türleri birbirinden farklı görünümlerde de olabilir. Bu durum "habit" olarak tanımlanır. Habitlerde, durumları aynı olan yüzeylerin boyutları ve biçimleri birbirine benzemez. Örneğin ortoklas kristalli bazen z ekseni boyunca, bazen x ekseni boyunca prizmatik olarak gelişir. Her iki halde de yüzeyler arasındaki açı değişmez.

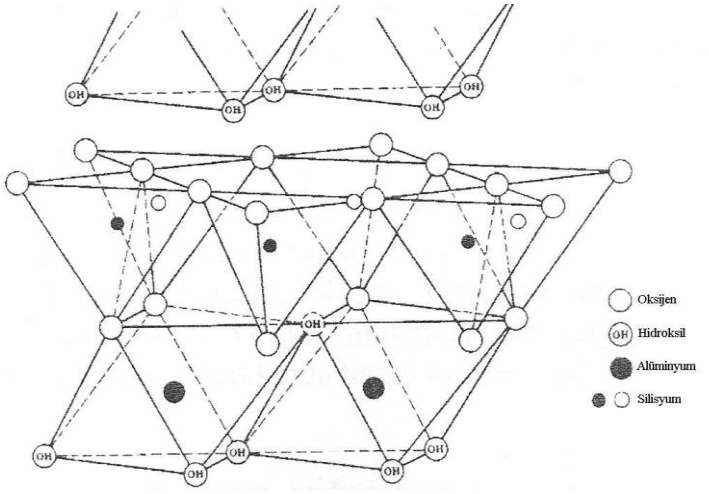
Kristallerin kafes yapısını silikatlar oluşturur. Tüm silikatlar da silisyum atomları 4'lü koordinasyon ile oksijen atomlarına bağlı bulunurlar. Bunların genel yapı şekilleri nasıl olursa olsun, oksijenler hep düzgün ve eşit boyutlu tetraederlerin köşelerinde yer almakta olup tetraederin merkezinde bulunan silisyuma sımsıkı bağlıdırlar. Silisyum-Oksijen tetraederlerinin birbirleriyle olan ilişkileri ya da bağlantı durumlarına göre çeşitli silikat yapıları meydana gelir (Şekil 4): Bunlar da sıra ile:

1. Orto ya da adasilikatlar
2. Çiftli ya da sorosilikatlar
3. Halkalı ya da siklosilikatlar
4. Zincir ya da inosilikatlar
5. Tabakalı ya da fillosilikatlar
6. Çerçeveli ya da tektosilikatlar'dır

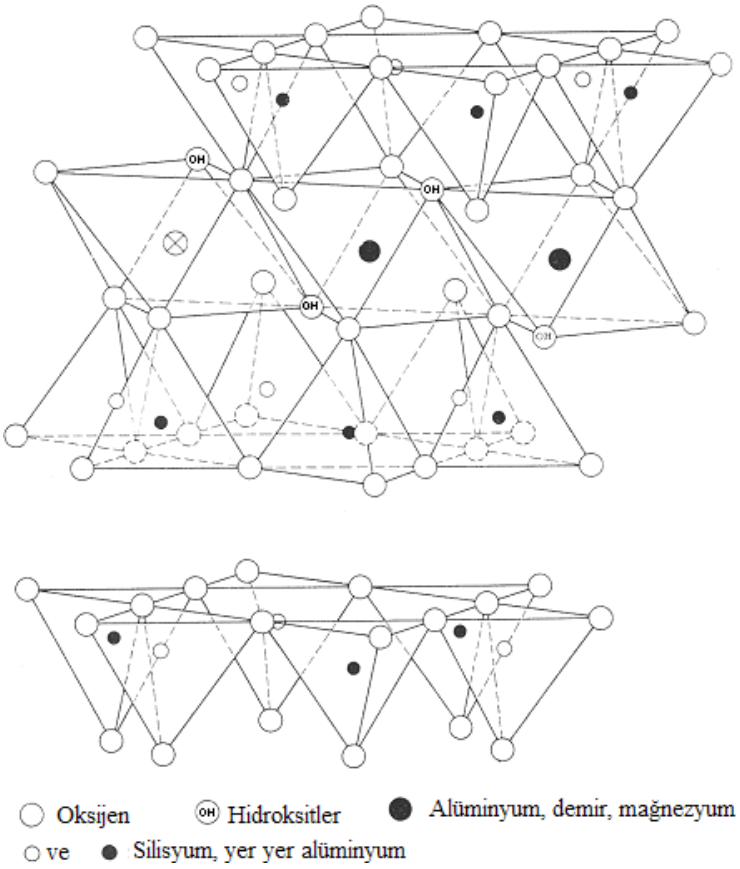
Ayrıca bazı silikatların oluşturduğu minerallerin şematik yapılarına ilişkin örnekler Şekil 5 ve 6'da sunulmuştur. Kimyasal formülleri birbirine benzeyen (analog olan) ve amfibol grubu, karbonat grubu gibi kristal yapıları da birbirine yakın olan minerallere izomorf mineraller denir.



Şekil 4. Silikatların başlıca yapı örnekleri (Ketin,1977).



Şekil 5. Kaolinin dioktahedral yapısı (Hurlbut, 1970).



Şekil 6. Pirofillit'in "t-o-t" trioktahedral yapısı (Hurlbut, 1970).

Aynı kimyasal bileşim, değişik termodinamik koşullar altında yapıları ve genel kristalografik özellikleri birbirinden farklı mineraller meydana gelebilmektedir. Bu olaya polimorfizma denir. Örneğin karbonun (C), elmas ve grafit olmak üzere iki, silisyum dioksitin (SiO_2) kristobalit, tridimit, α ve β kuvars, koesit ve stişovit gibi çok sayıda; Al_2SiO_5'ın ise andalusit, sillimanit, kiyenit (Disten) gibi polimorf mineralleri vardır.

Minerallerin tanınmasında kimyasal bileşim, kristal sistemi ve simetri sınıflarının yanında, fiziksel özelliklerinden de yararlanılır. Bu özelliklerin başlıcaları parlaklık, renk, sertlik, dilinim ve özgül ağırlıktır. Sertlik, Mohs-cetvelindeki 10 mineral ile kıyaslama yolu ile belirlenir. Talk 1, Kuvars 7, Elmas ise 10 sertliğine sahiptir.

Dünya'daki çökel, başkalaşmış ve volkanik alanların kıtalardaki dağılımları farklıdır. Özellikle çökel ve başkalaşıma uğramış alanların, tüm kıtalarda geniş bir yayılıma sahip olduğu görülmektedir. Ülkemizde, çökel ve volkanik kaya dağılımının yoğun olduğu görülmektedir.

Kayalarda ve toprakta bulunan bazı minerallerin kimyasal yapıları ve bulundukları yerler Çizelge 2'de sunulmuştur. Magmanın soğuması sonucunda, ilksel mineraller; ilksel minerallerin sıcaklık, gaz ve sıvıların etkisiyle ayrışmasından ya da ilksel minerallerin ayrışma ürünlerinden ikincil mineraller oluşur. Örneğin, kuvars ve feldispatlar, ilksel; karbonat mineralleri, bazı oksitler ve kil minerallerinin çoğu ise ikincil minerallerdir.

Çizelge 2. Kayalarda ve toprakta bulunan mineral grupları ve örnekleri (Akalan, 1987).

Mineral grupları ve türleri	Kimyasal yapıları	Bulundukları yerler	
		Kayalarda	Toprakta
Amfiboller	Metasilikatlar		
a) Tremolit	$Ca_2Mg_5H_2(SiO_3)_8$	Bol	Seyrek
b) Aktinolit	$Ca_2(Mg, Fe)_5 H_2(SiO_3)_8$	Bol	Seyrek
c) Hornblend	$Ca_4Na_2(Mg,Fe)_8(Al, Fe, Ti)_6Si_{12}O_{44}OH$ $(Mg, Fe)_2(SiO_3)_2$	Bol	Seyrek
Piroksenler	$Ca, Mg\ (SiO_3)_2$	Bol	Seyrek
a) Enstatit	$CaMg(SiO_3)_2+(Mg,Fe)(Al,Fe)_2\ SiO_6$	Bol	Seyrek
b) Diyopsit		Bol	Seyrek
c) Ojit	Ortosilikatlar		
Mikalar	$KH_2Al_3(SiO_4)_3$	Bol	Bol
a) Muskovit	$KH_2(Mg,Fe)_3Al(SiO_4)_3$	Bol	Seyrek
b) Biyotit	$(Mg, Fe)_2SiO_4$	Bol	Nadir
Olivin			
Feldispatlar	Polisilikatlar		
a) Ortoklas	$KAlSi_3O_8$	Bol	Bol
b) Albit	$NaAlSi_3O_8$	Bol	Yaygın
c) Anortit	$CaAl_2Si_2O_8$	Seyrek	Nadir
d) Anortoklas	$KAlSi_3O_8+ NaAlSi_3O_8$	Seyrek	Nadir
e) Plajiyoklas	$NaAlSi_3O_8+ CaAl_2Si_2O_8$	Seyrek	Nadir
Silisyum dioksitler	Oksitler		
a) Kuvars	SiO_2	Bol	Bol
b) Kristobalit	SiO_2	Seyrek	Seyrek
c) Kalsedon	SiO_2	Seyrek	Seyrek
Demir oksitler			
a) Hematit	Fe_2O_3	Bol	Bol
b) Götit	$Fe_2O_3 . H_2O$	Yaygın	Yaygın
c) Limonit	$2Fe_2O_3 . 3H_2O$	Yaygın	Bol
d) Limnit	$Fe_2O_3 . 3H_2O$	Nispeten az	Yaygın
e) Magnetit	Fe_3O_4	Yaygın	Yaygın
Alüminyum Oksitler			
a) Korundum	Al_2O_3	Yaygın	Nadir
b) Diaspor	$AlO(OH)$	Yaygın	Nadir
c) Gibsit	$Al(OH)_3$	Yaygın	Seyrek
Manganez oksitler			
a) Manganit	$MnO(OH)$	Nispeten az	Nadir
b) Hausmannit	Mn_3O_4 veya $MnO. Mn_2O_3$	Nadir	Nadir
c) Pirilusit	MnO_2	Yaygın	Yaygın
Titan oksitler			
a) Rutil	TiO_2	Yaygın	Yaygın
b) İlmenit	$FeTiO_3$	Yaygın	Ara sıra
Karbonatlar (H_2CO_3 tuzları)	Karbonatlar (H_2CO_3 tuzları)		
Kalsit	$CaCO_3$	Bol	Yaygın
Magnezit	$MgCO_3$	Seyrek	Nadir
Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$	Bol	Seyrek
Siderit	$FeCO_3$	Yaygın	Nadir
Fosfatlar (H_3PO_4 tuzları)	Fosfatlar (H_3PO_4 tuzları)		
Apatit	$Ca_5(F,CI, OH)(PO_4)_3$	Yaygın	Seyrek
Strengit	$FePO_4 . 2H_2O$	Seyrek	Nadir
Vavelit	$Al_3(OH)_3(PO_4)_25H_2O$	Seyrek	Nadir
Vivianit	$Fe_3(PO_4)_2 . 8H_2O$	Nadir	Nadir
Diğer mineraller	Diğer mineraller		
Pirit	FeS_2	Yaygın	Seyrek
Turmalin	$H_4NaMg_3B_3Al_6Si_6O_{31}$	Yaygın	Seyrek
Zirkon	$ZrSiO_4$	Yaygın	Seyrek
Jips	$CaSO_4 , 2H_2O$	Yaygın	Seyrek
Kayatuzu	$NaCl$	Yaygın	Yaygın
Şili güherçilesi	$NaNO_3$	Seyrek	Seyrek
Kil mineralleri (Hidros Fe ve Al Silikatlar)	Kil mineralleri (Hidros Fe ve Al Silikatlar)		
Kaolinit	$Al_2(OH)_4Si_2O_5$	Yaygın	Yaygın
Montmorillonit	$Al_2(OH)_2Si_4O_{10}$	Yaygın	Yaygın
Nontronit	$Fe_2(OH)_2Si_4O_{10}$	Nadir	Nadir
Hidros mika	$KAl_2(OH)_2\ (Al,\ Si_3)O_{10}$	Yaygın	Yaygın

Amfiboller

Amfiboller, kalsiyum, magnezyum, sodyum, alüminyum silikatlardır. Bunlar, su içeren silikatlar olup yapılarında OH gruplarının varlığı ile piroksenlerden ayrılırlar. Amfiboller, çok küçük kristallerden oluşmuştur. Cilalı, parlak ve ışıldayan bir görünüm sergilerler. Koyu yeşil ve siyah renge sahiptirler. Volkanik kayaların yapılarında, % 17 oranında bulunurlar ve kolaylıkla ayrışabilirler. Toprakta çok bulunmamalarına rağmen Ca, Mg, Na ve Fe'nin kaynağını oluşturmaktadırlar. Bu grubun en önemli mineralleri, tremolit, hornblend, aktinolittir.

Piroksenler

Piroksenler, kayaların yapısına giren önemli ve yaygın olan mineral grubudur. Piroksenlerin genel formülü $X_2Si_2O_6$ olup buradaki X sembolü Mg, Fe, Mn, Al, Ti, Na, Ca ve Li iyonlarını gösterir. En yaygın piroksen mineralleri, Ca, Mg ve Fe silikatlarıdır. Piroksen grubu minerallerin en önemlileri, ojit, diopsit, enstatittir. Bunlar arasında ojit, toprakta Ca, Mg ve Fe'in ana kaynağını oluştururlar.

Mikalar

Mikalara yapraklı silikatlar da denilmektedir. Bu mineraller, kayalarda geniş bir dağılım göstermektedir. Mikaların temel yapı birimini, Si_4O_{10} oluşturur. Yapılarında hidroksil grubu da bulunur. Temel yapı birimindeki silisyum yerine, bazen alüminyum geçer. Bunun formülü de $AlSi_3O_{10}$ şeklinde değişir. Bu işlemlerde önemli miktarda negatif yükler bulunur. Bu negatif yükler de Al^{3+} Mg^{2+} ile birlikte K^+ve Na^+ iyonlarının eklenmesiyle dengelenir. Muskovit, bol bulunan mika örneğidir. Muskovite, potaslı mika ya da beyaz mika da denilmektedir. Bir diğer mika türü biyotit (=siyah mika, demir magnezyum mikası) tir. Bunun formülü de $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ şeklinde gösterilebilir. Mikalar yumuşak olup bünyelerine su alınca yapraklar halinde parçalanır. Mikalar, toprakta K, Mg, ve Fe'nin ana kaynağını oluşturur. Bunlar ayrıştığı zaman, bitki beslenmesi bakımından son derece önemli olan kaolinit, illit, vermikulit ve montmorillonit gibi kil mineralleri oluşur.

Olivinler

Olivinin genel formülü $(Mg, Fe)_2SiO_4$'tür. Yapısında demir bulunmayan olivin mineraline (Mg_2SiO_4) forsterit; magnezyum bulunmayan tipine de (Fe_2SiO_4) fayalit denilmektedir. Olivin grubu mineraller, toprakta Fe ve Mg'nin önemli kaynaklarıdır.

Feldispatlar

Sodyum, potasyum ve kalsiyumun yer aldığı alüminosilikatlara feldispat denir. Volkanik kayaların yaklaşık % 60'ını oluşturan mineraller, oldukça sert olup beyazdan, sarı, pembe ve kırmızıya kadar değişen renklere sahiptir. Doğal dilinim yüzeyleri çok parlak bir görünümdedir. Feldispatların kristal sistemleri, silisyum tetraederleri ile alüminyum tetraederlerinin köşelerindeki oksijen iyonlarını ortak kullanmak suretiyle birleşmelerinden oluşan üç boyutlu bir kafes yapı görünümündedir. Feldispatların birim formülü, Si_4O_8'dir. Bu birimde, tetrahedronlardaki Si yerine bir Al ya da iki Al girebilir. Bu durumda, birim formül değişir ve $AlSi_3O_8$ ya da $Al_2Si_2O_8$ şeklini alır. Bu düzenleme sırasında oluşan negatif yük fazlalığı, birim yapıya K, Na, Ca'nın girmesiyle dengelenir. Toprakların ve kayaların yapısına giren bu elementlere göre feldispatlar gruplandırılırlar.

- Potaslı feldispatlar (Ortoklas, mikrolin) $KAlSi_3O_8$
- Sodyumlu feldispatlar (Albit) $NaAlSi_3O_8$
- Kalsiyumlu feldispatlar (Anortit) $CaAl_2Si_2O_8$
- Baryumlu feldispatlar (Celcian)$BaAl_2Si_2O_8$

Potaslı feldispatlar, toprakta karbon dioksitli suların etkisiyle ayrışarak potasyumun ana kaynağını oluşturur. Örneğin, ortoklas; granit ve gnayslarda yaygın olup serttir. Bunlar bünyelerine su alınca ayrışırlar:

$$2KAlSi_3O_8 + 11H_2O \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4H_4SiO_4 + 2K + 2OH$$

Ortoklas Kaolin

Ayrışma sonucunda kaolin, silikat, potasyum ve hidroksil grubu açığa çıkar. Albit ve anortitin farklı oranlarda karışmasıyla meydana gelen gruba, Plajiyoklas denir. Plajiyoklasların en önemli örnekleri; oligoklas, andezin, labradorittir. Labradorit ve anortit, kalsiyumun topraktaki ilksel kaynaklarıdır.

Oksitler

Silisli (SiO_2'den oluşan) mineraller

Kayaları ve toprağı oluşturan mineraller içinde en yaygın olan, kuvarstır. Kuvars, cilalı, şeffaf, açık rengi ve küçük tanecikleriyle diğer minerallerden kolayca ayrılır. Sıcaklık, basınç ve suyun eritici etkisine karşı dayanıklıdır. Demiri çizebilir ve sadece hidroflorik asitten etkilenir. Kuvarsın bu direnci, sağlam olan yapısından ve sertlik derecesinin yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır. Kuvars, tetrahedral şekilde dizilmiş dört oksijen iyonunun merkezinde bulunan silisyumlardan oluşan birimlerden meydana gelmiştir. Kuvars, topraklarda bol miktarda bulunur. Kuvarsın bileşiminde, bitkilerin gelişmesi için gerekli besin maddeleri bulunmadığından kuvarstan oluşan topraklar verimsizdir.

Demir oksitler

En fazla rastlanan demir oksitleri; hematit, götit, limonit, manyetittir. Bunların varlığı, kayalarda ve topraklarda görülen sarı, kırmızı ve kahverengine neden olmaktadır. Demir oksitler, çok yumuşak ve ağırdır. Yapılarına su alarak renklerini kırmızıdan sarıya doğru değiştirebilirler. Götit, toprak oluşumu ve rengi açısından önemlidir. Nemli iklim bölgelerinin topraklarında, daha çok, götit ve ferrioksitler bulunur. Genellikle, renkleri sarımsı kahverengi, pas-kahverenginde olur. Sıcak iklim bölgelerinin topraklarında ise, daha çok, hematit yer alır ve toprakların rengi parlak kırmızıdır.

Alüminyum oksitler

Alüminyum oksitlerden korundum, diaspor ve gibsit, kayalarda geniş bir dağılıma sahiptir. Açık renkli minerallerdir. Alüminyum, genel olarak, silisyum dioksitle birleştiği için, topraklarda saf şekilde bulunması zordur.

Manganez oksitler

Manganez oksitler, topraklarda nispeten az miktarlarda bulunmaktadır. Ancak, bazı tropikal bölge topraklarında manganez oksitler bol miktarlarda yer alabilir.

Titan oksitler

Titan, atom numarası 22, atom ağırlığı 47.9 olan bir elementtir. Katı haldeki Titan, 4.5 yoğunluğunda, çok sert, parlak beyaz bir madendir; 1800°C ye doğru ergir. Özellikleri bakımından silisyuma benzer. Soğukta, yüzeysel olarak oksitlenir; sıcakta, azot ve halojenlerle, hidroklorik ve nitrik asitlerle birleşir.

Rutil, titanyumun elde edildiği en önemli minerallerdir. Rutil (TiO_2), ısıtıldığı zaman sararan bir katıdır. Suda çözünmez. Alkalilerle birleşerek silikatlara benzeyen K_2TiO_3 gibi titanatları oluşturur. Titan beyazı boyacılıkta ve bazı kumaşların aprelenmesinde kullanılır.

Klorürleri arasında en önemlisi, karbon tetraklorürün titan okside akkor derecede etkimesiyle elde edilen titan tetraklorürdür ($TiCl_4$). Titan tetraklorür, renksiz bir sıvıdır; nemli havada ayrışarak sis meydana getirir ve titan hidroksit, $Ti(OH)_4$, açığa çıkarır. Titan tetraklorür, gösteri uçuşu yapan uçaklarda, havada iz bırakmak için kullanılır. Bundan başka, mor renkli bir katı olan titan triklorür ($TiCl_3$) ve siyah renkli bir toz olan titan diklorür ($TiCl_2$) gibi bileşikleri de bulunmaktadır.

İlmenit ($FeTiO_3$), titanit ($CaTiSiO_5$) ve arizonit ($Fe_2Ti_3O_9$), diğer titanyum bileşikleridir. Tabiatta oksitli bileşikler halinde yaygın olarak bulunan titanın en önemli cevherleri, rutil ve ilmenittir. İlmenit içinde, titan, ortalama olarak %20 oranında bulunur.

Rutil siyah, kahverengi-kırmızı ya da altın sarısı rengindedir. Titanyum genelde kahverengi-kırmızı renkli rutilden elde edilmektedir. Altın sarısı renginde olan rutil ise parlatma indeksi 2.63 olduğu için (elmasın parlatma indeksi 2.2'dir) mücevher olarak kullanılmaktadır.

Doğada daha bol bulunan ilmenit titanyum elde edilen ikinci önemli bileşiktir. Rutile göre titanyum oranı ilmenitte daha az olduğu için ilmenitten rutil elde edilmesi amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.

Yoğunluğunun nispeten az, kopma yükünün yumuşak çeliğinkine yakın olması ve çeşitli aşındırıcılara dayanıklılığı nedeniyle, titan, bazı mermi parçalarının, güdümlü mermilerin yapımında kullanılır. Sanayide, saç, tel ve çubuk halinde tüketilir. Yüz kremlerinde, gözlük çerçevelerinde, fotoğraf makinelerinde ve tenis raketlerinde kullanılmaktadır.

Uzay roketlerinin en önemli parçaları, titandan yapılmaktadır. Sürtünme nedeniyle aşırı ısınan roket uçlarında, motor bölümünde ve egzoz gazlarının atımı sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık sorunu, titanın kullanılmasıyla çözülebilmektedir. NASA'nın yürüttüğü bir projenin esası: Ay'da, titanyumdan su ve oksijen elde edilmesine dayanmaktadır. Projede, ilmenit cevheri, hidrojenle 1000°C sıcaklıkta ısıtılmakta ve buradan, demir, titanyum oksit ve su elde edilmektedir:

$$FeTiO_3 + H_2 \rightarrow Fe + TiO_2 + H_2O$$

Buradan elde edilen su, su olarak tüketilebileceği gibi, oksijen üretmek için de kullanılabilecektir. Reaksiyondan arta kalan hidrojen ise, yeni bir reaksiyonda devreye yeniden sokulabilecektir.

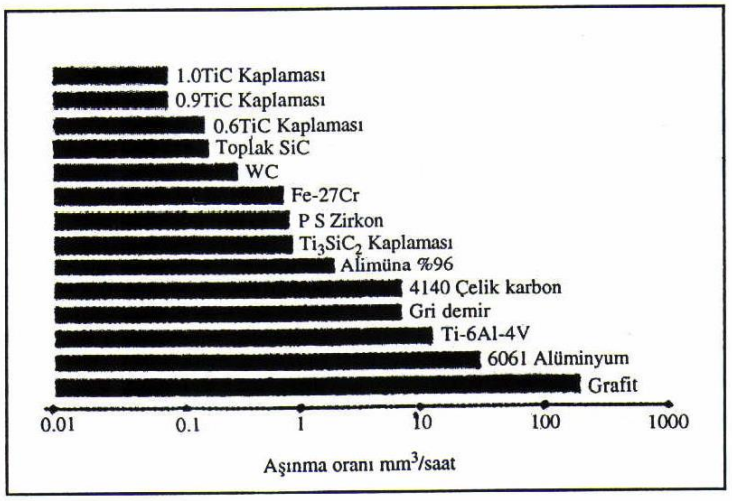
Titanyum, hacim ağırlığının az, kopma yükü ile hacim ağırlığı arasındaki oranın 27 olması (bu oran, işlenmiş özel çelikler için 20-25'dir) nedeniyle havacılıkta yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bazı bombardıman uçaklarının üçte biri ya da dörtte biri, titanyumdan yapılmaktadır. Boeing-747'nin alt iskeletini, iniş sarsıntılarına karşı, titanyum korumaktadır.

Dünyanın en hızlı uçakları arasında yer alan SR-71 Blackbird'ün (Şekil 7) dışı, tümüyle titanyumla kaplıdır. Bu uçaklarda ses hızının üç katına ulaşan hız, sürtünmenin artmasına neden olmakta ve 450°C'nin üstünde bir sıcaklığa yükselmesi gündeme gelmektedir.

Titanyum, manyetik özellik göstermemektedir. Çelik gövdeli denizaltılar, manyetometrelerle belirlenebildiği halde, titanyum gövdeli deniz altıların yerleri tespit edilememektedir.

Şekil 7. Dünyanın en hızlı uçaklarından biri olan SR-71 Blackbird'ün dışı görünümü (Tek, 1996).

Grafit; yumuşak, opak, çok iyi elektrik ileten ve ateşe dayanıklı olan bir maddedir. Bu özellikleri nedeniyle ısı iletkeni, roket egzozu ve metal dökümünde kalıp olarak kullanılmaktadır; ancak, hızlı aşınması ve oksitlenmesi çeşitli alanlarda kullanımını sınırlamaktadır. Bu olumsuzluklar, son yıllarda uygulamaya sokulan bir yöntemle ortadan kaldırılmıştır: Grafitler, titanyum karbid ile kaplanmaktadır. Titanyum karbidin (TiC) erime derecesi 3067°C, yoğunluğu 4.91, dayanımlılığı 3200 kg/mm^2'dir. Şekil 8'de TiC'nin diğer gereçlerle karşılaştırıldığında belirlenen aşınma oranlarına ilişkin test sonuçları görülmektedir.



Şekil 8. Çeşitli materyallerin aşınma oranları (Tek 1996).

Titanyum karbid ile kaplanan grafit, aşınmaya karşı, 1000-2000 kez daha sağlam bir duruma ulaşabilmektedir. Sıcaklığın 450°C nin üstüne çıktığı koşullarda, grafit, karbon dioksit haline dönüşürken; titanyum karbid ile kaplandığı zaman, ateşe karşı çok daha dayanıklı bir hale gelmektedir.

Titanyum, çeşitli elementlerle alaşımlar yapmaktadır. Bunlardan biri, Nikel-Titanyum hafızalı alaşımdır. Hafızalı alaşımlar, farklı sıcaklık ve basınca göre şekil değiştiren bileşimlerdir. Bu alaşımlar, ısıtılıp şekilleri değiştirildikten ve soğuduktan sonra, belli bir sıcaklığa kadar tekrar ısıtıldıkları zaman, eski şekillerine dönebilmektedir. Nikel-Titanyum (NiTi) alaşımlarında, -100°C ile +100°C arasında, birkaç derecelik farklılıklarda, bu değişim sağlanabilmektedir. Bu alaşımlar, değişim sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta deformasyona uğrarsa, süper elastik bir özellik gösterebilmektedir. Herhangi bir bozulmada, alaşım ısıtılarak ilksel haline geri döndürülebilir. Nikel-Titanyum alaşımı, gözlük çerçevelerinde ve uzay mekiklerinde kullanılmaktadır.

Titanyumun kullanımı, tıpta da çok yaygındır. Tıpta, daha hafif ve paslanmaz olduğu için, titanyumdan yapılan aletler tercih edilmektedir. Titanyum, biyomateryal olarak da kullanılmaktadır. Biyomateryal, vücuda takılan geçici yada kalıcı protezdir. Çeneye, omuza, bele, kalçaya, dize ve bileğe takılan protezler, titanyum yada titanyum alaşımlarıdır. Kemik gelişimi sırasında ortaya çıkan sorunlarda, titanyum alaşımlarının hafızalı metal olması, birçok karmaşık sorunu ortadan kaldırabilmektedir. Hafızalı metaller, robotların el ve kollarında da kullanılmaya başlanmıştır. 21.yüzyılın en gözde metalleri arasında titanyumun yer alacağı kuşkusuzdur. Ancak, günümüzde, üretim ve işletme maliyetlerinin pahalı oluşu, metalin sınırlı alanlarda kullanılmasına neden olmaktadır.

Karbonatlar

Doğada bulunan belli başlı karbonat mineralleri; kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlardır. Kalsit ($CaCO_3$), doğada çok rastlanan bir mineraldir. Kireçtaşlarında ve mermerlerde bulunur. Kalsit, denizlerde yaşayan bazı organizmaların kabuk ve iskeletlerinde de yer alır. Canlıların ölümünden sonra, kabuk ve iskeletler, deniz diplerinde yığılarak kireçtaşlarını oluşturur. Kalsit, mermerin ana maddesidir. Mermerin bileşiminde, saf kalsitin yanı sıra olivin, serpantin, tremolit ve diğer mineraller bulunabilir. Bu

durumda, değişik renklerde mermerler oluşur. Kalsit, çimento yapımında ve toprakların fiziksel özelliklerini düzeltmede kullanılır. Dolomit, kalsiyum ve magnezyumun bir çift tuzudur. Genel olarak, beyaz renklidir. Bazen de, sarı, pembe ve kahverengi olabilmektedir. Genellikle, ikincil oluşumludur. Magnezyum içeren çözeltilerin kireçle birleşmesi sırasında da oluşabilir. Topraklardaki etkinliğinin yanı sıra, sanayide yapı taşı olarak ve ısıya dayanıklı tuğla yapımında kullanılır. Siderit ve manyezit de topraklarda nadir olarak bulunan karbonatlardır.

Kalsiyum karbonat, rutubetli bölgelerde yağmur sularıyla yüzeyden toprağın alt katlarına ve taban suyuna doğru yıkanır. Yağışların azaldığı yerlerde, yüzeyden yıkanan minerallerin bir kısmı, alt horizonlarda birikir. Bununla ilgili formüller aşağıda gösterilmiştir:

$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$
$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$

Toprakta, bakır, manganez ve çinko karbonatlara da az miktarda rastlanmaktadır.

Fosfatlar

Fosfat minerallerinin miktarı, doğada oldukça azdır. Apatit minerali, $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$, fosfatlar içinde en yaygın olanıdır. Flor apatit, klor apatit ve hidroksil apatit olmak üzere, üç tipi vardır. Bu mineral, volkanik kayalarda ve çok az ayrışmış topraklarda, küçük kristaller halinde bulunur. Genellikle, rutubetli bölgelerdeki asitli topraklarda, çok az miktarlarda yer almaktadır. Asit topraklardaki fosforun büyük bir kısmı, yararsız olan demir, alüminyum ve organik fosfat bileşiklerine dönüşür. Apatit dışında, topraklarda çok az miktarlarda bulunan başka türde fosfatlı mineraller de vardır.

Diğer mineraller

Pirit

Pirit, kükürdün önemli kaynaklarından biridir. Pirit, kayalarda yaygın olduğu halde, topraklarda seyrek olarak bulunur. Parlak sarı rengi nedeniyle, yalancı altın olarak da adlandırılır. Genellikle, çinko ve kurşun cevherleriyle birlikte bulunur. Toprakta, demir ve kükürdün ilksel kaynaklarını oluşturur. Ayrıca, kükürt ve H_2SO_4 elde etmek için hammadde olarak kullanılır.

Turmalin

Değişebilen miktarlarda magnezyum ve demir içeren borlu bir mineraldir. Işığı fazla kıran sert bir maddedir. Nemli bölgelerde, borun ana kaynağını teşkil eder. Az yağışlı bölgelerde, sodyum, kalsiyum boratlar, borlu minerallerin kaynağıdır ve çok az miktarlarda bulunur.

Zirkon

Zirkon, bir silikattır. Toprakta az miktarda bulunur. Kimyasal ayrışmaya karşı dirençli olduğu için toprak araştırmalarında indeks mineral olarak kullanılır. Zirkon'un profildeki dağılımı izlenerek toprağın gelişme derecesi belirlenir. Sert olduğu için mücevher olarak da kullanılır.

Jips

Jips ($CaSO_42H_2O$), sıcak iklim bölgelerinde, buharlaşma (evaporasyon) yoluyla oluşan bir mineral olup kimyasal tortul mineral grubundandır. Deniz ve tuzlu göl sularının, 90^o C den daha düşük sıcaklıklarda buharlaşması sonucunda oluşur. Anhidrit, sofra tuzu ve potasyum klorürle birlikte bulunur. Jips ve anhidrit ($CaSO_4$), toprakta kalsiyum ve kükürdün en önemli kaynaklarıdır. Jips, suda hızla erir; kurak bölge topraklarında yaygındır.

Kil mineralleri

Killer, feldispat, mika ve diğer silikatların ayrışmasıyla oluşan hidro-alüminyum ve demir silikatlardır. Birçok tortul kayada ve toprakta bol miktarlarda bulunur. Killer, K, Na, Ca, Mg gibi bitki besin elementlerini yıkanmaya karşı koruyan ve saklayabilen bir niteliğe sahiptir. Kil minerallerinde, kuvvetli bir ve su tutma gücü vardır. Dolayısıyla, toprakların fiziksel özelliği, verimliliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Hem kayalarda hem de topraklarda bol bulunan mineraller; muskovit, ortoklas, kuvars ve hematittir. Killerden kaolinit ve montmorillonit gibi mineraller yaygındır.

KAYALAR

Kayalar, çeşitli minerallerin ya da mineral ve taş parçacıklarının bir araya gelmesinden veya da tek bir mineralin çok sayıda birleşmesinden meydana gelirler. Örneğin granit ve andezit çeşitli minerallerden, kumtaşı değişik kum tanelerinden, mermer ve kuvarsit tek mineralden oluşmuş kayalardır.

Kayatürü ise "litoloji" teriminin karşılığı olarak dilimize girmiş ve çeşitli mineral topluluklarının birleşiminden oluşmuştur. Litoloji, terim olarak, taşbilim, kayabilimi yada kayaların mikroskopta irdelenmesi anlamına gelir. Ancak uygulamada kayatürü, kayaların el örneğinde yada arazide çıplak gözle yapılabilen tanımına karşılık olarak kullanılmaktadır. Kayatürleri, oluşumları sırasındaki doğal ortamı yansıtan bir tür belgelerdir. Yerkabuğunun jeolojik gelişiminin izleri kayalar üzerine işlenmiştir. Bu nedenle kayalar yer tarihinin doğal belgeleri kabul edilir. Kayaların jeolojideki önemi de buradan ileri gelir.

Örneğin Kula dolayındaki genç bazaltlar, bu yörede yakın geçmişte yanardağların faaliyette olduğunu göstermektedir. Sivas yöresindeki tuzlu ve jipsli kayalar, bu bölgedeki eski jeolojik devirlerde bugüne göre daha sıcak ve kurak bir iklimin hüküm sürdüğü kapalı bir iç deniz durumunda olduğunun göstergesidir. Zonguldak yöresindeki Paleozoyik yaşta kömür yataklarının, bu yörede 250 milyon yıl önce bugünkü ekvator kuşağına benzer sıcak ve yağışlı bir iklimin etkisi altında bulunduğunu kanıtlar.

Kayalar kökenlerine ve oluşum koşullarına göre başlıca üç temel gruba ayrılırlar. Bunlar, başlıca magmatik, çökel ve metamorfik kaya gruplarıdır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Başlıca kayatürü grupları ve bazı örnekler

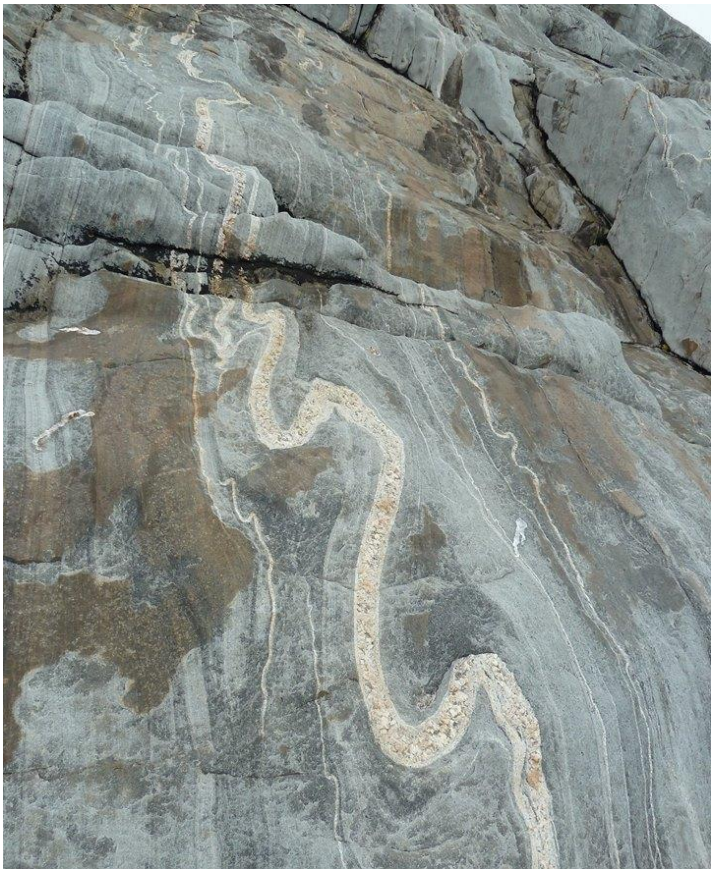
Kayatürü grubu	**Bazı örnekler**
Magmatik kayalar	Granit, diyabaz, bazalt, tüf, aglomera ….
Çökel (Sedimenter) kayalar	Kireçtaşı, kumtaşı, kiltaşı, jips, çört …
Metamorfik kayalar	Gnays, şist, metavolkanit, fillit, hornfels, mermer…

Magmatik kayalar

Magmatik kayalar, ergimiş halde bir silikat hamuru durumunda olan magmanın yerkabuğunun derinliklerinde ya da yeryüzünde soğuyarak katılaşması sonucu meydana gelen kayalardır ve genel olarak kristallerden oluşmuşlardır.

Magmanın soğuması ve katılaşması, derinlerde yavaş geliştiği zaman, tam kristalli plütonik kayalar, yeryüzüne yakın derinliklerde ya da yeryüzünde hızlı ve çabuk geliştiğinde sıra ile damar kayaları ve volkanik kayalar meydana gelmektedir.

Plütonik kayalara derinlik kayaları denir. Bunlar, taneli ve yalnızca kristallerden oluşmuş kayalardır. Volkanik kayalara ise yüzey kayaları denir. Bunlar kısmen kristalli ve porfirik yapılı olup genellikle camsı bir hamur içinde çeşitli kristaller dağılmış halde bulunurlar. Magmatik kayaların diğer grubu damar kayaları, filon ya da dayklar halindedir. Bunların karakteristik niteliği hamur maddelerinin camsı değil küçük kristalli (mikrokristalin) oluşu ve diğer kayaların yarık ve çatlakları içerisinde yer almış olmalarıdır. Dayklar ve filonlar da deformasyona uğrayarak katmanlı yapısal bir görünüm kazanabilirler (Şekil 9).



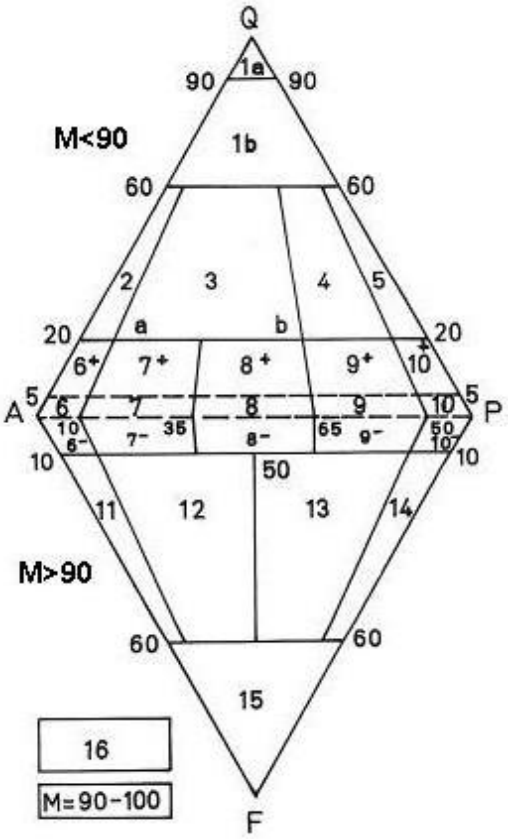
Şekil 9. Kıvrımlı labrador daykları (Battle Adası, Kanada) (TravelingGeologist'in sayfasından).

Magmatik kayalar, bileşimlerine giren kuvars, feldispatlar ve foidler gibi temel minerallerin hacim olarak % katılma oranlarına göre adlandırılırlar (Çizelge 4).

Çizelge 4. % SiO_2 ve içerdiği minerallere göre bazı magmatik kayalar.

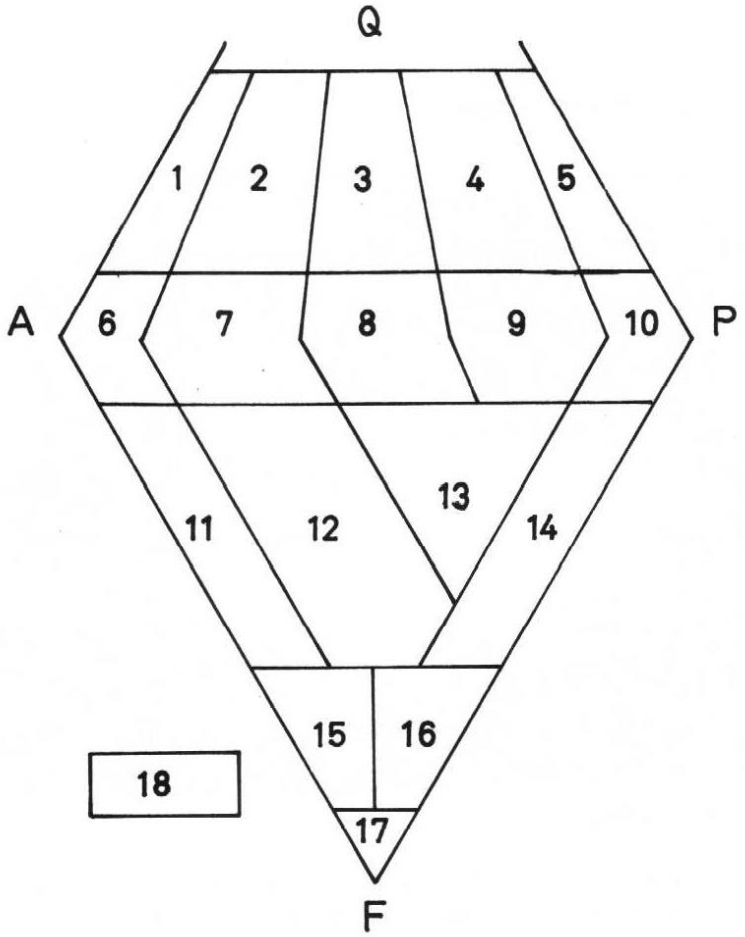
% SiO_2	**Mineraller**	**Derinlik Kayaları**	**Damar Kayaları**	**Volkanik Kayalar**
60-75	Alkali feldispat	Granit, Kuvarslı diyorit	Granit porfirit Diyorti porfirit	Riyolit, Dasit
	Alkali feldispat ve asit plajiyoklas	Siyenit, Monzonit	Siyenit porfirit Monzonit porfirit	Trakit, Trakiandezit-Latit
46-60	Alkali feldispat ve bazik plajiyoklas	Diyorit, Gabro	Diyorit porfirit Gabro porfirit	Andezit, Bazalt
	Olivin ve piroksen	Peridodit, Dunit	Kimberlit	Pikrit
30-46		Piroksenit, Hornblendit, Anortozit	Camsı olanlar: obsidyen-süngertaşı, Taneli olanlar tüf (ince taneli), aglomera (iri taneli)	

Ayrıca, A. Streckeisen tarafından 1973 yılında IUGS Komisyonu çalışmaları ışığında, plütonik(derinlik) ve volkanik kayalar, Q(Kuvars), A(Alkali feldispat), P(Plajiyoklas%An), F(Feldispatoid yada Foid), M(Mafik) gibi elemanlar gözetilerek ve bunların % katılma oranları esas olarak adlandırılmışlardır(Şekil 10 ve 11).



Şekil 10. Çift üçgen diyagramı üzerinde, plütonik kayaların genel sınıflaması ve adlandırılması (Streckeisen, 1973; IUGS-Komisyonu önerilerine göre).

Q = Kuvars;
A : Alkali feldispatlar (Ortoklas, Mikroklin, pertit, anortoklas, saf albit An 0-5);
P = Plajioklas (An 05-100), Skapolit;
F = Feldispatoid ya da foid'ler (Lösit, nefelin, sodalit, nosean, hauyin, analsim vb.)
Q+A+P = 100 veya A+P+F = 100 (kayaların bileşimine giren minerallerin hacim olarak % katılma oranları esas alınmıştır)
1a : Kuvarsolit (Sileksit), 1b : Kuvarsı çok granitoidler, 2 : Alkali feldispatlı granit, 3 : Granit, 4 : Granodiyorit, 5 : Tonalit, 6^+: Alkali feldispatlı kuvars-siyenit, 7^+: Kuvars-siyenit, 8^+: Kuvars-monzonit 9^+: Kuvars-monzodiyorit, kuvars-monzogabro,10^+: Kuvars-diyorit, kuvars-gabro, kuvars-anortozit 6 : Alkali feldispatlı siyenit, 7 : Siyenit, 8 : Monzonit, 9 : Monzodiyorit, monzogabro,10 : Diyorit, gabro, anortozit, 6^-: Foidli-alkali feldispatlı siyenit, 7^- : Foidli siyenit, 8^- : Foidli monzonit, 9^- : Foidli monzonodiyorit, foidli monzogabro, 10^-: Foidli diyorit, foidli gabro, 11 : Foid-siyenit, 12 : Foid-monzosiyenit, 13 : Foid-monzodiyorit, foid-monzogabro (esseksit), 14 : Foid-diyorit, foid-gabro (teralit), 15 : Foidolit, 16 : Ultramafik kayalar (peridotit,piroksenit, hornblendit).



Şekil 11. Volkanik kayaların çift üçgen diyagramı üzerinde sınıflandırılması (Niggli ve Troeger'e göre Rittmann-Tazieff (1963)'ten).
Q = Kuvars; A = Alkali feldispatlar (sanidin, anortoz, saf albit);
P = Plajioklaslar; F = Feldispoidler (lösit, nefelin, sodalit vb.)
M = Koyu mineraller, mafik veya femik mineraller (piroksen, amfibol, mika, olivin, melilit, ilmenit, apatit, kordierit).

1 : Alkali riyolit
2 : Riyolit
3 : Kuvarslı latit
4 : Riyodasit
5 : Dasit
6 : Alkali trakit
7 : Trakit
8: Latit
10 : Bazalt (M=40-75)
11 : Fonolit
12 : Tefritik fondit
13 : Fonolitik tefrit
14 : Tefrit, basanit
15 : Fonolitik foidit
16 : Tefritik foidit
17 : Foidit

Ofiyolitler, genellikle tanesel dokuya sahip ultramafik kayalardan oluşurlar. Ancak ofiyolit topluluğu denildiğinde, altta çoğunlukla dunit ve peridoditten oluşan ulramafit plütonik kayalar, üste doğru sıra ile gabro, levha dayk karmaşığı ve lav ile pelajik ortamı temsil eden kırıntılı yada kireçtaşından oluşan bir istif anlaşılmaktadır.

Ultramafik kayalar başlıca olivin, ortopiroksen ve klinopiroksenin yanı sıra, amfibol, biyotit ve ender olarak granat ve korund içerebilir. Kimyasal bileşimlerinde Mg ve Fe içerikleri yüksek, CaO, Na_2O, K_2O içerikleri düşük olduğu bilinmektedir. Yoğunlukları oldukça yüksek olan ultramafik kayalar ve geniş anlamıyla ofiyolit topluluğu günümüzdeki okyanus kabuğunun temsilcileridir.

Granitporfir, minerolojik ve kimyasal bileşimi granitin bileşiminin tümüyle aynıdır. Ancak porfirik bir doku göstermesi ile granitten ayrılır. Fenokristaller idyomorf yada hipidymorf şekillidir. Başlıca, alkali feldispat, kuvars, biyotit ve bazen hornblend fenokristallerini içerir. Granoporfir, granit masiflerinin kenar fasiyeslerinde yada sil, dayk ve küçük lakolitler halinde bulunur.

Granoporfir, mikrogranit, granit aplit, granitpegmatit, gronodiyorit porfir ve tenalitporfir gibi granit bileşimine yakın diğer damar kayalarını temsil ederler.

Siyenitporfir, bileşimi siyenit bileşiminin aynıdır. Hipidyomorf-tanesel bir hamur içinde ortoklas fenokristalleri içerir. Doğada az oranda ve küçük yüzeylemeler halinde siyenit masiflerinin kenar bölümlerinde sil ve dayklar biçiminde bulunur. Albitofir, siyenit aplit ve siyenit pegmatit gibi siyenit bileşimine yakın diğer damar kayalarını temsil ederler.

Gabroporfir, oldukça az rastlanan ve gabronun mineralojik bileşimine sahip bir damar kayasıdır. Porfirik doku sunan gabroporfir, fenokristal olarak labrador ve genellikle zonlu doku gösteren plajiyoklas ve yer yer piroksen kristalleri içerir. Mikrogabro, gabroaplit ve dolerit gabronun diğer damar kayalarını oluştururlar.

Lamporfirler, kimyasal ve mineralojik bileşimleri, dokusal özellikleri yönüyle plütonik yada volkanik kayalara herhangi bir benzerlik göstermeyen damar kayalarıdır. Genellikle porfirik doku sunan lamporfirler, feldispatlardan oluşan holokristalin bu hamur ve genellikle koyu renkli ksenomorf fenokristallerinden oluşmaktadırlar. Hamurda bol oranda biyotit ve amfibol mineralleri izlenir ve yer yer klinopiroksen, olivin ve bazı özel durumlarda melilit de bulunur. Bu kayalar, Cr, Ni, Ba, Sr, Rb gibi eser elementler yönüyle zengin bir bileşime sahiptir. Lamporfirler, alkali, kalkalkali ya da alkali-ultrabazik bir alanda yer alabilirler. Ayrıca lamporfirlere benzeyen ancak peralkalin bir alanda yer alan kimberlitler de plütonik kayalara benzemeyen damar kayalarıdır.

Riyolit ve dasit, granit bileşimindeki derinlik kayalarının yüzeydeki volkanik kaya karşılıklarıdır. Açık renkli ve tipik porfirik doku sunan bu kayalar, volkanik cam ve mikrolitlerden oluşan bir hamur ve yer yer plajiyoklas ve koyu renkli mineral fenokristallerinden oluşmaktadırlar. Biyotitin yanı sıra yer yer amfibol minerallerine rastlanabilir. Riyolit ve dasitler doğada yayılımı az, fakat kalın ve kenar zonları oldukça dik lav akıntıları şeklinde bulunabilirler. Ayrıca subvolkanik koşullarda meydana gelen dayk ve siller riyolit yada dasit bileşiminde olabilirler.

Andezit, diyorit bileşimindeki derinlik kayalarının volkanik-subvolkanik karşılıklarıdır. Silis içeriği % 50-60 arasında ve açık gri-gri renkte, porfirik, mikroporfirik ya da afanitik dokulu kayalardır. Kimi yerlerde akma dokusu da sunan andezitler başlıca plajiyoklas, amfibol ya da piroksen mineralleri içerirler. Ayrıca seyrek olarak kuvars ve biyotit bulunur. Opak mineral olarak manyetit izlenir. İleri derecede bozunmaya uğramış andezitlere "porfirit" adı verilmektedir.

Bazalt, gabronun volkanik kaya karşılığı olup koyu gri, siyah renkte ve porfirik dokuya sahiptir. Başlıca olivin, bazik plajiyoklas, amfibol ve piroksen fenokristalleri izlenmektedir. Fenokristaller idyomorf ve hipidyomorf şekiller sunar. Kimi bazaltlarda piroksenlerin epidot ve kolorite, plajiyoklasların ise serizite dönüştüğü gözlenebilir. Bazalt doğada lav akıntıları biçiminde yaygın olarak, kimi yerlerde plato bazaltları biçiminde bulunabilirler. Ayrıca subvolkanik koşullar altında dayk, sil ya da baca dolguları halinde görülebilirler.

Volkanik camlar, magmanın kristallerin oluşmasına olanak vermeyen, çok hızlı bir şekilde soğuması sonucu meydana gelirler. Volkanik camlar ağırlıklı olarak SiO_2'den oluşurlar ve makroskopik

görünüm ve dokularına göre obsidyen, pekştayn, perlit, pumis (sünger taşı) ve takitit şeklinde adlandırılırlar.

Aglomera, parçalı volkanik (piroklastik) kayaların, 2 mm'den iri taneler kapsayan kesimini temsil eder. Bu gereçler ağırlıklı olarak volkan bombasından oluşur. Parçalı volkanik kayaların çıkış noktasından başlayarak yerçekiminin güdümünde sıvıya benzer bir akıntı şeklinde topografyayı izleyerek akması yinelendiğinde bir istiflenme oluşabilir. Bu istiflenmede hafif ve ince taneli gereçler ve çökeller ile lavlar yer alır. Bu tür piroklastik akıntı çökellerine "ignimbrit" adı verilmektedir. Aglomera, volkan kraterlerinin ya da lavların çıkış yerlerinin yakın dolaylarında bulunurlar.

Tüf, genel olarak 2 mm-1/16 mm arasında tane boyuna sahip parçalı volkanik kayaları temsil eder. Tüf, ağırlıklı olarak ince taneli volkan külü ve volkan tozunun pekişmesiyle oluşur. Tüfleri, bileşenlerine ve oluştukları ortamları göre adlandırmak mümkündür.

Volkanik kül, 1/16 mm'den küçük taneler içeren parçalı volkanik (piroklastik) kayalardır. Volkanik patlamanın son evresini temsil eden en ince tanelerin çökelip pekiştiği bir kayatürü ile temsil edilir. Volkanik kül volkanik çıkış yerlerinin yakınında ve dolayında volkanik patlamanın ürünü gereçlerin en üst katmanı olarak oluşur.

Mağmatik kayaların mühendislik özellikleri konusunda genellemeler yapmak doğru değildir. Her kayanın mühendislik özellikleri, yerli yerinde deneysel olarak belirlenmelidir. Ancak, yukarıda sunulan derinlik kayalarından granit, siyenit ve gabro gibi kayatürleri ayrışmamış ve kırıklı bir yapıda değilse güvenilir bir zemin olarak değerlendirilebilirler.

Andezit ve bazalt ise sütunsu eklem yapısına sahipse, bu yapı geliştiği kayatürünün dayanımlılığını azaltır. Kimi volkanik kayalar ise gözenekli bir yapıdadır. Bu tür kayaların yanı sıra, tüf ve aglomera gibi orta ve iri taneli piroklastik kayalar dayanımlı zeminleri temsil etmemekle beraber, bunların potansiyel bir akifer olma şansları vardır.

Feldispatlar açısından zengin mağmatik kayalar ayrışarak killi birimlere dönüşürler. Killerin bazıları da su ile temasa geçtiğinde şişer ve duraysız ortam koşulları oluşur.

Çökel (Sedimenter) kayalar

Çökelim sonucu meydana gelen kayalar genellikle, katmanlı olup fosil içerirler. Bunlar, yeryüzünü oluşturan tüm kayaların fiziksel ya da kimyasal süreçlerle bozunması (alteration), parçalanması, dağılması, taşınması, çökelmesi ve diyajenez denilen evrelerden geçerek oluşurlar. Çökel kayalar, kökenlerine ve oluşum ortamlarına göre kırıntılı kayalar, organik ve kimyasal kayalar olmak üzere üç temel sınıfa ayrılırlar.

Kırıntılı kayaların alt sınıflaması tane boyutuna (Çizelge 5), organik tortul kayalar, kapsadığı organizmaların kavkılarını oluşturan başlıca maddelerin kimyasal bileşimlerine göre yapılmaktadır. Kireçli, silisli, bitümlü, fosfatlı kayalar (Çizelge 6) başlıca organik tortul kayaçlardır. Kimyasal tortul kayalar ise tuzlu suların buharlaşması ve doygun eriyiklerin çökelmesi sonucu meydana gelirler. Mağaralardaki sarkıt ve dikitler, tuz ve jips birikintileri, travertenler başlıca kimyasal tortul kaya örneklerdir.

Bazı çökel kayatürü örnekleri

Kökenleri ve oluşum ortamlarının yanı sıra, iç yapıları ve bileşimleri gözetilerek çökel kayalar sınıflandırılmıştır. Bu kayatürlerinden doğada en çok rastlananlardan bazılarının özellikleri ise aşağıda sunulmuştur.

Çakıltaşı, 2-2.5 mm ile 10 cm arasında tane boylarına sahip kırıntılı çökel kayalardır. Tanelerin yuvarlaklaşma derecesi, türü, boylanması ve ara maddesi (hamur ya da çimento) gözetilerek çakıltaşları sınıflandırılmaktadır. Köşeli tanelerin egemen olduğu kayatürü breş ya da köşeli çakıltaşı olarak adlandırılır. Tek kayatüründen oluşan çakıltaşı "tektür", çeşitli kökende kayatürlerinden oluşan çakıltaşı "çoktür" çakıltaşı olarak tanımlanır. Çakıltaşı, çeşitli kökende kayatürlerinin bozunarak parçalanması, taşınması, çökelmesi ve pekişmesi süreçlerinden geçmesi sonucu olarak oluşur. Güncel ve eski çakıltaşları, ekonomik açıdan değer taşıyan

ağır mineraller ve plaser türde altın, platin, elmas, uranyum bakımından zengin kaynaklar içerebilir.

Çizelge 5. Kırıntılı çökel kayalar (Gilluly ve diğerleri, 1968).

Kayatürleri		**Başlıca mineral ve bileşenler**	**Katılaşmamış kırıntılar**	**Tanelerin çapı**
Psefitler	Çakıltaşı	Kuvars ve kaya kırıntıları	Yuvarlaklaşmış çakıllar	2 mm den büyük
	Breş	Kaya kırıntıları	Köşeli çakıllar	
Psamitler	Kumtaşı			2-1/16 mm
	-Kuvars kumtaşı	Kuvars	Kuvarsça zengin kum	
	-Arkoz	Kuvars ve feldispat	Feldispatça zengin kum	
	-Grovak	Kuvars feldispat, kil, kaya kırıntıları, volkanik kırıntılı kayalar	Killi ve kaya kırıntılı "kirli kum"	
Pelitler	Şeyl	Kil mineralleri, kuvars	Çamur, kil ve silt	1/16 mm den küçük
	Kırıntılı Kireçtaşı	Kalsit	Parçalı ve yuvarlaklaşmış kabuklar ve kalsit taneleri	

Çizelge 6. Organik ve kimyasal çökel kayalar (Gilluly ve diğerleri,1968).

Kayatürleri	**Başlıca mineraller ve bileşenleri**	**Gereçlerin doğası**	**Egemen gerecin kimyasal bileşimi**
Kireçtaşı	Kalsit	Kimyasal yada organik çökelme ile oluşurlar.	$CaCo_3$
Dolomit	Dolomit	Kireçtaşı yada pekişmemiş kireçli ooze, çözeltilerce değişime uğramışlardır.	$CAMg(CO_3)_2$
Turba ve kömür	Organik gereçler	Bitki kırıntılarını içerirler	C ve C,H,O bileşikleri
Çört	Opal, kalsedon	Silisli kabuklar ve kimyasal çökelme ile oluşurlar.	SiO_2 ve SiO_2nH_2O
Evaporitler ya da tuz oluşukları	Halit, Jips, Anhidrit	Deniz yada tuz göllerinden buharlaşma kalıntıları olarak oluşurlar.	Çeşitli, başlıca NaCI ve $CaSO_42H_2O$

Kumtaşı, 1/16-2 mm arasında tane boylarına sahip kırıntılı çökel kayalardır. Taneler arasındaki gözeneklerde su ya da hava bulunabilir. Kumtaşlarının ana bileşenleri kuvars, feldispat ve çeşitli kökende kayatürlerinden oluşur. Taneler silis ya da karbonat ile çimentolanabilir.

Karbonat çimentosu, boşlukları dolduran kalsit kristallerinden oluşur. Bazı kumtaşlarının çimentosu hematit, limonit, siderit, barit ya da jips gibi bileşenlerden yapılıdır. Kumtaşlarında bulunan önemli ağır mineraller, başlıca turmalin, zirkon, apatit, rutil, granat ve disten olup kumtaşının türediği kaynak bölge konusunda fikir verebilir. Kumtaşları mineralojik bileşimlerine göre sınıflandırılmaktadır.

Kiltaşı ve silttaşı, 1/16mm'den daha küçük tane boylarına sahip kırıntılı çökel kayalar silttaşı, 2 mikrondan daha küçük tane boyuna sahip kayalar ise genel olarak kiltaşı olarak tanımlanır. Silttaşı bol oranda kuvars, feldispat, karbonat tanecikleri, serizit ve biyotit pulları içerir. Killi kayalar ise bu bileşenlerin yanı sıra illit, montmorillonit, kaolinit, klorit ve glokonit gibi diğer silikat ailesi kil minerallerini içermektedir. Kil mineralleri, Diferansiyel Termal Analiz (DTA) Elektron Mikroskopu (SEM) gibi ileri düzeyde olan yöntemlerle incelenmektedir. İnce taneli kayatürleri, taneboyları ve katmanlanma özellikleri ile pekişme dereceleri dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır.

Şeyl, çok ince taneli, çizgisel ya da düzlemsel (yapraklı) bir yapıya koşut yapraklanma sunan, diyajenez sonucu ortaya çıkan değişiklikler dışında mineralojik bileşiminde önemli bir değişim göstermeyen kayatürü olarak tanımlanmaktadır. Şeyller, içerdikleri bileşenlere göre karbonatlı, silisli, karbonlu, bitümlü ya da petrollü şeyl biçiminde adlandırılır.

Kireçtaşı, ağırlıklı olarak $CaCO_3$'tan oluşan sedimenter kökenli bir kayatürüdür. Karbonatlı sedimenter kayalar başlıca kalsit, aragonit ya da dolomit minerallerinden oluşurlar. Kalsit öz şekilsiz, dolomit ise eşkenar dörtgen öz şekillidir. Bazen az oranda kuvars, feldispat ve kil mineralleri de izlenir. Kireçtaşlarının, çökelme sonrasında kazandığı birincil dokusal özellikler ile, çökelme sonrası kazanılan yeniden kristalleşme gibi ikincil dokusal öncelikler sayesinde oluşum koşulları ve geçirdikleri değişimler değerlendirilebilmektedir. Kireçtaşları, karbonatça doygun sulardan inorganik kimyasal çökelme ile oluşabileceği gibi karbonat bileşimindeki organizma kalıntılarının ufalanması ve çökelmesi ile (yani organik kökenli olarak) da oluşabilirler. Kireçtaşları da bileşim, tane boyu (çökelme ya da diyajenez sırasında kazanılan) doku ve oluştukları ortamlar gözetilerek sınıflandırılmaktadır. Günümüzde Folk (1968) tarafından önerilen sınıflamalar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dolomit, hem $CaMg(CO_3)_2$'tan oluşan bir minerali, hem de bu minerali ana bileşen olarak içeren kayayı tanımlamada kullanılan bir sözcüktür. Bu karışıklığı gidermek için bazı kitaplarda minerale dolomit, kayatürüne dolotaşı da denilmektedir. Yapılan çalışmalar dolomitlerin, doğrudan kimyasal çökelme ile değil, kireçtaşlarının Mg bakımından zengin suların etkisi altında dolomitleşmesi sonucu oluştuğunu göstermektedir. Dolomitler, petrolün hazne kayası olarak kabul edilmektedir.

Siderit, ağırlıklı olarak $FeCO_3$'ten oluşan ve başlıca demirsilikat, manyetit, hematit ya da limonitten yapılı taneler (granüller) içerirler. Sideritte yer alan demirin kökeni, bozunma sonucu ortaya çıkan demirin akarsularla kolloidal olarak tanınıp çeşitli havzalarda bir karbonat olarak çökelmesi ya da hidrotermal volkanik gereçlerin çıkışlarıyla ilişkili olabilir. Doğal sulu çözeltilerdeki demirin çökelmesi Eh/pH ilişkisine bağlıdır. Siderit, çözünmüş CO_2 içeren daha çok indirgen ve zayıf negatif Eh koşullarında oluşmaktadır. Yüksek pH, dolayısıyla SiO_2 içeriğinin yüksek olduğu koşullarda Fe-silikat mineralleri ayrılmaktadır. Göl ve bataklık ortamlarında demir, bakteri faaliyetleri ile ya da bitkilerin etkisiyle çökelebilmektedir.

Radyolarit, kırmızı kahve renkli (ya da diğer renklerde) olup ağırlıklı olarak SiO_2 bileşimli derin denizel bir kayatürüdür. Radyolarit, küçük hematit pulları ve kil mineralleriyle çok ince taneli silisli bir çimentodan ibaret olup, yarı opak görünümlü bir çimento içinde dairesel, oval yada merceksi radyolariya kavkılarını içermektedir.

Çakmaktaşı, değişik renklerde ve genel olarak diyajenetik süreçlere bağlı olarak oluşan silisli kayalardır. Bunlar, homojen, yoğunluğu yüksek ve tıkız dokuludurlar. Çört, sileks ve jasperoyid olarak da adlandırılan çakmaktaşı inorganik kökenli bir kayatürüdür.

Fosforitler, bileşiminde %20'nin üzerinde P_2O_5 bulunan (fosfatlı) çökel kayalar olup denizel fosforitler ve karasal ortamlarda oluşan "guano" olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bu kayatürleri, planktonların yada diğer organizmaların kalıntılarından oluşmakta ve doğada 1mm ile birkaç metre arasında değişen katmanlar halinde bulunurlar. Fosforitler, bileşim, tane büyüklüğü,

hamur yada çimento içeriğine bağlı olarak tanımlanıp sınıflandırılmaktadır. Mineralojik bileşiminde tipik fosfat minerali olarak apatit bulunmaktadır.

Evaporitler, yoğun buharlaşmanın olduğu sulu ortamlarda kimyasal çökelme ile oluşan tuzlu kayalar olup denizel yada karasal ortamlarda meydana gelirler. Evaporitler, başlıca, karbonatlar ($CaMg(CO_3)_2$), sülfatlar (jips, anhidrit), klorürler (Halit-KCl), boratlar (Boraks, Kernit, Kolemanit) ve nitratlar (nitronatrit-$NaNO_3$ ve nitrokalit- KNO_3) şeklinde sıralanabilir.

Kömür, doğada yaygın olarak bulunan organik kökenli yanıcı kayatürlerinden biri olup ağırlıkça %50, hacim olarak %79'in üzerinde karbonlaşmış bitkisel/organik gereçlerden oluşmaktadır. Kömür, bitkisel gereçlerden oluşan ve katmanlanma sunan bir kayatürüdür. Bataklıklarda ya da gölsel ortamlarda biriken ve gömülen bitkisel gereçler, sıcaklık ve basınç altında fiziksel ve kimyasal değişimlere uğramakta, H_2O, CO_2, CH_4 gibi uçucu bileşenlerini yitirerek karbon yönüyle zenginleşmektedir. Bu sürece kömürleşme denilmektedir. Kömürleşmenin ilk evresinde turba, daha sonra sıra ile linyit, taşkömürü ve antrasit meydana gelmektedir. Belirgin başkalaşım koşullarında grafit oluşur.

Kömürleşme derecesi (kömürlerin içerdiği karbon miktarı ile belirlenmekte olup), uçucu madde içeriği (%) ve kalorisi (Kcal/kg) gözetilerek kömürler sınıflandırılmaktadır.

Toprak, çeşitli kökenlere sahip kayatürlerinin yerli yerinde (otokton) yada çeşitli atmosferik süreçlerle taşınıp başka bir yerde (allokton) çökelmiş oluşuklar olup %45 inorganik, %5 organik gereçler içermekte ve yaklaşık %50 dolayında su yada hava ile dolu gözenekli bir yapıdadır.

Toprak, bozunmaya uğramış kayaların üstünü kaplar, bitki ve organizmalar için bir yaşam alanı sağlar. Yağmursuyu ve yüzey suları toprağa sızarak yer altı sularını oluşturur. Toprakta, yüzeyden başlayarak, ana gereçleri de kapsayacak biçiminde alınan kesite toprak profili denir. Toprak profili üstten alt düzeylere doğru, O, A, B, C ve R(D) olmak üzere horizonlara ayrılır.

Çakıltaşı ve kumtaşı gibi orta ve iri taneli çökel kayalardan karbonatik yada killi bir çimentoya sahip olanlar zayıf, silisli bir çimentoya sahip olanlar ise dayanımlı bir zemin oluşturmaktadır. Bu tür iri taneli kırıntılı çökel kayalar bir akifer olma potansiyeline sahiptirler.

Kireçtaşı ve jips gibi evaporitik kayalar, yağışlardan etkilenerek kimyasal olarak çözünüp ovala, polye yada dolin türü karstik yapılar ve yer altı mağaraları oluşabilir. Böyle durumlarda oto yol baraj gibi yapıların projelendirilmesi evresinde ayrıntılı arazi çalışması yapılmalıdır.

İnce taneli kırıntılı çökel kayalar, özellikle kiltaşı, silttaşı, çamurtaşı ve şeyl zayıf kayalar olup, bu kayalar ön çalışmalarda çeşitli testlerle ayrıntılı incelenmelidir. Çökel kayalarda katmanlanma önemli bir süreksizlik olup, süreksizliğin de yamaçlarla olan ilişkileri özenle ele alınmalıdır.

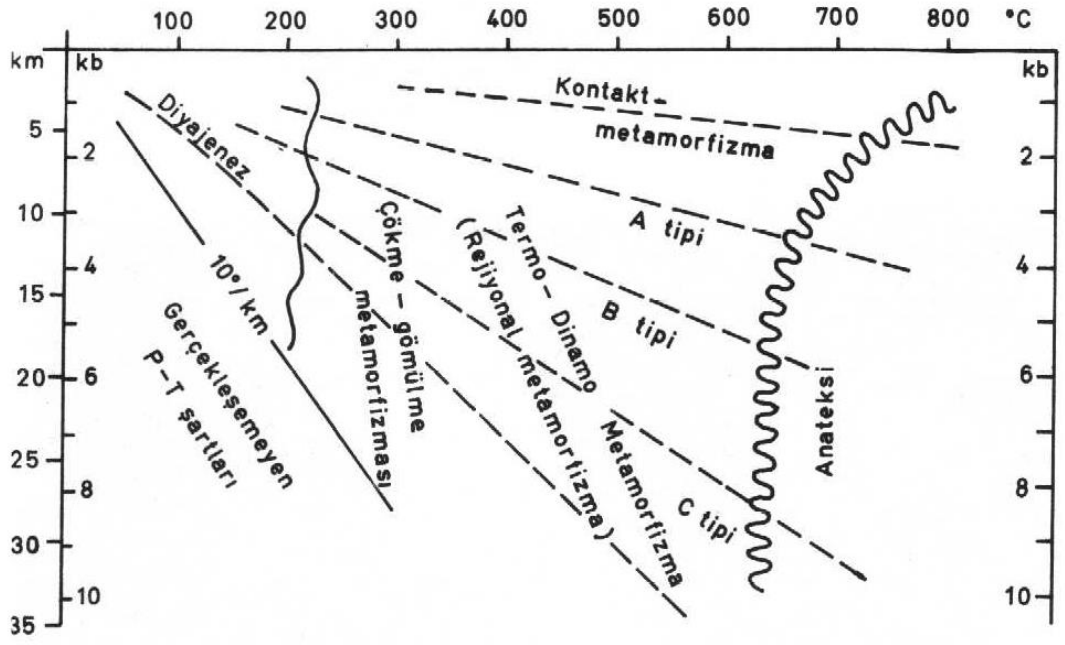
Metamorfik kayalar

Çökel ya da magmatik kayaların sıcaklık, basınç (gerilme ve deformasyon) ve kimyasal etkinliği olan eriyiklerin etkisi ile değişime ve başkalaşıma uğramaları sonucu meydana gelirler. Genellikle kristallerden oluşmuş, yapraklanmalı (folyasyonlu ya da şistoziteli) kayalardır.

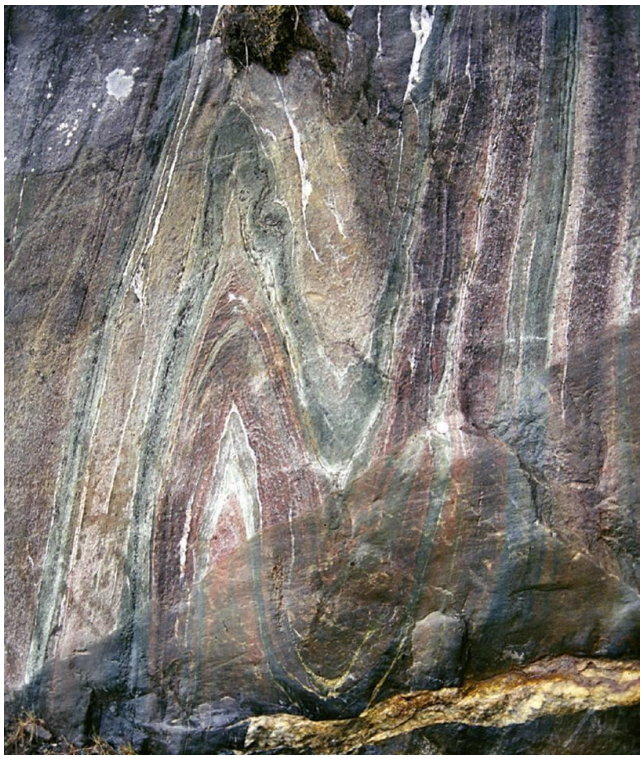
Metamorfizma, yerkabuğunun derinliklerinde gelişen fiziksel ve kimyasal koşulların etkisiyle kayalarda katı halde oluşan mineral değişikliği ya da mineral dönüşümü (transformasyonu) olayıdır.

Metamorfizma olayı bir magma kütlesinin çevresinde oluştuğu zaman kontakt metamorfizmadan, bir fay boyunca oluştuğunda kataklastik metamorfizmadan, dağ oluşumuna eşlik ederek oluştuğunda bölgesel (rejyonal) termo-dinamo metamorfizmadan sözedilir.

Büyük havzaların dip kısımlarının yavaş yavaş çökmesiyle oluşan metamorfizmaya da gömülme metamorfizması denir (Şekil 12). Bu çerçevede ileri düzeyde bir metamorfizmanın ürünü olarak eklojit kıvrımları da meydana gelir (Şekil 13).



Şekil 12. Basınç ve sıcaklık ve yeryüzünden derine inildikçe değişen koşullara bağlı olarak oluşan metamorfizma türleri (Winkler, 1967).



Şekil 13. Eklojit kıvrımları, Nordfjord, Norveç (www.geologypage.com).

Her metamorfik kayanın başlangıç ya da bir köken kayası vardır (Çizelge 7). Ayrıca mineral içeriklerine göre metamorfik kayalar da adlandırılmaktadır (Şekil 14 ve 15).

Çizelge 7. Metamorfik kayaların başlıca örnekleri ve başlangıç kayaları (Gılluly ve diğerleri, 1968).

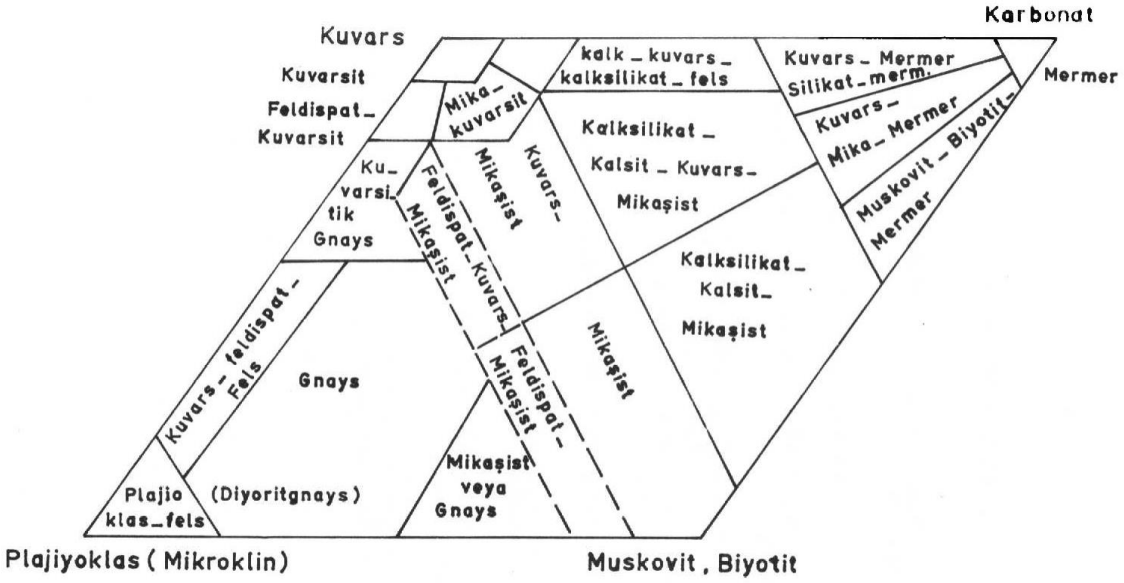
	Metamorfik kaya Adı	**Başlangıç kayası (Ana kaya)**	**Kayanın içerdiği başlıca mineraller**
İYİ GELİŞMİŞ YAPRAKLANMALI	Sleyt ve fillit	Şeyl, tüf	Mika, kuvars
	Klorit şist	Bazalt, andezit, tüf	Klorit, plajiyoklas, epidot
	Mika şist	Şeyl, tüf, riyolit	Muskovit, kuvars, biyotit
	Amfibol şist	Bazalt, andezit, gabro ,tüf	Amfibol ,plajioklas
	Gnays	Granit,şeyl, diyorit riyolit mikaşist	Feldispat, kuvars, mika, amfibol, granat
	Migmatit	Magmatik ve metamorfik kaya karışımı	Feldispat,amfibol, kuvars, biyotit
TANELİ VE HAFİF YAPRAKLANMALI	Hornfels	İnce taneli herhangi bir kaya	Çok değişik
	Kuvarsit	Kumtaşı	Kuvars
	Mermer	Kireçtaşı, dolomit	Kalsit
	Taktit(skarn)	Kireçtaşı ya da Dolomit ve Magmatik girişim	Kalsit, Ca-Mg-silikatlar Fe-Ca-Mg-silikatlar (Granat,epidot, piroksen, amfibol)
	Amfibolit	Bazalt, gabro, tüf	Hornblend ve plajiyoklas, az sayıda granat ve kuvars.
	Granülit	Şeyl, grovak ya da magmatik kayalar	Feldispat, piroksen, granat, kiyanit ve diğer silikatlar
	Eklojit	Bazalt, gabro+olivin (alt kabuk-üst manto malzemesi)	Omfasit (klinopiroksen) granat ± disten

Bazı metamorfik kayatürü örnekleri

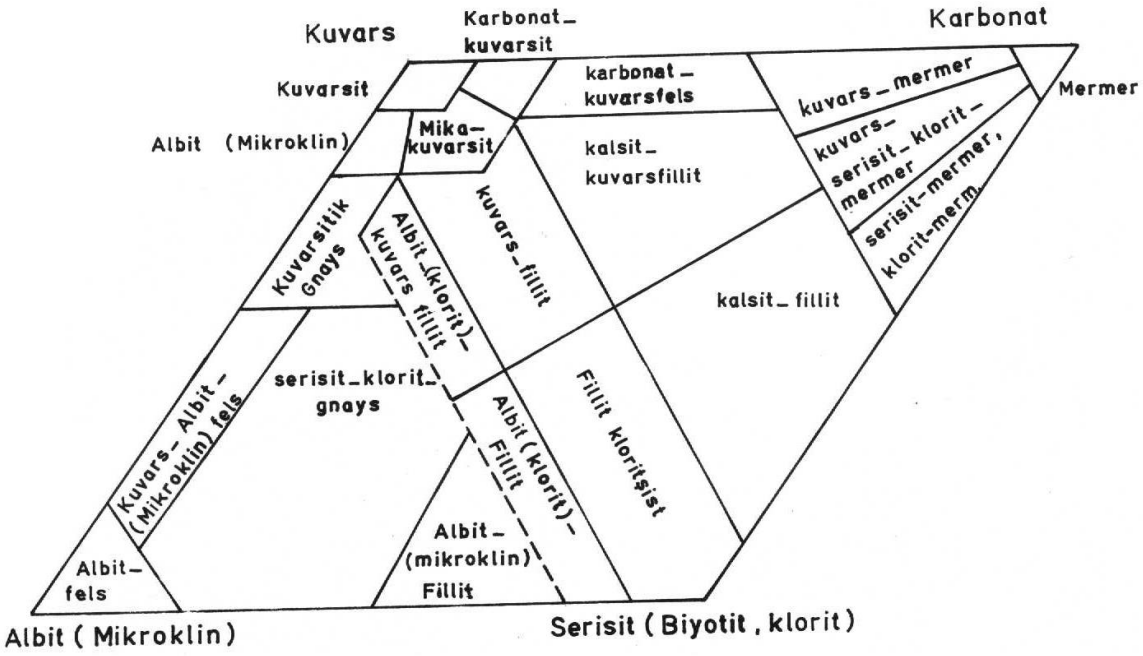
Başlangıç kayanın kimyasal-mineralojik bileşimine, metamorfizmanın türüne ve derecesine göre meydana gelen başlıca metamorfik kayatürleri tanımlanmıştır. Bunlardan en yaygın olanların temel özellikleri ise aşağıda sunulmuştur.

Sleyt, ince yapraklar halinde belirgin yapraklanması olan, bileşiminde en çok muskovit pulları bulunan, şeyllerden ve ince taneli, volkanik tüflerden oluşmuş ve çok hafif metamorfizma geçirmiş bir kayadır. "Arduvaz ya da çatıtaşı" olarak da adlandırılır.

Fillit, sleyte benzeyen, fakat ondan biraz daha ileri düzeyde değişikliğe uğramış ince taneli, kolaylıkla ince dilimlere ayrılabilen metamorfik bir kayadır. Bileşiminde en çok parlak serisit pulları ve biraz klorit ile kuvars bulunur. Normal olarak serizit ile klorit toplamı % 50'nin üzerindedir. Kuvars miktarı, serizit ve klorit toplamından daha fazla olursa, kayaya "kuvarsfillit" denir. % 5'den fazla diğer minerallerin bulunması halinde ise, bu minerallerin adları da kaya adına eklenir. Örneğin: Kloritoid-Klorit-Albit-Fillit; Flagopit-Kalsit-Fillit gibi. Sleytlerde olduğu gibi fillitlerin de kökeni (ana kayası) çoğunlukla şeyller ya da ince taneli tüflerdir.



Şekil 14.Yüksek sıcaklıklarda gelişen metamorfik kayaların başlıca örnekleri(Winkler, 1967).



Şekil 15. Düşük sıcaklıklarda gelişen metamorfik kayaların başlıca örnekleri (Winkler, 1967).

Şist, düzlemsel ve çizgisel paralelliği çok iyi gelişmiş (yapraklanması belirgin), oldukça şiddetli (ileri) derecede değişikliğe uğramış orta taneli bir kayadır. Bileşimine giren başlıca mineraller mikalar(biyotit, muskovit), klorit ve talk (tremolit) tır. Bunlar kayanın % 50'sinden fazlasını oluştururlar. Kayatürleri olarak, mikaşist (biyotit şist, muskovit şist), kloritşist, tremolitşist, talkşist ve yeşilşist en çok rastlanan örneklerdir. Yeşilşist'in özel bir durumu vardır, bileşimine serisit, epidot, klorit, albit gibi mineraller de girer. Eğer kuvars miktarı fillosilikatlardan daha fazla olursa, kayaya kuvars-mikaşist adı verilir. Mikaşistler % 20'ye kadar feldispat içerirler; %20'den fazla feldispatı bulunan metamorfik kayalara genellikle Gnays denirse de, mikaşist ile gnays arasındaki fark, bileşimden çok doku ile ilgilidir. Şistler çekiçle vurulduğunda kolaylıkla santimetre hattâ milimetre kalınlığında levhalara ayrılabilirler;

Gnays ise birkaç santimetre ya da desimetre kalınlığında levhalara veya prizmalara bölünürler. Ayrılma (bölünme), mika yüzeyleri boyunca gelişir. Gnays, orta ve iri taneli, iri kristalli, çoğunlukla açık renkli, kuvars ve feldispatlardan oluşan, ileri derecede değişikliğe uğramış metamorfik kayalardır. Mağmatik kayalardan (granit, diyorit, siyenit) türeyen gnays türüne ortognays, çökel kayalardan (grovak, şeyl, kiltaşı) meydana gelen ve kuvars-biyotit bakımından daha zengin olan türüne de paragnays adı verilir. İkincil minerallerin bulunması halinde, bu minerallerin de adları, fillitlerde olduğu gibi, kaya ismine eklenir. Örneğin: disten-staurolit-granat-biyotit-gnays gibi.

Amfibolit, Çoğunlukla hornblend ve plajiyoklaslardan oluşan ve ana kayası bazik magmatik, tüf ya da marn olan orta ve iri taneli kayalardır. Hornblend kristalleri şist (şistozite) düzlemleri üzerinde sıralanırlar. Kuvars çok az bulunur veya hiç bulunmaz.

Mermer, ufak ve iri taneli kalsit veya dolomit kristallerinden meydana gelmiş metamorfik bir kayadır. Bileşimine giren az sayıdaki minerallere göre isimlendirilir. Örneğin muskovit-biyotit mermer gibi.

Kuvarsit, % 80'den fazla kuvarstan oluşan taneli-kristalli bir kayadır. Kuvars taneleri birbiri içine girmiş durumda olup kayaya yüksek bir dayanıklılık verirler. Metamorfik olan bu tür kuvarsitleri metamorfik olmayan, diyajenez sonucu meydana gelen çökel kaya niteliğindeki kuvarsitten ayrılması gerekir. Bunlarda çimento maddesi genellikle kristalin değildir ve tanelerde girift bir durum yoktur.

Fels, özel bir kaya dokusu için kullanılan bir terimdir. Masif-yoğun bir görünümü yansıtır. Örneğin kuvars-albit-fels. kalksilikat-fels gibi.

Hornfels, paralel yapısı (yapraklanması) olmayan, kırıldığı zaman kolayca parçalanan, eşit boyutta ince tanelerden oluşmuş (grano-blastik), bazen iri kristaller içeren "boynuz" gibi sert bir kayadır. Kontakt metamorfizmaya uğramış killi kayalar ve grovaklar öncelikle bu tür bir doku gösterirler. Rejiyonal metamorfizmaya uğramış kayalarda da bazen bu dokuya rastlanır.

Metamorfizma geçirmiş oldukları halde, orijinal yapı ve dokuları tanınabilecek durumda olan magmatik ve sediment kayalara "meta" ön eki takılarak adlandırma yapılır. Örneğin, Metabazalt, metagrovak gibi. Bazen de "meta" eki başlangıç kayayı belirlemek için kullanılır. Örneğin, metadiyorit, metakuvarsit gibi. Magmatik ve tortul kayalarda olduğu gibi, metamorfik kayalarda da kantitatif olarak, kayaları oluşturan minerallerin % katılma oranları esas alınarak, bir sınıflama ve adlandırma denemesi yapılmıştır.

Sleyt ve gnays dayanımlılığı yüksek olan kayatürleridir. Bunlar inşaat sanayinde çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Şist ise kolayca ayrışan minerallerden yapılı ise zayıf bir kaya olarak kabul edilir. Özellikle şistin yapraklanması iyi gelişmişse ve yapraklanma yamaç dışına doğru ise duraysız ortam koşulları oluşur. Mermer de kireçtaşı gibi yağışlardan etkilenir ve karstik yapılar gelişir.

Metamorfik kayaların yapraklanma düzlemleri, önemli potansiyel süreksizlikleri temsil eder. Bu süreksizliklerin yamaç içine mi yoksa yamaç dışına mı yönelik oldukları mutlaka değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Akalan, İ., 1987. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 1058, Ders Kitabı 309: Ankara, 346s.

Barth, T.F.W., 1962. Theorotical Petrology, 2d. ed. Wiley New York.

Bayramgil, O., 1959. Petrografi, T.C. İstanbul Üniversitesi, sayı 819, Fen Fakültesi, no.23, İstanbul, 367s.

Botkin, D.B. ve Keller, E.A., 1995, Environmental Science: Earth As a Living Planet: John Willeyand sons, Inc., Newyork, USA, 627 s.

Bowen, N.L., 1922. The Reaction Principles in Petrogenesis. J. Geol., 30, 177-198.

Busbey, A.B., Coenroads, R.R., Roots, D. ve Wills, P., 1996, Rocks and fossils: How geology affects us: Collins Publ., UK, 288 s.

Çoğulu, E., 1973. Petrografi ve Petroloji, Cilt, 1, Magmatizma, İTÜ, Müh.-Mim. Fak. yayın no.94, İstanbul.

Erkan, Y., 1998. Magmatik Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, yayın no 28, Ankara, 204s.

Erkan, Y., 1998. Metamorfik Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, yayın no 40, Ankara, 183s.

Erkan, Y., 1998. Sedimanter Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, yayın no 44, Ankara, 135s.

Folk, L.R., 1968. Petrology of Sedimantary Rocks, Univ. of Texas, Department of Geology, 370K, USA, 383.

Gilluly-Waters-Woodford, 1968, Principles of Geology, 3th edition, Freeman.

Hamblin, W.K., 1982, The Earth Dynamic Systems, Third edition, Burgass Publishing Company, Minesota, USA, 529s.

https://evrimagaci.org/elementlerin-resimli-periyodik-tablosu-2753 (04 Eylül 2022).

Hurlbut, Jr. C.S., 1970. Dana's manual of minerology, 18.Baskı, John Wiley and Sons, Inc., Tokyo, Japan, 579 s.

Hyndman, D.W., 1972. Petrology of igneous and metamorphic rocks, McGraw-Hill Book Company, New York USA, 533s.

İlgüz, N., 1964. Tatbiki Optik Mineraloji, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi yayınları, Um. 100-Jeoloji.2, Kurtulmuş Matbaası, İstanbul, 194s.

Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.

Okay, A.C., 1967. Mineralbilim, Acar Matbaası, İstanbul, 342s.

Rittman-Tazieff, 1963. Les volcans et leur activite, Masson, Paris.

Streckeisen, A., 1973. Classification and nomenclature of Igneous Rocks, Neues Jahrb. Mineral. Ablandl., v.107, s.144-245.

Tek, Ö., 1996. Gözde bir metal: Titanyum. Bilim ve Teknik, TUBİTAK, 339, 50-53.

Winkler, H.G.F., 1967. Petrogenesis of Metamorphic Rocks, 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 237s.

Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 107, Sivas, 379s.

Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 110, Sivas, 275s.

Yılmaz, A., 2009a, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 116, Sivas, 276s.

Yılmaz, A., 2009b, Çevre Kaynakları: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 117, Sivas, 348s.

Bölüm 3-2. KAYALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

GENEL BİLGİLER

Bu alt bölümde çevre jeotekniğinin mühendislik çalışmalarındaki yeri ve önemi irdelendikten sonra, kaya birimlerinin mühendislik özellikleri sunulacaktır. Kaya birimlerinin temel özelliklerinin yanı sıra, bu birimlerin hidrojeolojik ve jeoteknik özellikleri birlikte tanımlanmadan, yani jeolojik ortam tanımlanmadan, herhangi bir faaliyetin jeolojik ortamdaki etkileri izlenemez. Bu çerçevede çevre jeotekniği'nin yerbilimleri ve mühendislik uygulamalarındaki yeri ve konumunu irdelemekte yarar vardır.

Yerkabuğunu oluşturan kayatürlerini ve yapıları ve yerkabuğunda gelişen olayları irdeleyen Jeoloji (Yerbilimi), 18. yüzyıldan sonra gelişmeye ve çeşitli dallara ayrılmaya başlamıştır. 1800'lerden sonra yeryuvarını etkileyen olaylar ve bu olayları anlamamızı sağlayan öğeler ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu çerçevede iç ve dış olayları irdeleyen ***Dinamik Jeoloji***, kayaları irdeleyen ***Petrografi*** ve ***Petroloji***, mineralleri irdeleyen ***Mineraloji***, eski canlı kalıntılarını, yani fosilleri irdeleyen ***Paleontoloji***, katmanları ve katmanlar arasındaki ilişkileri irdeleyen ***Stratigrafi***, katmanların ve yapısal unsurların konumunu ve ilişkilerini irdeleyen ***Yapısal Jeoloji*** ve ***Tektonik*** gibi jeolojinin temel dalları doğmuştur. Öte yandan yerkabuğunu oluşturan gereçlere ve bunlardan yararlanmaya karşı ilgi de artmıştır. Böylece jeolojiden yararlanma yolları da araştırılmaya başlanmış ve Uygulamalı Jeoloji' nin kolları doğmuştur.

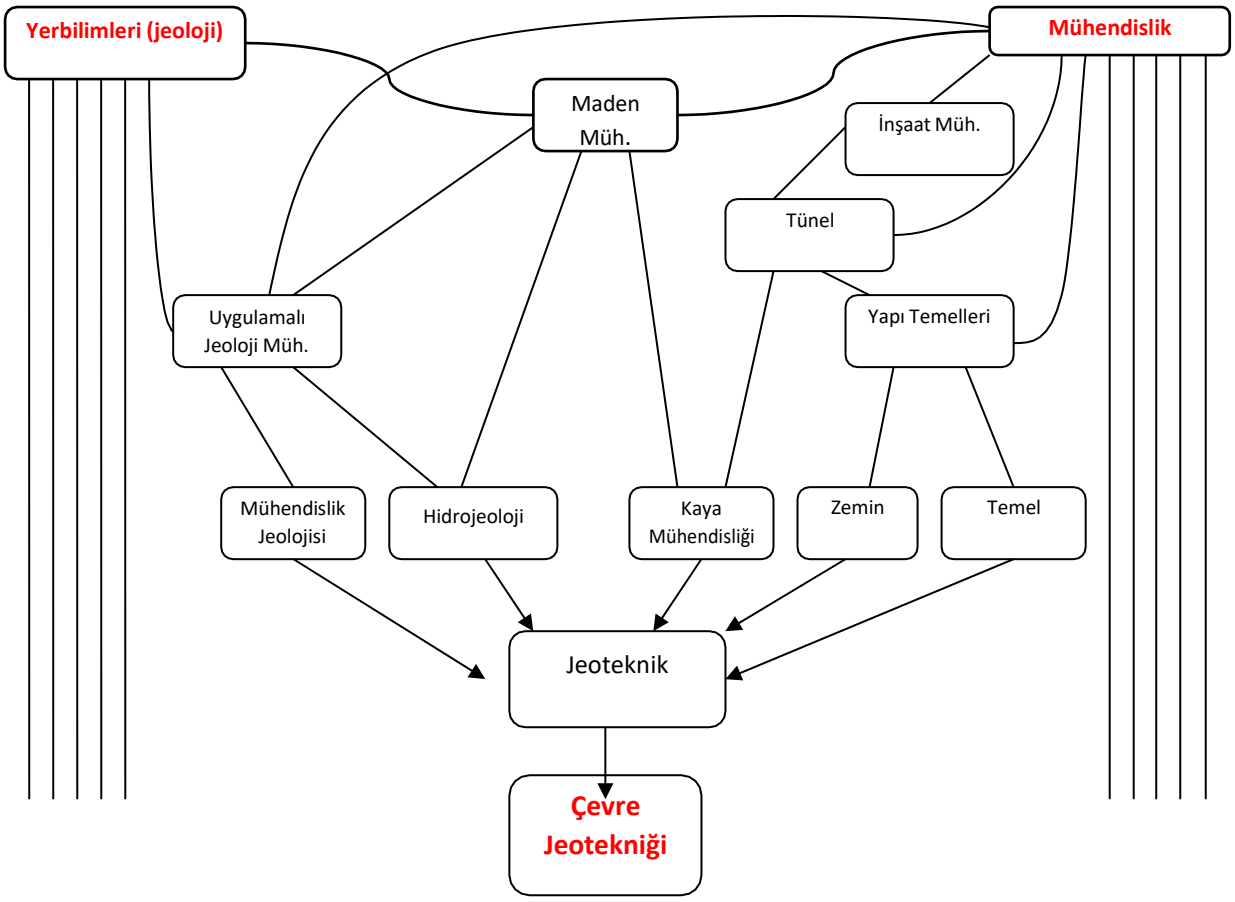
Günümüzde uygulamalı jeolojinin ana dalı, ***Mühendislik Jeolojisi*** olarak kabul edilmektedir. Mühendislik, çizmek, ölçmek anlamına gelir. Başka bir deyişle mühendislik bilgilerin çizilerek, ölçülerek ve sayısal olarak irdelenmesi demektir. Mühendis ise çizen, ölçen uzmanı tanımlar. Yani mühendis, bir hesap adamıdır. Mühendislik jeolojisi, jeolojik verilerin sayısal olarak belirlenmesi ve mühendislik işlerine uygulanması olarak tanımlanabilir. Burada esas amaç, mühendisler için gerekli olan ve onların hesaplarına ve çizimlerine temel olabilecek jeolojik bilgileri şekil, harita, kesit ve sayılarla vermektir. Bu bilgileri sunan kimse ise Jeoloji Mühendisidir.

Ayrıca çeşitli madenlerin araştırılıp bulunması ve çeşitli amaçlarla kullanılmasını irdeleyen ***Maden Jeolojisi***, petrolün araştırılmasını irdeleyen ***Petrol Jeolojisi***, çevre sorunlarının çözümüne ışık tutan ***Çevre Jeolojisi***, yerkabuğunun ve zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini ve bu özelliklerin temel sistemlerine ve ilgili projelendirmelerine etkilerini irdeleyen ***Zemin Mekaniği*** gibi dallar doğmuştur. Zemin, kayaların fiziksel ve kimyasal yolla ayrışması sonucu oluşmuş, organik ve inorganik gereçler kapsayan sıkışmamış ve pekişmemiş yığışımlarla temsil edilir. Zemin mekaniği, zeminle ilgili sorunlara mekanik ve hidrolik yasalarının uygulandığı ilgi alanıdır.

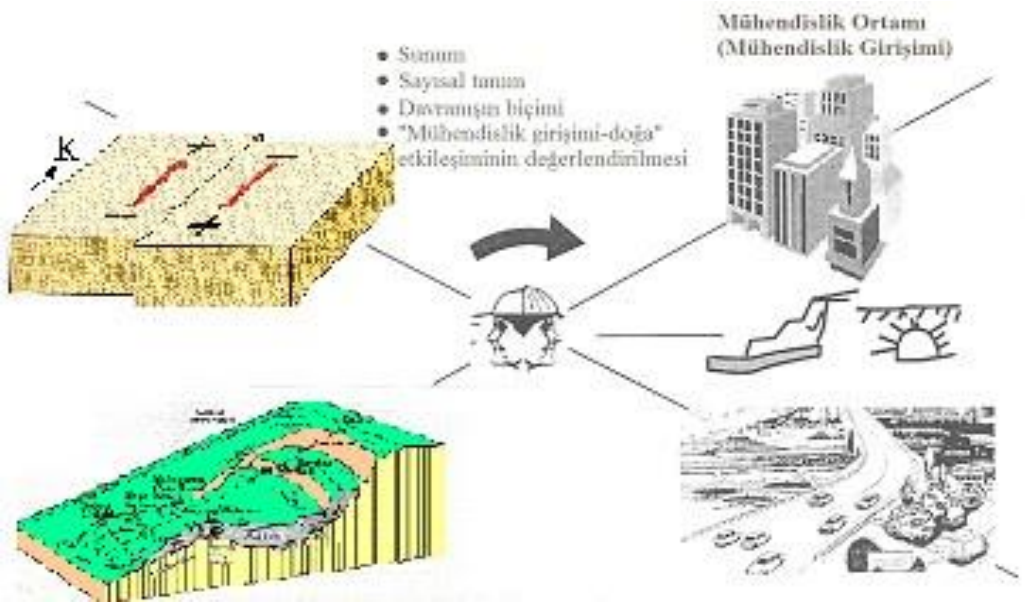
1950'lerden sonra kayaların çeşitli deformasyon biçimlerine karşı davranışları incelenmiş ve fiziksel ve mekanik koşulların sert ve sağlam kayalar ile yumuşak ve ayrışmış zeminlerde belirgin farklılıklar gösterdiği anlaşılmıştır. Bu gelişmeler, ***Zemin Mekaniği***'nin yanı sıra ***Kaya Mekaniği***, ***Jeoteknik***, ***Geoteknik*** adı altında çeşitli disiplinlerin de doğmasına yol açmıştır. Özellikle büyük yapılarda ortaya çıkan sorunlar çeşitli mühendislik dallarının ortak çabası ile çözümler üretmek üzere çaba gösterilmiştir. ***Jeoteknik***, jeoloji mühendislerinin, ***Geoteknik*** ise inşaat mühendislerinin daha yaygın olarak kullanıldığı, birer disiplin olup özünde aynı amaca hizmet ederler.

"***Çevre Jeotekniği***" ise jeoloji ve inşaat işlerinde ortaya koyulan Geoteknik ve Jeoteknik birikimlerden yararlanarak çevreye uyumlu yapıların tasarımına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak, çevre jeotekniği tasarımı, yeni çevre sorunlarını yaratmadan, daha güzel bir çevrenin yaratılmasına katkıda bulunmaktadır.

Yerbilimleri (jeoloji) ile mühendislik alanları arasındaki ilişkiler Şekil 1'de görülmektedir. Bu bağlamda jeotekniğin, dolayısıyla çevre jeotekniğinin, mühendislik çatısı altında çok disiplinli bir konumda yer aldığı ve çevre jeotekniğinin çeşitli mühendislik dallarının katkısına gereksinimi olduğu açıkça görülür. Jeoloji mühendisliğinin mühendislik jeolojisi ve jeoteknik amaçlı uygulamalardaki işlevi ve bakış açısı Şekil 2' de somutlaştırılmıştır. Öz olarak, doğadaki jeolojik ortam tanımlanmadan mühendislik çalışmalarına başlanamayacağı söylenebilir.



Şekil 1, Çevre Jeotekniği'nin diğer ilgi alanlarına göre konumu (Magar, 1998; ve Ulusay, 2001'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 2, Jeoloji mühendisliğinin mühendislik jeolojisi –jeoteknik amaçlı uygulamalardaki işlevi / bakış açısı (Ulusay, 2001'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Yerbilimleri ve mühendislik

Yerbilimleri ile Mühendislik arasındaki ilişkiler yukarıda Şekil 1'de sunulmuştur. Jeoteknik ya da Geoteknik daha çok Jeoloji mühendisliği ile İnşaat mühendisliği arasında yer alır. Çevre jeotekniği ise bu birikimlerin çevreye yönelik yüzünü aydınlatır. Çevre mühendisliği de pedoloji, morfoloji ve bunlara beraber klimatoloji, topografya ve ekoloji gibi dallarla ilişkili konuları içeren yerbilimlerinin bir ürünüdür.

İnşaat mühendisliği ve jeoteknik

Jeoteknik, doğal tehlikelere karşı korunmak ve alt yapıların daha güvenli şekilde yapılandırılmasında çeşitli önlemlerin yaşama geçirilmesine hizmet eder. Yapı mühendisliği, inşaat mühendisliğinin bir dalı olarak düşünülebilir. Yapı mühendisliği, yapıların analizinin tüm mühendislik alanlarına uygulanmasına olanak sağlar. Çevre jeotekniği ise daha çok yapıların çevre ile olan uyumu üzerinde yoğunlaşır.

Yapıların yer aldığı alan, yani yapıların üzerinde yer aldığı, içine gömüldüğü, üzerine oturduğu alan, kaya ya da topraktan oluşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında yüzey ve yeraltı suları da yerin bir parçasıdır. Jeoteknik, doğa ile insan faaliyetleri arasında bir ara yüzeyi inceler. Genel olarak yollar, demiryolları, tüneller, barajlar, köprüler, hava alanları, toprak setler ve deponi alanları gibi yapılar doğa ile denge içinde olmalıdır. Eğer bu yapılar doğa ile denge içinde olmaz ise bu yapıların uzun süre kullanılmaları işletme ve varlıklarını sürdürmeleri oldukça büyük harcamalar gerektirir. Tüm yapılar, doğa ile uyum içinde olmalıdır. Bu dengenin anahtarı da jeotekniktir.

Jeoteknik, jeolojik süreçleri doğal ve yapay ortamları ve tüm teknik analizleri içerir. Geçmişte inşaat mühendislerinin doğa ile ilgili bilgisi doğrudan gözlemlere dayalıydı. Bu bilgi, daha çok köylüler, çobanlar ve avcılar gibi doğa ile yakın ilişki içindeki insanların bilgisine yakın düzeydeydi. Oysa günümüzde doğa ile ilgili bilgiler ve doğa ile insan etkileşimi çok daha yoğundur. Bu etkileşim, daha ayrıntılı bilimsel çalışmalar gerektirir. Doğanın inorganik yönünün anlaşılması ve buna ilişkin kuralların belirlenmesi eski anlayışların terk edilmesini gerektirmektedir.

Gerçekten tüm yapılar, doğa ile uyumlu olmalı ve yapıların bir sanat eseri gibi doğa ile uyum içinde olmasına özen gösterilmelidir. Bu denge olabildiğince doğal gereçlerin yapıda kullanılmasından etkilenmemelidir. Roma imparatorluğu döneminde yapılan yollara bugün bile hayranlık duyulmaktadır. Bunlar, hem güzergâh seçimi, hem de yol yapısı açısından oldukça beğenilmektedir. Eski Yunan uygarlığında ise doğa ile yapılara daha az dikkat edilmiştir. Örneğin bu dönemde Balkanlar'da ve Anadolu'da ormanların talan edilmesi, verimli toprakların aşınması ve taşınması ile sonuçlanmış, bu da Anadolu'da kurak bir iklimin yanı sıra karstik yapıların gelişmesine yol açmıştır.

Toplumun öğrenme süreci bir fıkra ile vurgulanmaktadır: " İyi bir uzman ile kötü bir uzman arasındaki fark nedir? İyi bir uzman hatayı bir defa yapar, daha sonra ancak başka bir hata yapar. Kötü uzman ise aynı hatayı defalarca yapar." Bazen insanlar önünü göremeyebilir. Mühendislerin de bu konuda yapacağı pek fazla bir şey yoktur. Örneğin, bir mağara insanı, mağarada ailesini ve çocuklarını soğuktan korumak için ısıtma sistemini kullanamaması nedeniyle suçlanamaz. Çünkü o dönemde mağara insanı, ateş ve suyun ısıtma amacıyla kullanılması konusunda bir bilgiye sahip değildi.

Zemin/kaya mekaniği, jeoteknik, yeraltı mühendisliği, çevre jeotekniği

Jeotekniğin kurucuları, mühendislik uygulamasına sahip jeologlar ve jeoloji yeterliliği olan mühendislerdir. Yukarıdaki başlıkta sunulan alanlar, genel olarak farklı amaçlara hizmet ederler. Jeoteknik terimi bu alanların tümünü içeren bir terim olarak kullanılır. Jeoteknik, özü itibarıyla jeoloji ve mühendisliğin ara kesitinde gelişen bir alan olarak ortaya çıkmıştır. Bu alan önceki konularda sunulduğu gibi alt bölümlere de ayrılabilir.

Kaya mekaniği, doğal gereçlerin çeşitli koşullarda yapısal kapasitesine ilişkin sınırları belirlemeyi amaçlar. Bu konudaki anahtar sözcüklerin bazıları; duraylılık (stability), yapısal yenilme (structural failure), makaslama dayanımı (shear resistance), aktif (active) ve pasif (passive) Coulomb hali (coulomb state) ve yanal artık gerilme oranıdır.

Kaya mekaniği dayanımlı doğal gereçlerin incelenmesiyle geliştirilmiştir. Bu alan, madencilik ve klasik tünelcilik içinde boy vermiştir. Uzun süreli fiziksel-kimyasal süreçlerin analizi konusundaki anahtar sözcükler; suyun boşaltılması (dewatering), oturma (settlement), donma ile kabarma (frost

heave), pekişme (consolidation) ve kimyasal bozunmadır (corrositivity). Bu terimler, daha önceki terimlerle birlikte değerlendirilirse jeoteknik adı daha uygun olacaktır. Jeoteknik, yığışma (creep), kırık oluşumu (crack propagation), dayanımlılığı yitirme (fatigue), kırılma aralığı (brittle break) gibi anahtar sözcükleri de içeren kaya mekaniği alanını da içerir.

Zemin mekaniği, zemini geçirimsiz hale getirme(grouting), akaçlama (draining), derin yerlerde sıkıştırma (deep compaction), çivileme (nailling), jeotekstil (geotextile), jeogrid (geogrid), güçlendirilmiş zemin (reinforced earth), ince dilimlere ayırma (micropilling), titreşimle yüzdürme (vibro-flotation) gibi jeo gereçlerin doğal performansını etkileyen uygulamalar olup doğal gereçlerin tasarlanmış yapay gereçlere (çelik ya da beton gibi) dönüşmesine yönelik süreçleri içermektedir. Bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında zemin mühendisliğinin (ground engineering) bir ölçüde kaya mühendisliğiyle örtüştüğü görülmektedir.

Jeomekaniğin (yani kaya ve zemin mekaniğinin) ilkeleri hem doğal ve hem de insan yapısı zeminlere (çeşitli atık depolama gereçlerine) uyarlanabilir. Örneğin, ev atıklar ya da atık çamurların mekanik davranışları doğal gereçlerin davranışlarından farklı olmasına karşın benzer yöntemlerle ve uygulamalarla incelenebilir. Evsel, sanayi ve tehlikeli atıkların oluşturduğu dolguların yanı sıra, insanlar tarafından oluşturulan zeminlerin özellikleri incelenip tanımlanabilir.

Öncelikle zeminde ve yeraltı sularındaki duraysız kimyasal birleşiklere ilişkin süreçler ve biyolojik olarak aktif elementlerin etkileri belirlenebilir. Toprak içinde, suda ve havada birlikte bulunan doğal gereçlerin taşınma süreçleri tanımlanabilir. Soğurma (sorption), yayılma (diffusion), ve konveksiyon (convection) gibi süreçler, çeşitli kimyasal ve biyolojik unsurların taşınma süreçleri ile ilgilidir. Bu ilgi alanları, çevre jeotekniğinin gündemini oluşturmaktadır. Yani, çevre jeotekniği, hem doğal yer süreçlerini, hem de insan yapısı yapay süreçleri birlikte inceler (Brandl, 1995a). Sonuç olarak ***Çevre jeotekniği***, çevreyi ve halk sağlığını koruyan jeoteknik uygulamalarının yer aldığı bir ilgi alanıdır.

Bu tanımda, ***zemin***, yeryüzü ve yeraltındaki tüm birleşenleri (örneğin yer altı suyu dahil) içeren doğal ve insan yapısı tüm birimleri içermektedir. Ayrıca kimyasal, fiziksel, mekanik, hidrojeolojik, biyolojik ve diğer konulardaki ***dengeler***, günümüzdeki ya da gelecekteki doğal yaşam ve insan açısından son derece önemlidir.

Çevre, tüm döngüleri içeren duyarlı bir sistemdir. Örneğin 4 mevsim boyunca gelişen döngüsel değişimler ya da organizma türlerinin sistemli bir şekilde dönüşümü bir düzen içinde olmaktadır. İç ve dış süreçler, her zaman varsa da değişimin hızı, jeolojik zaman içinde değişmektedir. Örneğin metamorfizma son derece yavaş olmaktadır. Bir insan ömründe bu değişimler incelenemez. Doğal afetler, değişimlerin hızlı olduğu dönemlerdir. Yaşam, doğada gelişen döngüler içerisinde sürekli yenilenmektedir. Doğa, ortaya çıkan dengesizlikleri yeni bir dengeye kavuşturur. Bunun ardında başka bir yerde yeni bir dengesizlik oluşabilir. Doğal süreçler insan ve doğadaki yaşam için tehlikeli sonuçlar yaratabilir. Doğal süreçlerden korunmak için jeoteknik çalışmaların kazanımlarından yararlanmak gerekmektedir.

Çevre jeotekniği ve altyapı

Daha önceki çalışmalarda yer seçiminde jeolojik, hidrojeolojilk ve jeoteknik çalışmaların yapılması yeterli görülmekte idi. Ancak altyapı çalışmaları, çevrenin tüm unsurlarını etkilemektedir. Dolayısıyla günümüzde mühendislik yapılarının çevreye olan etkileri de gözetilerek yer seçimi yapılmaktadır. Altyapıya ilişkin bazı unsurlar daha önce çevrenin bileşenleri arasında düşünülmemişse bile, bunlar insanın çevresini etkileyen hususlardır.

Örneğin, toplumsal konular, ekonomi-maliyet, toprak, su, hava, ekolojik ortam, tarihi ve doğal değerler de çevrenin temel bileşenleri olup, bunlar her tür faaliyetten etkilenirler. Çevre jeotekniği eğitimini almış bir mühendis, görevini yaparken çevreye çeşitli açılardan bakmak zorundadır. Böyle bir mühendisin, altyapı açısından özellikle ilgilenmesi gereken çevrenin çeşitli unsurları aşağıda öz olarak sunulmuştur. Dikkat edilirse bu hususlar, alt yapı çalışmalarında faaliyetlerin çeşitli açılardan çevreye olan etkilerini belirlemektedir.

Toplumsal konular

Tüm yapılar, toplumsal bir bilinçle değerlendirilmelidir. Toplumun onayı ve desteği, inşaat başlamadan önce alınmalıdır. Faaliyet sırasında toplumun yaklaşımı değişebilir. Projeye karşı bir tavır da gelişebilir. Böyle bir durumda projenin yapımına ara verilebilir ya da tamamıyla terk edilebilir.

Örneğin, nükleer santraller, barajlara ilişkin tesisler, ya da karayollarının güzergâh seçimi gibi faaliyetler için, halkın onayı alınmalıdır. Çünkü halk bu gibi faaliyetlerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Atıkları uzaklaştırmak için gereksinim duyulan kaynaklar toplum için bir kayıp olarak görülebilir. Ancak, bu tür projelerin işsizlik açısından ve insan sağlığı açısından önemi özenle ortaya konulmalıdır. Böylece toplumun ikna edilmesi olanağı doğabilir. Toplumun onayını almadan gerçekleştirilen projelerin toplum yararına olsa bile kalıcı olması mümkün değildir.

Ekonomi-maliyet

Çoğu kez altyapı ile ilgili projelerde ön görülen mali kaynaklar aşılır. Proje harcamalarının aşılması ön görülmeyen koşulların ortaya çıkmasıyla ilgili olabilir (örneğin yeraltının iyi araştırılmaması), ya da öngörülen bütçenin altında da bir maliyet ortaya çıkabilir. Böyle bir durumda, harcanması gereken paranın bir kısmı tasarruf edilebilir. Tasarruf edilen bu para, öngörülmeyen diğer harcamalara kaydırılabilir. Mali sorunlar projenin askıya alınmasına ya da projenin durdurulmasıyla sonuçlanabilir. Her iki durumda da çevre açısından çok ya da az zararlı durumlar ortaya çıkabilir. Sonuç olarak, iyi tasarlanmamış ve planlanmamış bir proje çevrenin düzenlenmesinde gerekli işlevi yerine getirmeden tasfiye edilebilir.

Jeoloji ve toprak

İnşaat sırasında erozyon denetimi, jeoloji tarihi açısından önemli fosillerin korunması ve keşfedilen önemli jeolojik yapılar çoğu kez göz önüne alınmayan konularıdır. Kaya birimleri ya da inşaat alanındaki zemin, belli bir kimyasal bileşime (minerallere) sahiptir. Bu da yapıları etkileyebilir. Örneğin, böyle bir durumda zemin şişebilir. Toprak ya da kullanılan zemin ayrışabilir. Projede kullanılan gereçler çözülebilir ve sonuç olarak yeraltı su kirliliği oluşabilir.

Su kaynakları

Yeraltında bulunan yapılar, örneğin yönü değiştirilmiş akarsular, dereler ve gömülü yapılar yeraltı suyunun kalitesini, düzeyini ve miktarını etkileyebilir. Yeraltı suyunun inşaat öncesi akışı iyi incelenmelidir. Değişen yeraltı su tablası ve mevsimsel dalgalanmalardaki değişimler yapıları etkileyebilir (Örneğin bodrum katlarının su basması). Yeraltı su tablasının alçalması sonucu bitki örtüsü değişebilir. Yeraltı suyunun kimyasal bileşimi inşaat sırasında kullanılan ürünler dolayısıyla değişebilir ya da yapay zemindeki bazı zararlı gereçler nedeniyle zemin çözülebilir.

Hava kirliliği

Projenin gerçekleştirileceği alanın hava kalitesi, inşaat sırasında ortaya çıkan ve rüzgâr tarafından savrulan partikküller ve çalışma sırasında kullanılan araçların ortaya çıkardığı gazlardan etkilenir. Altyapıların tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında oluşacak hava kirliliği irdelenmelidir.

Gürültü ve titreşim

İnşaat sırasında uygulanan yöntemler nedeniyle gürültü ortaya çıkar. Ayrıca yeraltındaki ulaşım nedeniyle çeşitli araçların işleyişi sırasında çeşitli titreşimler de meydana gelir. Bazı sanayi tesislerinde oluşan gürültü ve titreşim, önemli bir kirletici kaynaktır. Bu kaynakta çevre açısından irdelenmesi gereken bir olgudur.

Trafik ve ulaşım

Yol güzergâhı boyunca yapılan çalışmalar sırasında ulaşımın engellenmemesi için çeşitli ara yollar yapılır ve trafik akışı buralardan sağlanır. Ulaşımın sağlandığı güzergâhlarda, kimi zaman kaygan zeminler oluşabilir. Bu da kazalara neden olabilir. Sonuç olarak yol güzergâhlarında yapılan çalışmalar, trafik yükünün ve güzergâhın değişmesine yol açmaktadır.

Tarihi ve arkeolojik değerler

Proje alanın tarihi incelendiğinde ya da inşaat sırasında tarihi değeri olan eserler ortaya çıkabilir. Bu tarihi değerler, ulusal açıdan son derece önemli kaynaklar olabilirler. Genellikle proje sırasında, bu konuda yeterli bilgisi olan uzmanların bilgisine başvurulur. Bu amaçla proje bütçesine bir miktar para konulur.

Görsel konular

Projenin gerçekleştirileceği alan ve çevresi insanların yaşamının bir parçası olacaktır. Bu nedenle proje yerinin ve yapının en uygun görünümünün mimarlar ya da peyzaj mimarları tarafından da değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Çirkin ve çevresine uyumu olmayan yapılar insanı mutsuz ettiği gibi, doğal ve güzel bir görünüm insanı mutlu eder. Dolayısıyla, yapılan projelerde görsel konulara da önem verilmelidir.

Enerji ve radyasyon

Nükleer atıklar için öngörülen bir deponi alanı dolayında sıcaklığın yükselmesi ve oluşan ısının çevredeki doğal kaynakların ve canlı yaşamın (bitkilerin ve hayvanların) üzerine etkisi son derece önemli bir sorundur. Soğutma üniteleri çalıştırılarak sıvı atıkların sıcaklığı düşürülebilir. Ancak bu suyun alıcı ortama verilmesi hususunda gerekli olan standartlara uyulmalıdır. Suyun yeraltına göç etmesi radyasyonun yayılmasına yol açabilir. Radyasyonla ilgili özel bir sorun da yerleşim birimlerinde ve araçların hareketi sırasında meydana gelen olumsuz etkilerdir. Buna göre çevrenin radyasyon ölçümleri yapılmalı ve bu konularda uyulması gereken standartlar gözetilmelidir.

Arazi kullanımı ve ekoloji

Altyapı faaliyetleri, arazi kullanımını değiştirebilir. Arazi kullanımının değişimi, komşu ekosistemlere etki edebilir. Örneğin bazı ülkeler sulak alanları korumak için gerekli yasalara sahiptirler. Bu yasalarla korunan yerler, diğer komşu ekosistemlerin korunmasına da katkı sağlar. Her zaman ekosistemin özel niteliklerine dikkat edilmelidir. Ayrıca üst toprağın da ekosistemin bir parçası olduğu unutulmamalıdır.

KAYA VE TOPRAK ZEMİNLERİN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ, LABORATUVAR VE ARAZİDE UYGULANAN DENEYLER

Arazi deneyleri ve laboratuvar deneylerine ilişkin öneriler ve sınırlamalar aşağıda sunulmuştur;

Arazide ve laboratuvarda deneyler yapmak üzere alınan örneklerle ilgili sınırlamalar:

(1) Örnekleme sırasında örselenme meydana gelir ve yerli yerinde (In-situ) gerilim durumu değişir. Ayrıca örneklerin laboratuvara taşınması sırasında örselenme olabilir. Dolayısıyla, olabildiğince örselenmemiş örneklerin alınması için çaba harcanmalıdır.

(2) Laboratuvar örnekleri küçük olup, deneylerde ölçeğin (yani alınan örneğin boyutunun) etkisi vardır. Bu çerçevede, örneğin çatlaklı killerde, çatlakların dayanıma etkisi ve ileri derecede eklemli kaya kütlelerinden temsil edici boyutta örnek alınamaması gibi güçlükler olabildiğince aşılmalıdır.

(3) Sınır koşulları: İlksel gerilim koşulları bozulan örnekler üzerinde, laboratuvarda arazi koşullarının sağlanması mümkün olamamaktadır. Dolayısıyla aşağıdaki gerekçelerden dolayı arazi deneyleri avantaj sağlamaktadır.
   (a) Daha büyük bir boyutta deney yapılarak ölçeğin etkisi dikkate alınabilmektedir.
   (b) Örselenme, laboratuvar deney örneklerindekine oranla daha azdır.
   (c) Yüzeyden itibaren istenilen derinliğe ulaşılabilir ve sürekli tanımlama yapılabilir.

Aşağıda, Ulusay (2001)'den yararlanarak hazırlanan bu bölümde, öncelikle zeminlerin başlıca jeomekanik özellikleri tanımlanmış, kaya ve toprak zeminlerde uygulanan arazi deneyleri, bunların uygulama alanları ve sınırlamaları çizelgeler halinde ve toprak zeminlerde yapılan jeoteknik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan önemli üç arazi deneyi ise özet olarak sunulmuştur.

Zeminlerin jeomekanik özellikleri

Kaya ve toprak zeminlerin sınıflandırılmasında jeomekanik özelliklerden yararlanılır. Zeminlerin jeomekanik özellikleri, temel özellikler, indeks özellikler ve mühendislik özellikleri olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Bu özelliklerden hangilerinin arazide ya da laboratuvarda belirlenebileceği Çizelge 1'de sunulmuştur. Bazı önemli özellikler ise aşağıda tanımlanmıştır.

Çizelge 1, Kaya ve toprak zeminlerin jeomekanik özellikleri.

	Laboratuvar Deneyleri		Arazi Deneyleri	
	Kaya	Toprak Zemin	Kaya	Toprak Zemin
Temel özellikler				
Özgül ağırlık	X	X		
Gözeneklilik (Porozite)	X	X		
Boşluk oranı		X		
Nem içeriği	X	X	X	X
Yoğunluk:	X	X	X	X
Doğal		X		X
Doygun		X		
Kuru		X		
Bağıl		X		X
Sertlik	X			
Dayanıklılık	X			
Reaktivite	X	X		
Sonik dalga özellikleri	X	X	X	X
İndeks özellikler				
Tane boyu dağılımı		X		
Likit limit		X		
Plastik limit		X		
Plastisite indeksi		X		
Büzülme limiti		X		
Büzülme limiti		X		
Organik madde içeriği		X		
Tek eksenli sıkışma dayanımı	X			
Nokta yükü dayanım indeksi	X			
Disk makaslama indeksi	X			
Diğer mühendislik özellikleri				
Geçirgenlik	X	X	X	X
Deformasyon modülü:				
Statik veya dinamik	X	X	X	X
Konsolidasyon		X		X
Genişleme	X	X	X	X
Uzama birim deformasyonu	X		X	
Dayanım:				
Tek eksenli	X	X		
Üç eksenli:				
Statik	X	X	X	X
Dinamik		X		
Kaliforniya taşıma oranı (CBR)		X		X

Temel özellikler

Bunlar başlıca özgül ağırlık, gözeneklilik, boşluk oranı, nem içeriği, yoğunluk, sertlik, dayanıklılık, reaktivite ve sonik dalga özellikleridir. Temel özellikler kapsamında irdelenen bazı terimlerin açıklamaları ise aşağıda sunuluştur.

Birim hacim ağırlığı (unit weight)_Bir kaya ya da zeminin birim hacminin ağırlığıdır (&=Ağırlık/Hacim ya da &=W/V). Birimi, gr/cm^3 ya da ton/m$^{3'}$ dür.

Özgül ağırlık (yoğunluk) Spesific gravity_ Belli bir sıcaklıktaki gereçlerin havadaki ağırlığının aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki saf suyun ağırlığına oranı.

Gözeneklilik (porosity) (%)_ Bir kaya ya da zemin kütlesindeki boşluk hacminin, o kaya yada zemin kütlesinin toplam hacmine oranının % olarak tanımlanması.

Su (nem) içeriği [Water (moisture) content] _Bir kaya ya da zeminin gözeneklerinde yer alan suyun ağırlığının, katı gerecin ağırlığına göre yüzdesi.

Doygunluk derecesi (%)_ Bir zeminin taşıdığı su hacminin boşluk hacmine oranıdır. Bu da zeminin hangi oranda su ile dolu olduğunu gösterir. Tümüyle su açısından doygun zeminler '1', tümüyle kuru zeminler '0' değerini alır.

Mühendislik çalışmalarında sıkça kullanılan bazı temel özelliklerin açıklamaları ise aşağıdadır:

Süreksizlik (discontinuity)_Bir kaya kütlesinde özelliklerin değişime uğradığı durumlarda ortaya çıkan yapılardır. Kırıklar, zayıflık düzlemleri, katmanlanma ve yapraklanma birer süreksizlik yüzeyini (discontinuity surface) temsil eder.

Bozunma (alteration) _ Kayaların fiziksel ayrışması

Günlenme (Weathering)_Kayaların kimyasal ayrışması

İndeks özellikler

Bunlar başlıca tane boyu dağılımı, likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, büzülme limiti, organik madde içeriği, tek eksenli sıkışma dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi gibi özelliklerdir. Bazı terimlerin açıklamaları aşağıdadır:

Likit: Maddenin sıvı hali, yani ne katı nede gaz halinde olmayan maddedir.

Likit limit LL (%): Likit limit deneyiyle belirlenen ve bir toprak zeminin plastik halden akışkan (sıvı) hale geçtiği andaki su içeriği

Likidlik indeksi LI(%): Bir toprak zeminin doğal su içeriği ile plastik limiti arasındaki farkın zeminin plastisite indeksine oranı

$$LI = \frac{(W-PL)}{PI}$$

(W-wet=Doğal nem/Su içeriği)

Plastik limit: Plastik limit deneylerle belirlenen ve bir toprak zeminin çok fazla kurumasıyla plastik hale geçtiği andaki su içeriği

Plastisite: Sabit bir gerilim altındaki bir cisimde deformasyonun belirsiz olarak devam etmesi özelliği

Plastisite indeksi PI(%) : Likit limit (LL) ile Plastik limit (PL) arasındaki fark; PI (%)=LL-PL

Diğer mühendislik özellikleri

Bunlar da başlıca geçirgenlik, deformasyon modülü, konsolidasyon, genişleme/uzama birim deformasyonu, dayanım ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) gibi özelliklerdir. Bu özelliklerin bazılarına ilişkin açıklamalar ise aşağıda sunulmuştur.

Geçirgenlik (permeability) (k)- Bir kaya ya da zeminin sıvıları ya da gazları iletme niteliği

Geçirgenlik katsayısı (m/sn)- Birim hidrolik eğimde, standart sıcaklık (genellikle 20^{o}C) koşulları altında ve birim kesit alanda, çizgisel (laminer) akışla suyun boşalma hızıdır. Hidrolik eğim ise, bir akiferde belirli bir noktadaki su akışının birim uzaklık başına hidrolik yük azalmasıdır. Bu değerin boyutlandırılıp, geçirgenlik derecesinin belirlenmesinde yarar vardır.

Konsolidasyon (consolidation)_ Sıkıştırıcı yönündeki gerilimde kaydedilen artışla birlikte zemin kütlesinin hacmindeki dereceli azalma

Genişleme (dilatancy)_ Yükleme ya da deformasyon altında hacmin artması özelliği

Dayanım (strength) _ MPa (1 MPa = 10 kgf/cm^2) Herhangi bir yükleme altında bir malzemenin yenilmeye uğramaksızın karşı koyduğu en yüksek gerilim. Bu da zeminlere uygulanırken zeminlerin kohezyonlu yada kohezyonsuz durumuna göre sınıflandırılmaktadır.

CBR-Kaliforniya taşıma oranı (California bearing ratio) değeri (%)_ 19 cm^2 daire kesitli bir piston ile zemin kütlesinde 1,3 mm/dk'lık hızla penetrasyon sağlaması için birim alana uygulanması gereken kuvvetin, standart malzemede aynı penetrasyonun sağlanması için birim alana uygulanması gereken kuvvete oranıdır. Yolları kaplama tasarımında kaplama çalışmalarında tabanla ilgili mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bu testten yararlanılır.

Kıvamlılık (consistency): Bir zeminde deformasyona uğrama kolaylığı olarak tanımlanır. Bu da, bir zeminin likit limiti ile su içeriği arasındaki farkın, plastisite indeksine oranı olarak ifade edilir ve kıvamlılık indeksi (consistency index) aracılığıyla değerlendirilmektedir.

$$\text{Kıvamlılık indeksi: } (Ic) = \frac{(LL-W)}{PI}$$

Sıkışma (Compaction) indeksi: (Cc)=0.009(LL- 0.1), normal konsolidasyona (katılaşmaya) uğramış killerde, sıkışma indeksi (Cc) ile likit limit (LL)arasındaki ilişkidir. Konsolidasyon ise sıkıştırıcı yöndeki gerilimde kaydedilen artışla birlikte zemin kütlesinin hacmindeki dereceli azalma, yani sağlamlaşma anlamına gelmektedir. Zeminlerin dayanımlılıkları, kohezyonlu yada kıvamlılıklarıyla beraber etkilendikleri kuvvetlerin tek eksenli ya da üç eksenli olmalarına göre kgf/cm^2 ile değerlendirilip (1MPa= 1000kPa= 10kgf/cm^2 ya da 1 kPa = 10^{-2} kgf/cm^2) sınıflandırılırlar.

Güvenlik katsayısı: Bir yapının veya kazının ani yenilme durumuna karşı, duraylılığını yansıtan boyutsuz göstergedir. Zemin üzerinde yapının ağırlığından kaynaklanan basınç, toplam temel basınç olup (q), net temel basınç $q_n = q - \gamma D_f$ eşitliği ile belirlenir; q_{nf} ise net nihai taşıma gücüdür.

$$GK = \frac{q_{nf} \text{ (zeminin net nihai taşıma gücü)}}{q_n \text{ (yapının net temel basıncı)}}$$

q (örtü yükü, plaka yükleme deneyi ile plakaya uygulanan yüktür)
γ (Birim hacim ağırlık)
Df (Temel derinliği)

Kaya ve toprak zeminler için seçilmiş dolaylı (indeks) ve esas özellikleri

Kaya ve toprak zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılan özellikler dolaylı (indeks) ve esas özellikler olarak da tasnif edilebilirler. Kaya ve toprak zeminlerin mühendislik jeolojisi haritalarında değerlendirilmeleri amacıyla seçilmiş dolaylı (indeks) ve esas (temel) özellikler (IAEG, 1979) ise Çizelge 2'de sunulmuştur.

Eşşekillilik/Üniformluk katsayısı (Coefficent of uniformity) (Cu): Tane boyu dağılım eğrisi üzerinden %60 ince malzeme boyutunun (D_{60}) aynı eğri üzerindeki %10 ince malzemenin boyutuna (D_{10}) oranı, yani $Cu = D_{60} / D_{10}$

Derecelenme katsayısı (Cg): $Cg = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$

Bu sınıflama da zemin türü birimlerini esas (temel) özellikler ve harita ölçeği açısından tanımlamak amacıyla da yapılmaktadır. Dolaylı özellikler, gereçlerin fiziksel özelliklerini temsil etmektedir. Esas özellikler ise kaya ve zeminlerin fiziksel davranışlarının değerlendirilmesinde gözetilen değişkenlerdir. Bu özelliklerin tanımlanmasında laboratuvarda ve arazide uygulanan deneyler Ulusay (2001) de ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Yapılacak deneyler sonucunda genel olarak Çizelge 2' de kayatürlerinin dolaylı indeks ve esas özellikleri ile zeminlerin türleri arasındaki ilişkiler görülmektedir.

Çizelge 2, Kaya ve toprak zeminler için seçilmiş dolaylı indeks ve esas özellikleri (IAEG, 1979).

Kayatürlerinin indeks ve esas özellikleri/ Zemin türleri		Sert ve yumuşak kayalar			Kohezyonsuz zeminler			Kohezyonlu zeminler		
	Özellikler	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Dolaylı (İndeks) Özellikler	Tane boyu					(S)	S	(S)	S	S
	Özgül ağırlık	(S)	(S)	S		(S)	S		S	S
	Birim hacim ağırlık*	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S
	Gözeneklilik*	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S
	Doğal nem içeriği		(S)	S					(S)	S
	Doygunluk derecesi				YK	S	S		S	S
	Plastik limit							(S)	S	S
	Likit limit							(S)	S	S
	Plastisite İndeksi							S	S	S
	Sonik hız*	(YKS)	S	S						
Esas Özellikler	Tek eksenli sıkışma dayanımı*	S	S	S					S	S
	Çekilme dayanımı*		(S)	S						
	İçsel sürtünme açısı*			(S)		(S)	S		S	S
	Kohezyon*			(S)					S	S
	Young modülü	S	S	S						
	Dinamik Young modülü	S	S	S						
	Poisson oranı*		(S)	S						
	Geçirgenlik katsayısı		(S)	S		S	S		S	S

Not: (a) I → Küçük; II → Orta; III → Büyük ölçekli haritalar. (b) S: Sayısal (kantitatif) veri; YK: Yarı kantitatif; YKS: Yarı kantitatif-sayısal; Parantez içindekiler, belirtilen harita ölçeği için zorunlu değildir. *Örselenmemiş örnekler üzerinde tayin edilir.

Ayrıca daha önce sunulamayan bazı özelliklerin tanımlamaları da aşağıdadır. Bu arada özellikle diri fay kuşaklarında yeraltı kazıları yapıldığında yöreyi etkileyen tektonik kuvvetlerin yerinde gerilmeler üzerindeki etkileri de değerlendirilmeye alınmalıdır.

Gerilme, birim alanı etkileyen vektörel kuvvettir. Yerinde gerilmeler, toprak zemin ya da kayaların farklı doğrultulardaki gerilmeler altında, değişik yönlerdeki deformasyonlarının belirlenmesi ilkelerine dayanır. Bunun için standartlara uygun olarak, temel ya da zeminlerin basınç dayanımı ve kayma parametrelerini yerinde belirlemek üzere arazide ya da laboratuarda çeşitli deneyler yapılır.

Bu amaçla başlıca standart Penetrasyon deneyi, Presiyometre deneyi, Kanatlı kesici deneyi ya da Plaka yükleme deneyi gibi uygulamaları yapılmaktadır. Ayrıca Kompresibilite (yada Bulk) modülü (K) ve Yer Basınç Katsayısı (K_0) belirlenir. Kompresibilite (ya da Bulk) modülü, hidrostatik gerilimler altında bir cismin hacminde meydana gelen değişimi tanımlayan parametredir. Basınç ise birim alanı etkileyen yüktür.

Önemli şekil-değişim modülleri, elastisite modülü ve Poisson oranı ile ifade edilmektedir. Elastisite (elasticity) herhangi bir cismin üzerinde uygulanmakta olan yük kaldırıldığı zaman o cismin

orijinal şeklini kazanması özelliğidir. Elastisite (Young) modülü (E) ise söz konusu özelliğin boyutlandırılması olarak tanımlanır. Yani elastik sınırları içinde bir cisme uygulanan gerilimin birim deformasyona oranı olup, mekanik anlamda cisimlerin katılığının ya da sertliğinin bir göstergesidir.

Poisson Oranı (Poisson ratio); Bir cisme uygulanan gerilim yönüne dik yönde gelişen birim deformasyonun, uygulanan gerilim yönündeki birim deformasyona oranıdır.

Mühendislik parametreleri, kayatürleriyle ilgili dayanımlılık hakkında bir fikir verirler. Bu parametrelerin bilinmesi yer seçimini kolaylaştırır.

Önemli bazı deneylerden örnekler

Jeoteknik incelemelerde yaygın olarak kullanılan arazi deneyleri Standart penetrasyon deneyi (SPT), Kanatlı kesici deneyi ve Plaka yükleme deneyidir.

SPT, sondaj tijlerine takılmış, ortasından ikiye ayrılabilen yarık ve içinde pirinçten yapılmış bir iç tüpün bulunduğu örnekleyicinin 63.5 kg ağırlığında bir şamandıranın 760 mm yükseklikten tijlerin üzerine düşürülerek zemine sokulması ilkesine dayanır. Bu deneyin sonuçları, bir temelin taşıma gücünü, oturma miktarını ve sıvılaşma potansiyelini belirlemede kullanılır.

SPT'ye ilişkin zeminlerin tanımlanmasına dair deneylerin standartlara uygun şekilde yapılması gerekmektedir. SPT-N düzeltmeleri de mutlaka yapılmalıdır. Bina Deprem Yönetmeliğine uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu (JMO, 2021) geliştirilmiş ve SPT-N düzeltmesi Çizelge 3'de görülmektedir

Çizelge 3. 2018 tarihli *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine* uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu (JMO, 2021).

TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI	SPT-N DÜZELTMESİ						
PROJENİN ADI :	ABC						
Pafta No :	A	Koordinatlar :		X	Y	Kot	Datum
Ada / Parsel No :	B			123456,2	12345,3	525,0m	WGS 84
Sondaj Kuyu No :	SK-1	Kuyu Derinliği :	20,00m	Yeraltı Suyu Seviyesi :		1,00m	☐ Yeraltı Suyu Yok
DÜZELTME FAKTÖRLERİ [Veri girişi ve seçimi yapınız]	Numune Alıcı Tipi :	Standart (iç tüpü olan)		Enerji Oranı (%) :	☐ Ölçüm Yapıldı ☑ Tahmin Edildi	60	
	Sondaj Delgi Çapı :	Çap 65mm-115mm arasında		SPT Kılavuz Tij Boyu (Yerden) :		0,50m	
	Tokmak Tipi :	Güvenli tokmak		Hesaplama Metodu :		TBDY-2018'e uygundur	

Kanatlı kesici deneyi, bu deney, yumuşak ve duyarlı kohezyonlu zeminlere sokulan kanatlı kesicinin döndürülmesi ve zeminin kanatlara gösterdiği direncin ölçülmesi ilkesine dayanır. Yumuşak ve aşırı duraylı örselenmiş killerde makaslama dayanımının yerinde belirlenmesi amacıyla kullanılır.

Plaka yükleme deneyi, plaka çapları 30 cm ile 100 cm arasında olan ve geniş yüzeylerin işleme tabi tutulduğu bir deneydir. Yükleme aşamalı yapılır ve zemindeki oturma miktarı plakalara monte edilmiş mekanik göstergelerden okunur. Bu deney, zeminlerin taşıma gücü, oturma miktarı, elastisite modülü ve makaslama dayanımı hakkında bilgi verir.

KAYA VE TOPRAK ZEMİNLERİN TANIMLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI

Mühendislik uygulamalarında kaya ya da kayatürü, doğal süreçler sonucu oluşmuş geniş alanları kapsayan tüm oluşuklardır. Kaya zeminler ise, sıkı, dayanımlı ve katılaşmış gereçlerin oluşturduğu zeminlerdir. Toprak, gereçleri kayalardan türemiş yerin genel olarak yumuşak kısmına denir. Toprak zemin, yeryüzünün, organik gereçlerle katışık, ince ufalanmış kayalardan yapılı en üst katmanıdır. Bu bölüm, ağırlıklı olarak Ulusay(2001) ve Yılmaz'ın (2000, 2007)'ın çalışmalarından yararlanarak hazırlanmıştır.

Kaya ve toprak zeminlerin genel tanımlama ölçütleri

Kaya ve toprak zeminlerin tanımlanmasında benzer ölçütler uygulanır. Örneğin, zeminlerin adlandırılması renk, bozunma derecesi, doku ve yapı, süreksizlikler, ikincil özellikleri ve zeminin yerinde (in-situ) dayanımlılığı ve yapısı gözetilerek yapılmaktadır.

Renk, zeminin rengi kişisel gözlemlere göre yapılabildiği gibi Kaya Renk Kartı (Anonim, 1963) kullanılarak da yapılabilir. Kişisel gözlemlere göre renk tanımlanması yapılırken önce rengin açık ya da koyu, sonra gerekiyorsa ikincil renk ve sonra da ana renk belirtilerek yapılmalıdır. Örneğin açık kahverengi, ya da koyu sarımsı yeşil gibi…

Tane boyu, 5 mm' den büyük olanlar iri çakıl, 2-5 mm olanlar çakıl, $^1/_{16}$ – 2 mm arasında yer alanlar kum, $^1/_{16}$ mm' den daha ince olanlar ise sıra ile silt ve kil olarak adlandırılır. Elek analizi ile zeminler tane boylarına göre sınıflandırılmaktadır.

Bozunma derecesi, tanımlanmalı ve gerekiyorsa simgelerle gösterilmelidir. Örneğin taze (bozunmamış), az bozunmuş, orta derecede bozunmuş, çok bozunmuş ve tamamen bozunmuş gibi dereceler başlıca bozunma türleridir.

Doku ve yapı, bir kayayı oluşturan birleşenlerin genel düzenini tanımlamak için değerlendirilir. Çökel kayalarda katmanlanma ve laminalanma, magmatik kayalarda akma ve bantlanma, metamorfik kayalarda yapraklanma ve eklemler, düzlemsel yapıları temsil eder. Çökel kayalarda akıntı yapıları, magmatik ve metamorfik kayalarda minerallerin dizilimi önemli çizgisel yapılardır. Kayaları oluşturan taneler arasındaki ilişkiler, homojen, porfirik, yada afanitik gibi terimler ise dokuyu tanımlar.

Süreksizlikler, kaya kütlesinin yapı ve dokusundan ileri gelen ve kaya kütlesinin sürekli olmadığı herhangi bir yüzeyi, yani kırık yüzeylerini ve katmanlanma gibi zayıflık yüzeylerini içerir. Süreksizlik türü (çizgisel ya da düzlemsel) ve nitelikleri kayanın mühendislik özellikleri açısından önemlidir. Bazı nedenlerle süreksizlikler arasındaki uzaklık (süreksizlik aralığı), varsa dolgu türü, pürüzlülük ve dalgalılık, süreksizliğin yönelimi (oriyantasyonu) ve devamlılığı, süreksizlik seti (takımı) sayısı değerlendirilmelidir.

İkincil kayatürü özellikleri, kayayı oluşturan tanelerin biçimi, bileşimi, kayatürünün plastik ve likit limit aralıklarını tanımlar. Ayrıca zeminde herhangi bir organik maddenin varlığı halinde, tanımlamaya "organik" sözcüğü eklenir.

Zeminlerin yerinde (in-situ) dayanımlılığı ve yapısı, zeminin kohezyonlu ve kohezyonsuz olmasına göre değişmektedir. ***Kohezyon (cohesion),*** Kaya ya da zemini oluşturan tanelerin birbirine bağlanma yeteneği ya da normal gerilimin sıfır olduğu durumdaki makaslama direnci olarak tanımlanır. Basınç altında bulunmayan bir yüzey boyunca makaslamaya karşı bir gerecin karşı koyması, birbirine tutturulma ya da yapışma yeteneği, ya da herhangi bir cismin iki molekülü arasındaki çekim kuvveti olarak tanımlanır. Kohezyonlu zemin (cohesive soil), serbest durumda iken oldukça dayanıklı, suya doygun iken kohezyona sahip zeminlerdir. Kohezyonsuz zemin (cohesionless soil), serbest durumda iken çok az dayanıklı, suya doygun iken kohezyona sahip olmayan zeminlerdir.

Zeminlerin laboratuvarda sınıflandırılması

Mühendislik yapılarının yer alacağı zeminlerin mühendislik ilkeleri yönüyle sınıflandırılması zorunludur. Zeminlerin tanımlanması ve sınıflandırılması laboratuvar ya da arazide yapılabilir. Örneğin, toprak zeminler; laboratuvarda yapılan Atterberg limitleri tayini, elek ve hidrometre analizleri gibi deneylerle sağlıklı bir şekilde tanımlanır ve sınıflandırılırlar.

Çizelge 4'de, laboratuvar verileri ışığında zemin türünün tanımlaması, Çizelge 5'de, kohezyonlu zeminlerin sınıflanması, Çizelge 6'de ise, kohezyonsuz zeminlerin dayanım sınıflamasına ilişkin ölçütler sunulmuştur. Sonuç olarak, zeminlerin mühendislik çalışmalarında gereksinim duyulan temel özellikleri belirlendikten sonra adlandırılmalar gerekmektedir.

Çizelge 4. Zemin türünün tanımlanmasına ilişkin ölçütler.

Zeminin türü	Tanımlama ölçütleri	Tanımı
İnce taneli zeminler	Zeminin üzerinde işlem yapıldıkça dayanımı azalır	Çakıllı
	Genellikle kırıklı bir yapıya sahiptir	Bozunmuş
	Çok sayıda parçaya ayrılır	Fisürlü
	Fisür içermez	Fisürsüz
	Zemin tek tip gereçten meydana gelmiş	Tekdüze (Homojen)
	Çeşitli katmanlardan oluşmuş	Katmanlı
	İnce katmanlar halinde istiflenmiş	İnce katmanlı
İri taneli zeminler	Taneler zayıf, konsantrik katmanlanma gözleniyor	Bozunmuş
	Zemin tek tip malzemeden meydana gelmiş	Tekdüze (Homojen)
	Çeşitli katmanların istiflenmesinden oluşmuş	Katmanlı
	İnce katmanlar halinde istiflenmiş	İnce katmanlı
Turba	Bitki artıkları kolaylıkla fark edilebilir, yapı ve orijinal dayanım kendini korumuş, tane çapı < 1 mm ise, ince; tane çapı > 1 mm ise, iri şeklinde adlandırılır.	Lifli, ince ve iri
	Fark edilebilir bitki artıkları yoktur	Şekilsiz (Amorf) taneli

Çizelge 5. *Kohezyonlu zeminlerin dayanım sınıflanması* (*1 kPa = 10^{-2}kgf/cm^2).

Ölçüt	Dayanım Sınıfı simgesi	Yaklaşık tek eksenli sıkışma dayanımı	
		kgf/cm^2	* kPa
Çok yumuşak zemin- Elle kolayca yoğrulabilir ve ezilebilir ve belirgin ezilme izleri gösterir.	S1	> 0.4	> 40
Yumuşak zemin- Elle zor yoğurulur, Kolay ezilmez, hafif ezilme gösterir.	S2	0.4-0,8	40-80
Sıkı zemin- Elle yoğrulması çok zordur, tırnak batırılabilir, kürekle kazılması zordur.	S3	0,8-1.5	80-150
Sert zemin- Elle yoğurulamaz, kürekle kazılamaz, kazı için kazma gerekir,	S4	1,5-6,0	150-600
Çok sert zemin-Çok katı, kazma ile parçalanması güç, kazı için kompresörlü delici gerekir.	S5	6-10	600-1000

Çizelge 6. Kohezyonsuz zeminlerin dayanım sınıflaması

Tanım	Sınıf
Zemin örneği başparmakla zorlanınca aşınmaz veya elle zorlanınca kırılmaz	1. Çok iyi çimentolanmış
Başparmakla zorlanınca aşındırılabilir ve elle kırılabilir	2. Zayıf çimentolu
Kazma ile kazılabilir	3. Sıkı
Tırmıkla kazılabilir. Bu tür zeminde ağaç çivisi 50 mm derinliğe kolaylıkla girer.	4. Gevşek

Zeminlerin arazide sınıflandırılası için kullanılan ölçütler

Arazi çalışmaları sırasında laboratuvar deneyleri yapılamadığı için, zeminlerin doğruya en yakın şekilde arazide tanımlanabilmeleri amacıyla bazı gözlemlere ve basit arazi deneylerine başvurulabilir. Örneğin toprak zeminleri arazide belirleme ölçütleri, zemine ait birimlerin sallamaya dair tepkileri, kuru halde dayanımları ve plastisiteyi tanımlama ölçütleri tanımlanabilmektedir. Bu tanımlamalarla ilgili ölçütler ve bilgilere Ulusay (2001)' dan ya da Jeoloji Mühendisleri Odası'nın ajandalarından ulaşılabilir.

Örneğin, temiz ince kumlar hızlı, un gibi inorganik siltler ise sallamaya karşı orta-hızlı tepki gösterirler. Bir miktar zemin örneği alınarak içindeki 0.42 mm' den büyük taneler ayıklandıktan sonra, gerekiyorsa bir miktar su eklenerek, örnek kıvamlı ve 15 mm çapında bir top haline getirilebilir. Örnek kuruduktan sonra parmaklar arasında kırılmaya çalışılarak yaklaşık dayanım hakkında bir fikir edinilebilir.

Kavanoz deneyi

Bu deney ince taneli zeminlerdeki kum, silt ve kil yüzdeleri ile iri taneli zeminlerdeki çakıl, kum ve ince malzeme yüzdelerinin göreceli oranlarının yaklaşık olarak tayin edilmesi amacıyla yapılan basit bir deneydir. Deney, aşağıda sunulan aşamalar izlenerek gerçekleştirilir.

a) Bir cam kavanoz yaklaşık olarak yarısına kadar su ile doldurulur.
b) Arazide alınan örneğin yaklaşık 4 cm uzunluğundaki bir kısmı parmakla ufalanarak kavanoza konur.
c) Kavanoz kapatılarak 30 saniye kadar çalkalanır.
d) Kavanozdaki karışım dinlenmeye bırakılır. Kum boyutundaki taneler 20-30 saniyede silt ve kil boyutundakiler ise 50 dakika civarında dibe çöker. Farklı boyuttaki malzemenin göreceli oranları bunların göreceli hacimlerinden tahmin edilir.

Birleştirilmiş zemin sınıflaması

Genel olarak yukarıda sunulan bilgilerden yararlanılarak birleştirilmiş zemin sınıflaması ve plastisite abağı oluşturulmuştur (Çizelge 7). Sunulan abak, zeminlerin adlandırılmasında kullanılan temel özellikleri (tane boyu), grup simgeleri ve yapılan adlandırmaları içermektedir.

Bu sistemde G çakıl, S kum, M silt, C kil, W iyi derecelenme, Pt bataklık, O organik, L düşük plastisite, H yüksek plastisite, P kötü derecelenmeyi temsil etmektedir. Zeminlerin çoğu bu sistem çerçevesinde iki harfle tanımlanmaktadır. İki harf bir grup sembolü olarak kabul edilir.

Ayrıca, GM ve SM' nin alt grupları olan d ve u salt karayolları ve hava alanları içindir. LL < 28 ve PI < 6 ise "u" simgesi kullanılır. Aksi halde 'd' simgesi tercih edilir.

Tane boyu eğrisinden kum ve çakıl % leri, % 5- 12 arası bir sınır zonuna karşılık gelirse, iki komşu birimin özelliklerini gösteren simgeler birlikte yazılır.

ML-OH arasında yer alan zeminlerin kuru dayanımlılıkları, genleşme ve sağlamlık özellikleri de derecelendirilmiştir.

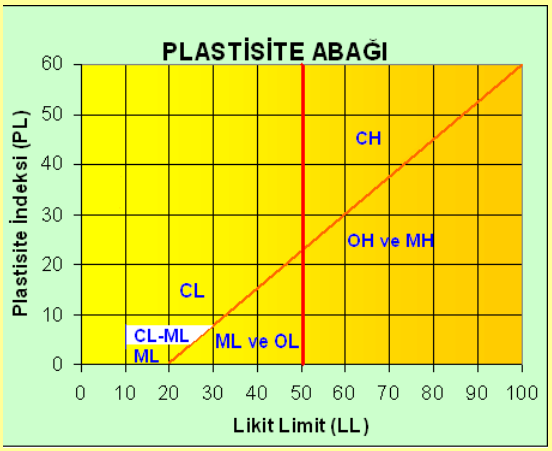
Araziden alınan örneklerin numarası, kotu, fiziksel özellikleri ve dayanımlılıkları ile ilgili değişkenler için projeye ve yerin özellikleri gözetilerek oluşturulmalıdır.

JEOTEKNİK AMAÇLI ÖRNEKLERİN ALINMASI, HARİTALANMASI VE VERİLERİN SUNUMU

Kaya ve toprak zeminlerin jeomekanik ya da jeoteknik özelliklerini belirlemek üzere yüzeylemelerden ya da yapılan sondajlardan örnekler alınır. Örnekleme sırasında ya da sonrasında özellikle yumuşak toprak zeminlerden alınan örnekler örselenmektedir. Örselenmiş örneklerden sağlanan bilgiler yeteri kadar sağlıklı bir yarar sağlayamamaktadır.

Dayanım, deformasyon ve konsolidasyon özellikleri, örselenmemiş örnekler üzerinde yapılmalıdır. Dolayısıyla örnek alma biçimi jeoteknik çalışmalarda belirleyici olmaktadır. Aşağıda örnek alma yöntemleri, sondajlarda örnek alınırken gözetilmesi gereken hususlar ve verilerin standart çizelgeler ya da şekiller halinde sunumuna ilişkin bazı pratik bilgiler sunulmuştur.

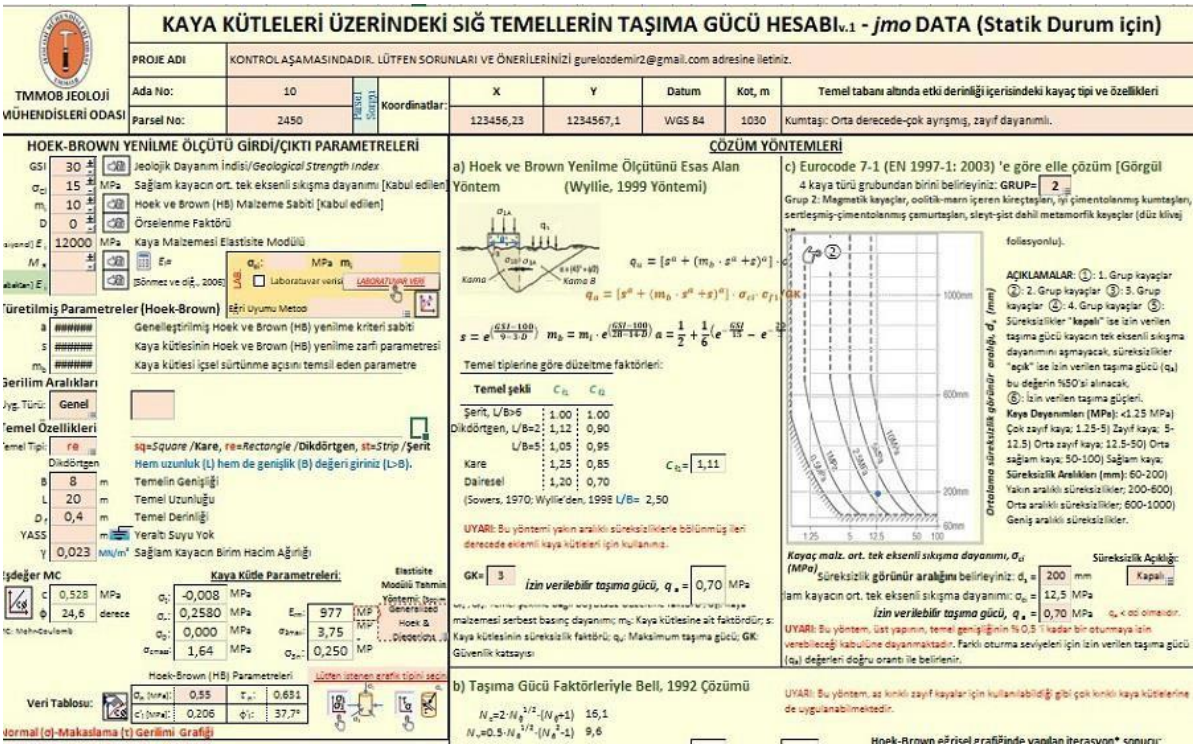
Çizelge 7. Birleştirilmiş zemin sınıflaması ve plastisite abağı (PI, Plastisite indeksi; Cu, Eşşekillilik (üniformite) katsayısı; Cg, Derecelenme katsayısı).

Ana bölümler			Grup simgeleri		Tipik adlandırma	Laboratuarda sınıflama ölçütleri	
İri taneli zeminler (Malzemenin yarıdan fazlası 200 no.lu elek açıklığından daha büyük)	Çakıllar (İri taneli malzemenin yarıdan fazlası 4no.lu elek açıklığından daha büyük)	Salt çakıl (ince malzeme çok az veya hiç yok)	GW		İyi derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımı, ince malzeme çok az olabilir	Tane boyu eğrisinden kum ve çakıl yüzdelerini hesaplayınız. İnce malzeme (<200 no.lu elek açıklığı) yüzdesine dayanarak, iri taneli zeminler aşağıdaki gibi sınıflandırılır. %5'den az ..... GW,GP, SW,SP %12'den fazla..... GW, GC, SM, SC %5-12 arası .....sınır zonundaki malzemedir.	$C_u = D_{60}/ D_{10} > 4$; $C_g = (D_{30})^2/ D_{10} \times D_{60}$ 1 ve 3 arası
			GP		Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımı, ince malzeme çok az olabilir		GW için gerekli derecelenme koşullarının hiçbirini karşılamaz.
		İnce malzemeli çakıl (önemli miktarda ince malzeme içeriyor)	GM	d	Siltli çakıl, çakıl-kum-silt karışımı		Atteberg limitleri"A" çizgisinin altında PI<4 / Atteberg limitleri "A" çizgisinin üstünde PI>7 — "A"çizgisinin üstünde ve PI 4 ve 7 arasında sınır zonunu oluşturur; (**)simgesinin kullanılmasıgerekir.
				u			
			GC		Killi çakıl, çakıl-kum-silt karışımı		$C_u = D_{60}/ D_{10} > 4$; $C_g = (D_{30})^2/ D_{10} \times D_{60}$ 1 ve 3 arası
	Kumlar (İri taneli malzemenin yarıdan fazlası 4no.lu elek açıklığından daha küçük)	Salt kum	SW		İyi derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az olabilir		SW için gerekli derecelenme koşullarının hiçbirini karşılamaz.
			SP		Kötü derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az olabilir		Atteberg limitleri "A" çizgisinin altında PI<4 / Atteberg limitleri "A" çizgisinin üstünde PI>7 — Taralı zon içinde ve PI 4 ile 7 arasında, sınır zonunu oluşturur; (**) simgesinin kullanılması gerekir.
		İnce malzemeli çakıl (önemli miktarda ince malzeme	SM	d	Siltli kum, kum-silt karışımı		
				u			
			SC		Killi kum, kum-kil karışımı		
İnce taneli zeminler (Malzemenin yarıdan fazlası 200 no.lu elek açıklığından daha düşük)	Siltler ve killer (Likit limit 50'nin altında)		ML		İnorganik silt ve çok ince kum, kaya unu, siltli ve killi ince kum, plastisitesi düşük killisilt		
			CL		Plastisitesi düşük veya orta inorganik kil, çakıllı kil, kumlu kil, siltli kil		
			OL		Organiksiltve plastisitesi düşük organik siltli kil		
	Siltler ve killer (likit limit 50'nin üstünde)		MH		İnorganiksilt,mikalı ve diyatomeli, ince kumlu ve siltlitoprak,elastik silt		
			CH		Plastisitesi yüksek inorganik kil, şişen kil		
	Organik zeminler		Pt		Turba ve oldukça organik diğer zeminler		

KAYA KÜTLELERİ ÜZERİNDEKİ SIĞ TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ HESAP CETVELİ PROGRAMI

Herhangi bir yapı için yer seçimi arayışı olduğunda mutlaka zeminlerin taşıma gücü irdelenmelidir. Bu konuda giderek daha ayrıntılı çalışmalar sürdürülmektedir. Örneğin, JMO Jeoteknik Komisyonu tarafından Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 ve Eurocode-7 Jeoteknik Tasarım Ve Genel İlkeler Standarttı ile uyumlu "Kaya Kütleleri Üzerindeki Sığ Temellerin Taşıma Gücü Hesap Cetveli Programı" geliştirilerek hizmete sunulmuştur (Çizelge 8).

Çizelge 8. Kaya kütleleri üzerindeki sığ temellerin taşıma hesabı cetveli (https://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=15147&tipi=17&sube=0&fbclid=IwAR0tEwg8oOKzxG4trqr7miNaBP_RXI5p-moq0Yq1KElLXmY7_WCU6hAXLvI).



Söz konusu hesap cetveli programının sınırlama ve kullanımına ilişkin uyarıları içeren ***"Kullanma Kılavuzu"*** ayrıntıları jmo.org sayfasından izlenebilir. Meslektaşlarımızın hesap cetvelini kullanmadan önce mutlaka kullanma kılavuzunu okumalarında yarar vardır.

Hazırlanan hesap cetveline ait telif hakları, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu gereğince TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odasına aittir. Hesap cetveli JMO logolu kullanılmak kaydıyla ücretsiz olarak herkesin kullanımına açıktır. Ancak JMO logosunun hesap cetvelinden çıkarılarak kullanılmasının belirlenmesi durumunda 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu gereğince ilgili kişi hakkında gerekli hukuki yollara başvurulabilir.

Örnek alma yöntemleri

Örselenmemiş örnek alımında yaygın olarak kullanılan yöntemler ve gereçler aşağıda sunulmuştur.

I. Deney ya da deneme çukurlarından blok örnek alınması
II. Zeminin içine itilen örnek alıcılar
    a. Açık tüpler
    b. Pistonlu örnek alıcılar
III. Dönel (rotary) sondajlarda kullanılan örnek alıcılar
    a. Karotiyerli
    b. Denison karotiyeri

IV. Kumlardan alınan örnekler
    a. Bishop kum örnekleyicisi
    b. Delft örnek alıcısı

Ülkemizde en çok blok örnek alma yöntemi ile açık tüplerde örnek alma yöntemi uygulanmaktadır.

Blok örnek alma yöntemi, önce zeminin örnek alınacak yeri hazırlanır, sonra blok örneklerin kenarı yaklaşık 30 cm olan bir küp şeklinde traşlanır ve örnek yüzeyleri örselenmeden korumak için parafinlenir. Hazırlanan örneği örselemeden ahşap bir kutuya koymak ve kutu kenarı ile ahşap arasındaki boşluğu parafinle doldurmak gerekmektedir. Böylece, taşıma sırasında örneklerin örselenmemesi ve nemini yitirmemesi sağlanır.

Açık tüplerle örnek alma yönteminde, 100 mm çaplı ve ucunda kesici pabucu olan kalın çeperli ya da ince çeperli tüpler kullanılır. Kalın çeperli tüpler, genellikle düşük kıvamlılığa sahip sıkı, kohezyonlu ve ince taneli zeminlerden örnek alınırken kullanılır. İnce çeperli tüpler ise örselenmeye karşı duyarlı ve kıvamlı zeminlerde tercih edilmektedir.

Örnekleme yönteminin seçimi, zeminin türüne, örselenme derecesine, örnek miktarına ve örneklerin kalitelerine (örselenme derecelerine) göre seçilmektedir. Alınan örnekler için, örnek tanıtım kartı doldurulur. Bu kartta projenin adı, örnek no, örnek yeri (gerekirse koordinatları), örneğin alındığı tarih, örneğin tanımı ve ne amaçla alındığına ilişkin bilgiler yer alır.

Jeoteknik amaçlı sondajlarda, veriler sondaj loglarına kaydedilir. Sondaj, mühendislik jeolojisi-jeoteknik veriler sağlamak amacıyla yapılmış ise ***jeoteknik log*** hazırlanır. Bu tür logların amacı, kaya ve toprak zeminlerin mühendislik özelliklerini, süreksizliklerle ilgili değişkenleri ve yeraltı suyu ile ilgili verileri sunmaktadır. Sondaj karotlarında jeoteknik amaçla, Alınan örneklerde toplam karot verimi, sağlam karot verimi, kaya kalitesi göstergesi (RQD), ve süreksizliklerle ilgili veriler irdelenir.

Toplam karot verimi (TKV)

$$TKV(\%) = \frac{\text{Bir ilerleme aralığında alınan karot parçalarının toplam uzunluğu}}{\text{İlerleme aralığının uzunluğu}}$$

Sağlam karot verimi (SKV)

$$SKV(\%) = \frac{\text{Bir ilerleme aralığında silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğu}}{\text{İlerleme aralığının uzunluğu}}$$

Kaya kalitesi göstergesi (RQD)

$$RQD\ (\%) = \frac{\text{Bir ilerleme aralığında boyu 10 cm ve 10 cm' den büyük olan karotların toplam uzunluğu}}{\text{İlerleme aralığının uzunluğu}}$$

Süreksizliklerle ilgili veriler ise, süreksizliklerin yönelimi ve devamlılık, pürüzlülük, açıklık, varsa dolgu türü, sızıntı nitelikleri, set sayısı gibi bilgilerden sağlanır.

Verilerin haritaya işlenmesi

Alınan örnekler öncelikle numaralandırılmalı ve bunların haritadaki yeri Coğrafi Bilgi Sistemleri çerçevesinde tanımlanıp işlenmelidir. Ayrıca örneğin hangi amaçla alındığını belirten simgeler haritanın açıklamalarında sunulmalıdır. Örneklerin tasnif edilerek haritaya işlenmesi yapılacak değerlendirmeleri kolaylaştırır.

Verilerin sunumu

Sonuç olarak, elde edilen jeolojik, hidrojeolojik ve mühendislik verilerini içeren dikme kesitler ve yapıyı ortaya koymak üzere enine kesitler proje özelinde sunulmalıdır. Bu veriler, arazi ya da laboratuvar deneylerinden, kimi zaman sondaj çalışmaları sırasında alınan örneklerin incelenmesiyle elde edilmektedir. Örneğin Çizelge 9' da sondajlı araştırma veri tutanağına ilişkin bir örnek görülmektedir. Ayrıca arazi kullanımları için kaya sondaj logu Çizelge 10' 'de, zemin sondaj logu Çizelge 11' da sunulmuştur.

Çizelge 9, Sondajlı araştırmalarda veri tutanağı örneği (Yılmazer ve diğerleri, 1999).

Kesiti Hazırlayan :
Firma adı :
Proje adı :
İşveren :

SONDAJ NO SK254500 (KM.254+500) KOORDİNAT-KOTU: (x:464 189; y:4 305 293; z:1090 m)		BAŞLANGIÇ TARİHİ 12.05.1999	BİTİŞ TARİHİ 13.05.1999
			SAYFA NO 1 / 2
DERİNLİĞİ, m 10	TOPRAK ZEMİN VERİ KÜTÜĞÜ		ADI SOYADI / İMZA
EĞİM/EĞİM YÖNÜ Düşey		MÜHENDİS	Gürsel KARAKUŞ
SONDAJ YÖNTEMİ Rotari		SONDÖR	Cemal YURUŞKAN
MAKİNA TİPİ ST 500		VERİYİ HAZIRLAYAN	Özgür YILMAZER
YAST durumu	Der., m >10 / Tarih / Saat / Açıklamalar	DENETLEYEN	Devrim ÖZKÖK
		ONAYLAYAN	Hüseyin GÖKÇEKUŞ

DERİNLİK, m	ÖRNEK NO	ÖRNEK DERİNLİĞİ, m	ÖRNEK TÜRÜ	MUH. BORUSU VE ÇİMENT.	SPT DENEYİ 15	30	45	SPT GRAFİĞİ "N" değeri	10	20	30	40	50	KA (JEOLOJİK BELİRTEÇ)	KAROT ÇAPI, mm	CR, %	RQD, %	BİRİM TANIMLAMASI	TABAKA DER., m	TABAKA KOTU, m	TABAKA KAL., m
0.5																		Koyu kahverenkli bitkisel toprak	0.5		0.5
1																					
1.5																					
2	1	1.95	SPT	var	5	10	12	22										Açık kahve renkli azkumlu KİL			3.0
2.5	2	2.45	SPT	var	7	10	13	23													
3	3	3.45	SPT	var	20	31	35	66											3.5		
3.5																					
4																		Açık kahverenkli andezit çakıllı az kumlu KİL			2.0
4.5																					
5																					
5.5	4	5.85	SPT	var	25	35	5/50	R											5.5		
6																		İnce taneli killi KUM			1.5
6.5																					
7	5	7.05	SPT	var	5/50			R											7.0		
7.5																		Ayrışmış (andezit ve tüf) tabaka (geçirimsiz)			

GEÇİRİMLİLİK (LUGEON)	ÖRNEK TÜRÜ	TOPRAK ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ			KAYA ZEMİN DEĞ.
<1 GEÇİRİMSİZ	SPT: STD. PENET.	İNCE TANELİ (Nt), -		İRİ TANELİ (Nt), -	RQD, %
1 - 5 AZ GEÇİRİMLİ	UD: ŞELBİ TÜP	<2 ÇOK YUMUŞAK	8-15 KATI	<4 ÇOK GEVŞEK	0 - 25 ÇOK ZAYIF
5 - 10 ORTA GEÇİRİMLİ	RC: KAROT ÖRN.	2-4 YUMUŞAK	15-30 ÇOK KATI	4-10 GEVŞEK	25 - 50 ZAYIF
10 - 25 GEÇİRİMLİ		4-8 ORTA KATI	>30 SERT	10-30 ORTA SIKI	50 - 75 ORTA
>25 ÇOK GEÇİRİMLİ				30-50 SIKI	75 - 90 İYİ
				>50 ÇOK SIKI	90 -100 ÇOK İYİ

Çizelge 10. Arazi kullanımı için kaya sondaj logu örneği, kaya kalite göstergesi (RQD) (Ulusay, 2001).

KAYA SONDAJ LOGU ARAZİ FORMU (JEOTEKNİK LOG) — SONDAJ NO: JT – 3

(KURULUŞUN ADI VE / VEYA AMBLEMİ) — SAYFA 1 / 3

PROJE	: ÖRNEK	EĞİM	: Dik	KOORDİNATLAR	:
LOKASYON	:	EĞİM YÖNÜ	: —	X	———
MAKİNA TİPİ	: Long Year-44	SAPMA	: —	Y	———
SONDAJ YÖNTEMİ	: Rotari (Dönel)	DERİNLİK	: 51.85 m	Z	———
KAROTİYER VE MATKAP	: 6.10 m'ye kadar NW, gerisi NQ;elmaslı	BAŞLAMA T.	: 7.5.1988	LOGLAYAN	
MUHAFAZA BORUSU DERİNLİĞİ	: 40 m	BİTİŞ T.	: 12.5.1988		

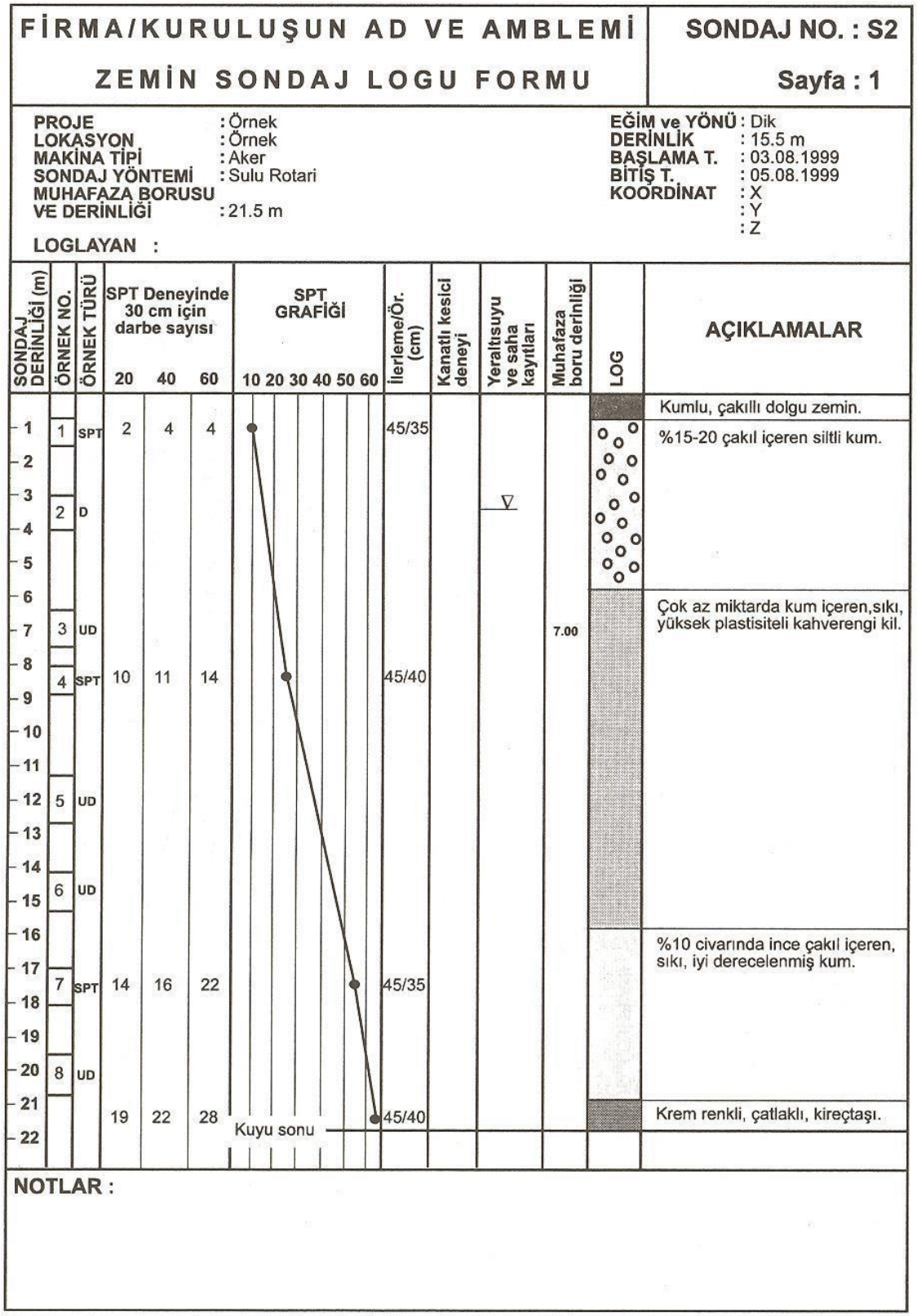
MANEVRA		KAROT VERİMİ				RQD		SÜREKSİZLİKLER													JEOTEKNİK TANIM	ÖRNEK NO.
BAŞI (m)	SONU (m)	TOPLAM		SAĞLAM (Silindirik Karot)		RQD İÇİN KAROT BOYU (m)	RQD (%)	TİP	ADET VE SIKLIK	EĞİM (α^0)	EĞİM YÖNÜ (*)	DOLGUNUN TİPİ KALINLIĞI VE DAYANIMI	PÜRÜZLÜLÜK	DALGALILIK	NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ (I_s (MPa))	DAYANIM İNDEKSİ	BOZUNMA DERECESİ	DOLAŞIM SUYU KAYBI (%)	SEMBOLİK LOG		
		m	(%)	m	(%)																	
45.75	48.80	2.90	95	2.75	90	2.10	6.9	J	6/2	30	120	Dolgusuz	2	2	–	R_4	W_2	25	XX ... XX ...	Pembe, az bozunmuş ANDEZİT, dayanıklı, az geçirgen	–
48.80	51.85	2.70	8.8	2.50	82	1.70	56	J	11/4	35	110	Kil < 1mm, S_3	2	2	–	R_3	W_3	10	XX ... XX ...	Pembe, eklemli, orta derecede bozunmuş ANDEZİT, orta dayanımlı ve orta derecede geçirgen	10
–	S O	N	D	A	J	S	O	N	U	–											

Yeraltısuyu seviyesi ölçümleri

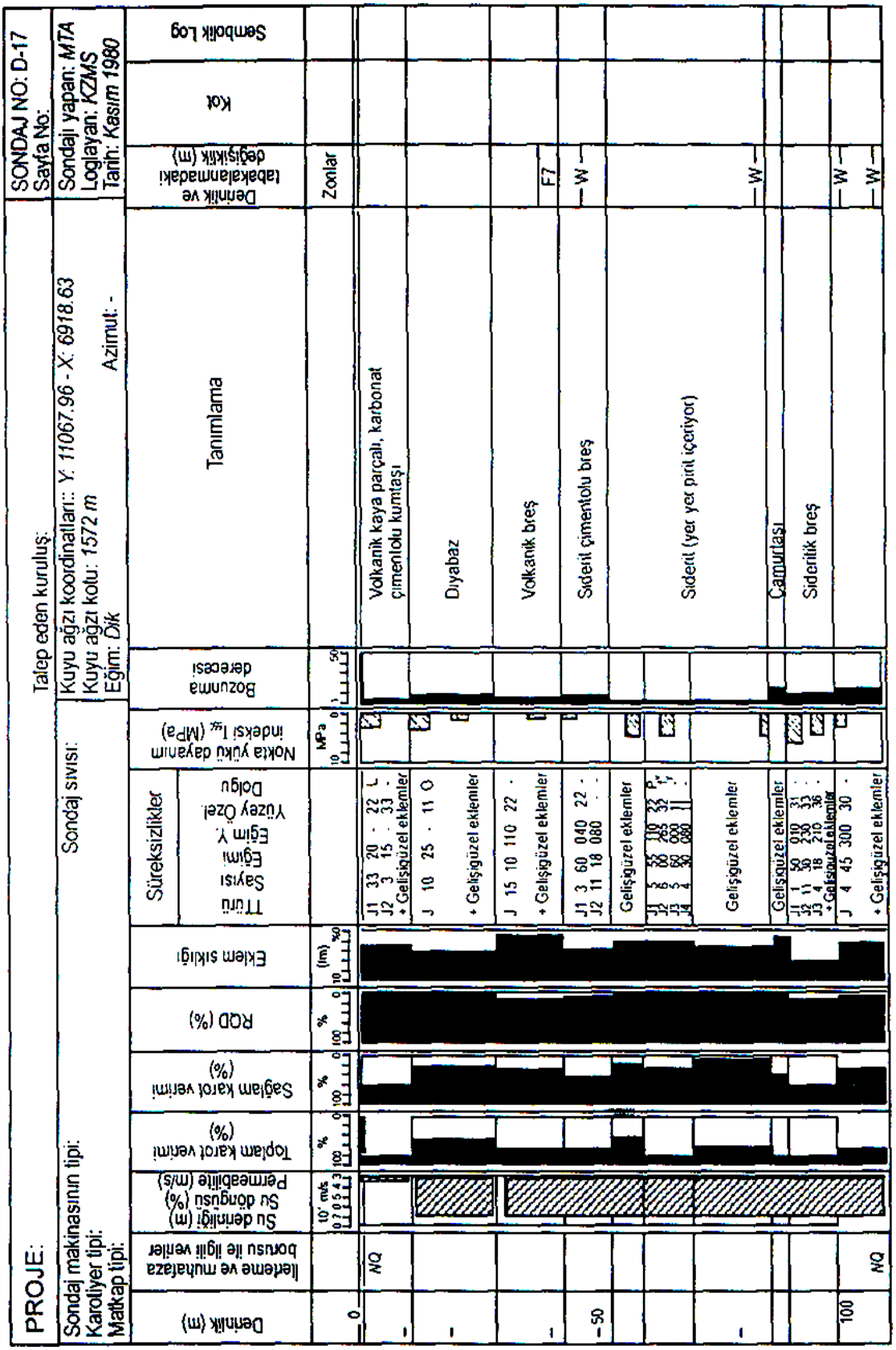
Tarih	Saat	Sondaj Derinliği (m)	Muhafaza Derinliği (m)	Suyun Derinliği (m)

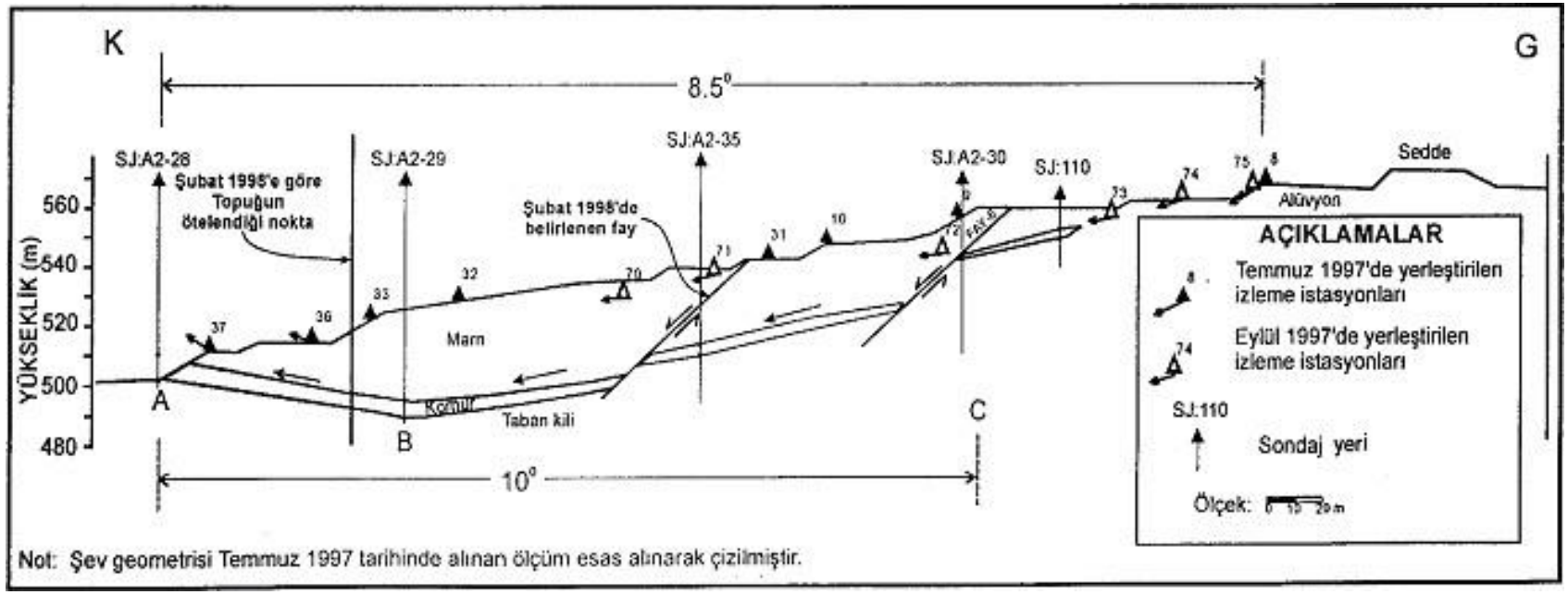
NOTLAR : Karotlar üzerinde dayanım deneyi (nokta yükleme deneyi) uygulanmamıştır.

Çizelge 11. Arazi kullanımı için toprak zemin sondaj loğu örneği (SPT, Standart Penetrasyon Deneyi, N, kesilen süresizlikleri sayısı) (Yılmaz, 2007).



Verilerin bir histogram şeklinde sunulduğu Jeoteknik log örneği Şekil 3'de ve yapılan sondajların jeoteknik yapı kesitinde gösterimi Şekil 4'de sunulmuştur. Söz konusu tüm verilerin sınıflandırılarak (tasnif edilerek) haritaya işlenmesi ve sunum teknikleri, diğer sektörlerde çalışıp konuyu az bilenlerin de kolaylıkla anlayabileceği ve yararlanabileceği bir yalınlıkta olmalıdır.


PROJE:
Talep eden kuruluş:
SONDAJ NO: D-17
Sayfa No:
Sondaj makinasının tipi:
Karoliyer tipi:
Matkap tipi:
Sondaj sıvısı:
Kuyu ağzı koordinatları:: Y: 11067.96 - X: 6918.63
Kuyu ağzı kotu: 1572 m
Eğim: Dik
Azimut: -
Sondajı yapan: MTA
Loglayan: KZMS
Tarih: Kasım 1980
Derinlik (m)
Ilerleme ve muhafaza borusu ile ilgili veriler
Su derinliği (m)
Su dönüşü (%)
Permeabilite (m/s)
Toplam karot verimi (%)
Sağlam karot verimi (%)
RQD (%)
Ekiem sıklığı
Süreksizlikler
TTürü
Sayısı
Eğimi
Eğim Y.
Yüzey Özel.
Dolgu
Nokta yükü dayanım indeksi Is50 (MPa)
Bozunma derecesi
Tanımlama
Dereceli değişiklik (m)
Zonlar
Kot
Sembolik Log
Volkanik kaya parçalı, karbonat çimentolu kumtaşı
Diyabaz
Volkanik breş
Sideritçimentolu breş
Sideritçimentolu breş
Sideritçimentolu



Şekil 4, Bir yamaç (şev) duraylılığı çalışması için hazırlanmış mühendislik jeolojisi kesiti (Ulusay ve diğerleri., 1998'den ve Ulusay, 2001).

SONUÇ

Yukarıda sunulan temel bilgiler irdelendiğinde, mühendislik jeolojisinin ve jeotekniğin jeolojik ortamın tanımlanmasında belirleyici olduğu açıkça görülür. Jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik bilgilerinin entegre edildiği bir jeolojik ortamda, olası bir kirliliğin akıntı yönü ve hızı da belirlenebilir. Giderek gelişmekte olan bu mesleki birikimin çevre sorunlarının çözümünde kullanılması, jeoloji mühendisliğinin toplumla olan bağını daha da güçlendirecektir.

Öte yandan, sanayileşmenin yan ürünlerinin ortaya çıkması, insanlar tarafından üretilen kimyasal maddelerin reaksiyonları ve yapay fiziksel süreçler (nükleer enerji kullanımı) insanın doğa ile olan bağının kopmasına yol açmış, bu da kapsamlı ve küresel bir kriz doğurmuştur. Dolayısıyla, günümüzde doğanın bozulmasından dolayı mühendislerin suçlanması olağandır. Gerçekte zarara yol açan unsurlar, mühendislerin ötesinde bilgi azlığı, politik körlük ve kazanç hırsıdır.

Mühendislik bilgisi çerçevesinde, insan bilinci de sorunları tanımlama ve analiz etme sırasında gelişir. Mühendisler yaptığı faaliyetlerin sonuçları hususunda toplumu yeteri kadar bilgilendirmelidir. Çünkü, toplum, mühendislerin faaliyetlerini daha büyük kâr ya da politik ve askerî açıdan yarar gözeterek yaptıkları tasarrufları tartışmaya açabilir. Bunu da anlayışla karşılamak gerekir.

KAYNAKLAR

AGI, 1980, Glossary of Geology, RL Bates ve JA Jackson (Eds), American Geological Institute (AGI), 2. Baskı, Virginia, USA, 751 s.

Anonim, 1963, Rock Color Chart, Geological Society of America, USA.

Bowles, J.E., 1988, Foundation analysis and design. Mc Graw Hill Book Comp., Singapore, 1004 s.

Erguvanlı, K., 1995, Mühendislik Jeolojisi; Dördüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, Cemal Nadir Sok. Akşam İş hanı, 13/1, 34410, Cağaloğlu, İstanbul, 590 s.

Greschik, G. ve Galos, M., 1998, Environmental Geotechnics-An Overview : Environmental Geology, 35(1), 28-36.

https://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=15147&tipi=17&sube=0&fbclid=IwAR0tEwg8oOKzxG4trqr7miNaBP_RXI5p-moq0Yq1KElLXmY7_WCU6hAXLvI

Hunt, R.E.,1984, Geotechnical Engineering Investigation Mannel. Mc Graw Hill Book Comp.,USA,983 s.

JMO, 2021, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Ankara, 17 s.

Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957, Principles of Engineering Geology and Geotechnics; Mc.Graw-Hill Comp. Inc., NewYork, USA, 730 s.

Magar, K.,1998, Geoenvironmental protection today, A challange for engineering geology, 8. Uluslar arası AEG Kongresi, 1998, Kanada, 4, 2279-2285.

Terzaghi, K. ve Peck, B.R., 1948, Soil mekanics in Engineering Practice. John Willey and Sons Inc., USA, 729 s.

Ulusay, R., 1994, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler; TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38, Ankara, 385 s.

Ulusay, R., 2001, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler; TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları (Genişletilmiş 4. Baskı), no: 38, Ankara, 385 s.

Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E. ve Erdoğan, S., 1998, TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi (1.Aşama: A Panosu Şevlerin Duraylılığı, Proje No. 600.020.0056, HÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, 245 s.

Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 107, Sivas, 379s.

Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 110, Sivas, 275s.

Yılmaz, A., 2009a, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 116, Sivas, 276s.

Yılmaz, A., 2009b, Çevre Kaynakları: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No. 117, Sivas, 348s.

Yılmaz, I., 2000, Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.

Yılmaz, I., 2000, Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.
Yılmaz, I., 2007, Mühendislik Jeolojisi: İlkeler ve Temel Kavramlar; Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 490s.
Yılmazer, İ., Yılmazer, Ö., Özkök, D. ve Gökçekuş, H., 1999, Jeoteknik Tasarıma Giriş; Yılmazer Eğitim ve Mühendislik, Ltd. Şti., 420. Sok, 259/1, 100.Yıl, 06530, Çankaya, Ankara, 216 s.

Bölüm 4. JEOLOJİK ORTAMIN ÜRÜNÜ: TOPRAK

ÖZET

Jeolojik ortam, jeolojik tarih boyunca oluşan kayatürü topluluklarının yarattığı ortamdır. Toprak da jeolojik ortamın ürünü ve söz konusu toplulukların bir bileşenidir. Toprağın oluşumunda öncelikle kayatürleri değişime uğrarlar. Kayatürlerinin homojen olmaması, taneler arası kohezyonda ve pekişme ile ilgili farklılıklar, gözeneklilik, geçirgenlik, erimeye karşı dirençte farlılıklar kayatürlerinin değişiminde belirleyici hususlardır. Kayatürlerinin ayrışması ve toprak oluşumunda etkin olan faktörler ise, iklim, ana kayanın bileşimi ve özellikleri, morfoloji, organizmaların varlığı, zaman ve bileşik diğer etkilerden ileri gelen faktörlerdir.

Toprağın oluşumunda başlıca evreler ise, başlangıç evresi, ayrışma, dönüşme, farklılaşma (morfojenez), ve horizonlaşma olarak tanımlanabilir. Bu evrelerden sonra toprak profili oluşur. Bir toprak profili çeşitli açılardan ayrıntılı olarak tanımlanabilir.

Toprağın oluşumu ve değişimi süreçlerinde (pedojenez) etkin olan mekanizmalar da ayrışma, taşınma ve karışmanın eşlik ettiği özütleme (Liçing), eluvizasyon, podzolizasyon, gluvizasyon, lateritleşme, tuzlulaşma olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçlerde toprağın nitelikleri büyük ölçüde değişime uğramaktadır. Dolayısıyla, toprağın ne amaçla kullanılabileceğini belirlemek için toprak profilinin ve toprağın fiziksel (rengi, yapısı ve dokusu gibi), kimyasal (kil mineralleri ve katyon değişimi kapasitesi ve toprağın asitliliği gibi) özelliklerinin analiz edilmesi zorunluluğu vardır. Yapılan analizler toprağın gelecekte kullanımı ile ilgili yol gösterici olurlar.

Günümüzde toprak, doğa kaynaklı süreçlerden etkilendiği gibi, insani (beşeri) faaliyetlerden de önemli ölçüde etkilenmektedir. İnsani faaliyetler, toprağın erozyonunu tetikleyebileceği gibi, toprağın asitleşmesine de yol açabilirler. Asit yağmurları, insani faaliyetlerin sonucunda oluşan asidik gazların yağışlar yolu ile yeryüzünü kirletmektedir. Ayrıca, toprak kirliliğine yol açan ağır metaller, pestisitler ve organik çözücüler, insani faaliyetlerin sonucu olarak ortaya çıkan başlıca unsurlarıdır.

Tarımda kullanılan gübreler, toprakta gereğinde yüksek düzeyde azot ve fosfor birikimine yol açmaktadır. Evsel atıklar ve sanayi atıklarının vahşi depolanması toprak kirliliğinin temel nedenidir. Ayrıca, kentleşmenin ve kentsel dönüşümün etkileri de toprak kirliliğine yol açmaktadır. Ülkemizde ileri düzeyde tarım yapabilmek için öncelikle toprağın analizini sağlıklı yapmak, toprak yasası ve toprak kirliliği ile ilgili yasal düzenlemelerdeki sınırlamalara uymak gerekmektedir.

Ülkemizde her yıl tüm illerimiz özelinde güncellenen Çevre Durum Raporlarında toprak ve toprak kirliliği, önemli bir başlık olarak yer almaktadır. Örneğin 2014 yılı Ankara ili Çevre Durum Raporu'na göre toprak kirliliği Ankara özelinde 4. öncelikli sorundu; 2017'de 5. öncelikli soruna dönüşmüştür. Erozyon ise uzun zamandan beri 6. öncelikli sorun olarak devam etmektedir. Toprağı kirleten kaynakların bilinmesi, toprak kirliliğinin denetimi açısından önemlidir.

Toprak, tarımın yapıldığı bir biricik alandır. Tarım sektöründe bilim ve teknolojinin olanaklarından yararlanmak zorunludur. Ülkemiz de, tarımın en verimli yapılabileceği bir ülke konumundadır. Oysa son yıllarda, birçok tarım ürününü ithal etmek zorunda kalınmıştır. Oluşturulan yasa ve yönetmelikler çerçevesinde tarımın ve kooperatifçiliğin teşvik edilmesi ve tarım emekçilerinin korunması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Hollanda deneyimi, Türkiye'nin olası tarım politikalarının yönlendirilmesinde bir laboratuvar niteliğindedir. Türkiye'nin tarımsal ihracatı, küçücük Hollanda'nın 1/5'i kadardır.

Anahtar sözcükler: Toprak, toprak profili, toprak oluşumu, beşeri faaliyetler,

GİRİŞ

Pedoloji sözcüğü, pedo (toprak) ve logy (bilim) sözcüklerinden türetilen bir terimdir. Bu terim, başlangıçta, toprağın kökeni, oluşumu, sınıflandırılması ve coğrafik dağılımını tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Günümüzde ise bunlara ek olarak, tarım, ormancılık, bitkilerin beslemesi ve teknolojisi yönleriyle toprağın bütün özelliklerini içine alan, geniş kapsamlı bir terim özelliğini kazanmıştır. Hayvanların ve insanların gereksinim duyduğu besin maddeleri, doğrudan ya da dolaylı yoldan topraktan sağlanmaktadır. Toprağın, bitkilerin üretimi amacıyla araştırılması, verimliliğinin devam ettirilmesi ile ilgili uygulamalar, günümüzde gelişerek devam etmektedir. Toprak bilimi, birçok bilim dalının kavşağında yer almaktadır. Bu bilim dallarının bazıları aşağıda görülmektedir:

- Yer kabuğunun, toprağın ana gerecini oluşturması nedeniyle Jeoloji, Mineraloji ve Petrografi ile yakından ilgilidir.
- Toprağın kimyasal bileşimi ve toprakta gelişen olaylar nedeniyle Kimya ve Fizikokimya ile ilişkilidir.
- Toprağın içinde çok farklı türlerden oluşan canlıların bulunması nedeniyle Biyoloji, Mikrobiyoloji, Bitki Fizyolojisi, Bitki ve Hayvan Ekolojisi ile yakından ilişkilidir.
- Toprakların haritalanması, ıslahı, korunması, sulanması ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi yönüyle, çeşitli mühendislik alanları ile ilgilidir.
- Uygulama ve üretime dayalı olarak tarım ve ormancılıkla ilişkilidir.
- Yol yapımı, barajlar, bina inşaatları, sulama ve akaçlama (drenaj) kanallarının ve inşaat malzemelerinin yapımı dolayısıyla mühendislik alanları ile yakından ilişkisi vardır.

Toprak bilimi kendi içinde çeşitli alt dallara ayrılabilir:

1. Toprağın oluşumu, sınıflandırılması ve haritalanması,
2. Toprak fiziği ve kimyası,
3. Toprak mikrobiyolojisi,
4. Toprak ekolojisi,
5. Toprak verimliliği ve bitkilerin beslenmesi,
6. Toprağın korunması,
7. Toprağın geliştirilmesi,
8. Toprak teknolojisi (örneğin, inşaat malzemesi olarak kullanımı),
9. Tarım ve ormancılık.

Yukarıda sunulan bilgiler, toprak konusunun çok yönlü yapısını gözler önüne sermektedir. Konuya dair pek çok kaynak vardır. Özellikle Ziraat mühendislerinin konuya dair katkıları son derece önemlidir. Tüm kaynakları elden geçirmek mümkün değildir. Dolayısıyla, ağırlıklı olarak, Aydeniz (1985), Atalay (1989), Coch ve Ludman (1991), Boşgelmez ve diğerleri (2001), Smithson ve diğerleri (2002), Chapman (2008) ve Yılmaz (2008 a ve b)'nin çalışmalarından yararlanıldığını belirtmekte yarar vardır. Bu sunumda, daha çok Jeoloji Mühendisliği penceresinden bakıldığında toprağa dair görülen resim değerlendirilmiştir.

TOPRAĞIN TANIMI VE BİLEŞENLERİ

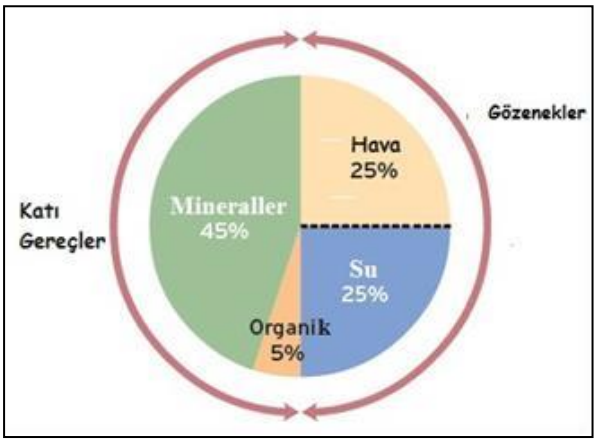
Çeşitli bilim dalları, ***toprak*** terimini kendi uğraşı alanlarına göre farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Yapılmış olan bu tanımların ortak noktaları, aşağıda sunulduğu biçimde özetlenebilir (Boşgelmez ve diğerleri, 2001):

1. Toprak, yer kabuğunun parçalanıp, ufalanması ile ortaya çıkan çakıl, kum, silt ve kil gibi inorganik maddelerden oluşur.
2. Toprak canlılarını, bitkisel ve hayvansal maddelerin biyolojik parçalanma ürünleri olan humusu içerir.
3. Hava, su ve suda erimiş tuzlardan oluşan bir karışımı içerir.
4. Canlıların gelişmesi için doğal bir ortam olup, barınmak, hareket etmek, besin bulmak için yüzey oluşturan karmaşık bir sistemdir.

Toprağı oluşturan çeşitli maddeler, oransal olarak çok fazla değişiklik gösterebilirler. Bazen, bir madde, diğerlerine göre çok ya da az oranda bulunabilir. Bitki gelişmesine elverişli siltli-tınlı bir toprak, hacim bakımından, % 50 oranında katı gereçler, % 50 oranında da por adı verilen gözenekler içerir. Yaklaşık % 50 oranındaki katı gereçlerin % 45'i minerallerde (inorganik gereçlerden) % 5'i de organik gereçlerden oluşur (Şekil 1; Chapman, 2008).

Geriye kalan % 50 oranındaki boşluklar, değişen oranlarda, su ve hava ile doludur. Toprak, bitki gelişmesi için en uygun değerde nem içerdiği zaman gözenekler % 25 oranında hava ile doludur. Su ve hava oranları, doğal koşullarda değişim gösterebilir. Toprak katı maddelerinin arasını bir ağ gibi ören, içi hava ve su ile dolu olan gözenekler, toprağın verimliliği üzerinde etkilidir. Toprağın yapısı, yüzeyden başlayarak derinlere doğru inildikçe değişiklik gösterir.

Hava ve suyun göreli oranı birbirini ters yönde etkileyecek biçimde bir salınım yapar. Yağıştan sonra, su gözenekleri doldurur ve havanın yerine de geçebilir. Su bitkiler tarafından kullanıldığında ya da akaçlama ile aktığında suyun yerini gözeneklerde hava doldurur.



Şekil 1. Toprağın bileşenleri. Bu diyagram tipik bir üst toprakta toprağın bileşimini göstermektedir. Hava ve su arasındaki kesikli çizgi bu iki bileşenin toprağın nem içeriğiyle değiştiğini göstermektedir. Katı gereçler minerallerden ve organik maddelerden oluşmakta, su ve hava ise gözeneklerde yer almaktadır.

Mineraller

Toprakta mineraller egemendir. Mineraller çökel, magmatik ve metamorfik kayaların ayrışmasının ürünüdürler. Fiziksel ve kimyasal süreçlerle ana kaya ve mineraller değişimine uğrar. Genel olarak kayaların ayrışmasından önce iri mineral toplulukları, daha sonra tekçe mineraller açığa çıkar. Mineraller, birincil ve ikincil olmak üzere iki türe ayrılırlar.

Birincil mineraller doğrudan magmatik kayalardan oluşan ve az değişime uğrayan minerallerdir. Bunlara kuvars, feldispatlar, mikalar örnek verilebilir. İkincil mineraller ise birincil minerallerin kimyasal olarak değişimi ile meydana gelirler. Bunlara killer, demir ve alüminyum oksitler örnek verilebilir. Minerallerin bileşimi ve boyutları toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde belirler (Brady ve Weil, 2002).

Topraklardaki bazı minerallerin içerdiği oksitler açısından bileşimleri Çizelge 1' de sunulmuştur. Çizelge 1' de görüldüğü gibi, kuvars ve rutil, tek bir oksitten oluşurken; hornblend, montmorillonit ve illit, sekiz adet farklı oksit içermektedir. Minerallerin büyük bir bölümü SiO_2 ve Al_2O_3 ile temsil edilmektedir.

Toprakların bileşiminde, Çizelge 1' de sunulan minerallerin içerdiği oksitler dışında, başka elementler de bulunmaktadır. Örneğin, toprakta bulunan (periyodik cetvelde 57 numaradan 71 numaraya kadar yer alan) 15 element, ***nadir toprak elementleri*** olarak tanımlanmaktadır. Bu elementler başlıca lantan, seryum, praseodim, neodim, prometeyum, samariyum, evropiyum, gadolinyum, terbiyum, disprosyum, holmiyum, erbiyum, tulyum, iterbiyum ve lütesyumdur. Benzer özellikleri olan skandiyum ve itriyum da çoğu zaman nadir toprak elementleri grubuna konulmaktadır.

Çizelge 1. Topraklardaki bazı minerallerin oksitler açısından içerikleri (Aydeniz, 1985).

Mineral	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5
Kuvars	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortoklas	62-66	48-20	-	-	-	0-3	-	9-15	9-4	-
Albit	61-70	19-26	-	-	-	0-9	-	0-4	6-11	-
Anortit	40-45	28-37	-	-	-	10-20	-	0-2	0-5	-
Muskovit	44-46	34-37	0-2	0-4	-	-	0-3	8-18	0-2	-
Biotit	33-36	13-30	3-17	5-17	-	0-2	2-20	6-9	-	-
Hornblend	38-58	0-19	0-6	0-22	-	0-15	2-26	0-2	1-3	-
Ojit	45-55	3-10	0-6	1-14	-	16-26	6-20	-	-	-
Olivin	35-43	-	0-3	5-34	-	-	27-51	-	-	-
Epidot	35-40	15-35	0-30	-	-	20-25	-	-	-	-
Apatit	-	-	-	-	-	54-55	-	-	-	40-42
Magnetit	-	-	69	31	-	-	-	-	-	-
Turmalin	35-40	30-37	0-10	0-10	-	0-6	0-12	-	0-6	-
Rutil	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
Kaolinit	45-48	38-40	-	-	-	-	-	-	-	-
Montmorillonit	42-55	0-28	0-30	-	0-0.5	0-3	0-25	0-0.5	0-3	-
İllit	50-56	18-31	2-5	-	0-0.8	0-2	1-14	4-7	0-1	-
Klorit	31-33	18-20	-	-	-	-	35-38	-	-	-
Limonit	-	-	75-90	-	-	-	-	-	-	-
Diaspor	-	85	-	-	-	-	-	-	-	-
Gibsit	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-

Nadir toprak elementleri, içinde yer aldığı kayatürü ve tuzlarının çözünürlüğüne göre çeşitli gruplara ayrılır: Seryumlu topraklar ve itriyumlu topraklar gibi. Nadir toprakların tuzları, genellikle, eş yani benzer şekillidir. Bunlar birbirinden çok zor ayrılırlar ve ayrılma da ancak kristalleşme ile gerçekleşmektedir.

Organik gereçler

Organik gereçler üç gruba ayrılabilir: i) Bitki ve hayvan kırıntıları, ii) Humus olarak bilinen organik gereçler, iii) Biyomas olarak bilinen yaşayan organizmalar ve bitki kökleri

Bitki ve hayvan kırıntıları mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Bunun nihai ürünü humus olarak adlandırılır. Mikroorganizmalar tarafından organik gereçlerin parçalanmasıyla azot, fosfor ve kükürt oluşur. Bitki ve hayvan kökenli gereçlerin arasında oluşan denge toprağın organik içeriğini belirler.

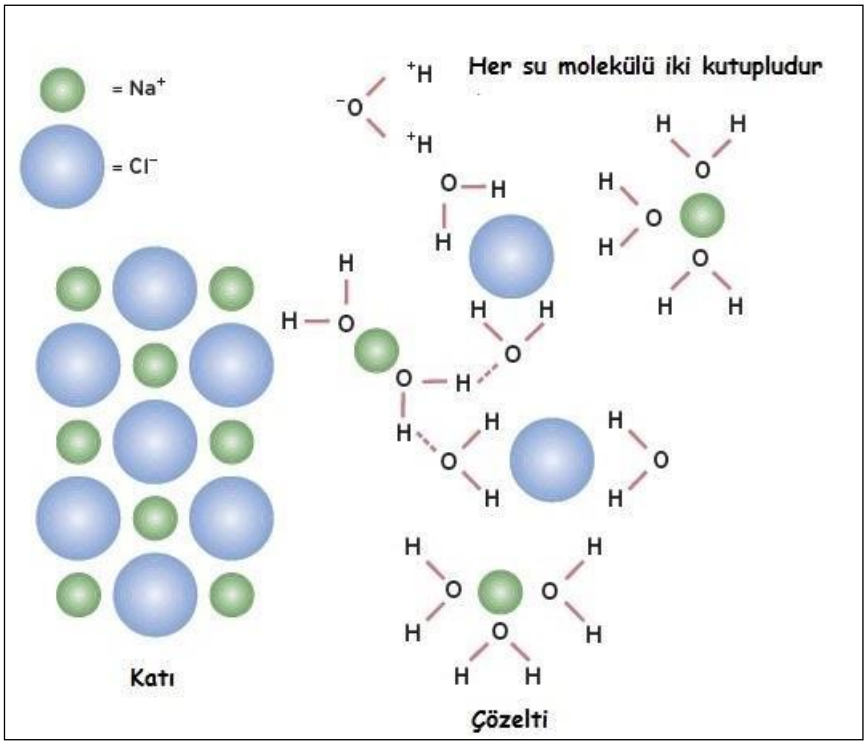
Genel olarak organik gereç hacim olarak % 2 ile % 6 arasında değişir. Ancak bunun toprak üzerindeki etkisi büyüktür. Ayrışma süreçlerinin yavaşladığı durumlarda organik gereçlerin birikimi de azalır. Oluşan organik topraklar turba (peat) olarak tanımlanır.

Toprağın organik gereçleri toprağın çok önemli bir bileşenleridir. Bunun başlıca nedenleri:

i) Toprağın organizmalar için ana gıda olması,
ii) Toprağın yapısını dengelemesi ve erozyondan korunması,
iii) Su tutma kapasitesini geliştirmesi,
iv) Gözeneklilik ve havalandırmayı kolaylaştırması, böylece bitkilerin büyümesinin sağlaması,
v) Toprağın verimliliğini arttırması.

Su

Su, toprağın ekolojik işlevleri için önemlidir. Bitkiler ve diğer organizmaların yaşaması suya bağlıdır. Su ayrıca toprağın oluşumunda önemli bir etkendir. Örneğin, su ana kayanın günlenmesini kolaylaştırır. Tüm kimyasal süreçler suyun varlığına bağlıdır. Su hava ile birlikte toprağın katı gereçleri arasındaki gözenekleri doldurmaktadır. Toprak, suda çözülmüş organik ve inorganik gereçleri içerir. Suyun toprağa karışması ile toprağın çözülmesi (soil solution) gerçekleşir. Toprakta bazı bileşenler çözüldüğünde iyonlar meydana gelir. İyon bir atom ya da atom gruplarından oluşur ve elektriksel bir yüke sahiptir. Örneğin sodyum klorit suda çözündüğünde sodyum ile klor iyonları oluşur (Şekil 2). Sodyum iyonu pozitif bir yüke sahiptir ve Na^+ simgesiyle gösterilir. Oysa klor negatif bir yüke sahiptir ve Cl^- simgesiyle gösterilir. Pozitif yüklü iyonlar katyonları negatif yüklü iyonlar ise anyonları oluşturur. Toprağın suda çözünmesiyle oluşan anyonlar ve katyonlar Çizelge 2'de görülmektedir.



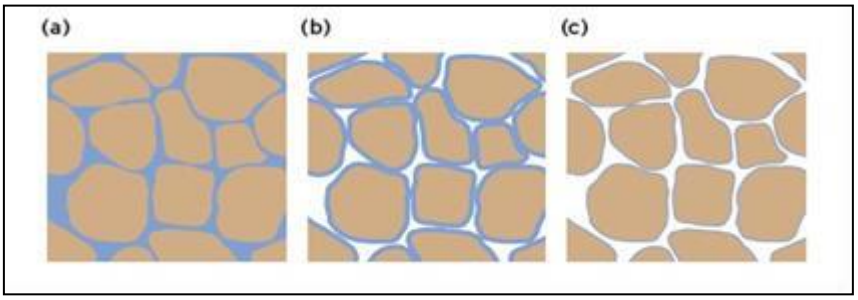
Şekil 2. Suyun içinde kaya tuzunun (NaCl' un) çözünmesi. Su (H_2O) negatif bir iyon ile pozitif bir iyondan oluşan bir moleküle temsil edilir. Kaya tuzu tümüyle suda çözündüğünde Na^+ , Cl^- iyonları birbirinden ayrılır. İki iyon birleştiğinde ise kaya tuzunu oluşturur. Bu şekil su moleküllerinin Na^+ ve Cl^- iyonlarının nasıl bağlandığını göstermektedir (Chapman, 2008).

Toprağın çözülmesinin en önemli işlevi bitki köklerine katyon ve anyonların sürekli olarak akışını sağlamaktır. Toprağın çözünmesi bu akışın gelişmesinde önemli bir yer tutar. Ayrıca çözünmüş olan iyonlar topraktan süzülerek yer altı sularına geçebilirler.

Çizelge 2. Toprağın suda çözünmesi ile oluşan bazı önemli anyonlar ve katyonlar.

Katyonlar		Anyonlar	
H^+	Hidrojen	Cl^-	Klorür
Na^+	Sodyum	NO_3^-	Nitrat
K^+	Potasyum	SO_4^{2-}	Sülfat
Ca^{2+}	Kalsiyum	HCO_3^-	Bikarbonat
Mg^{2+}	Magnezyum	OH^-	Hidroksit
Al^{3+}	Alüminyum		

Su toprakta partiküller arasında yer alır ve varlığını üç biçimde korur (Şekil, 3a, b, c). Her üç hal de zaman içerisinde değişebilir. Bu da gıdaları oluşturan minerallerin ve su içindeki kirleticilerin hareketini etkiler. Tüm toprak gözenekleri yağışlar yoluyla suyla olduğunda toprak doymuş (saturated) olarak tanımlanır (Şekil 3a). Toprak böyle bir durumda uzun süre kalamaz, bunun nedeni yerçekimi olup, suyun yerçekimi etkisinde daha düşük kottaki gözeneklere doğru akmasıdır (Ward ve Robinson, 2000). Şekil 3c, ise suyun yeteri kadar olmadığı 'kör nokta' yı temsil etmektedir.



Şekil 3. Topraktaki suyun halleri: (a) doymuş toprak, tüm gözenekler suyla dolarsa; (b) arazi kapasitesi, küçük gözenekler suyla dolar, büyük gözemekler ise havayla dolar; (c) kör nokta, bitkiler suyu yeteri kadar almadığında ve suyun yeteri kadar partiküllerin arasında olmadığı bir hal.

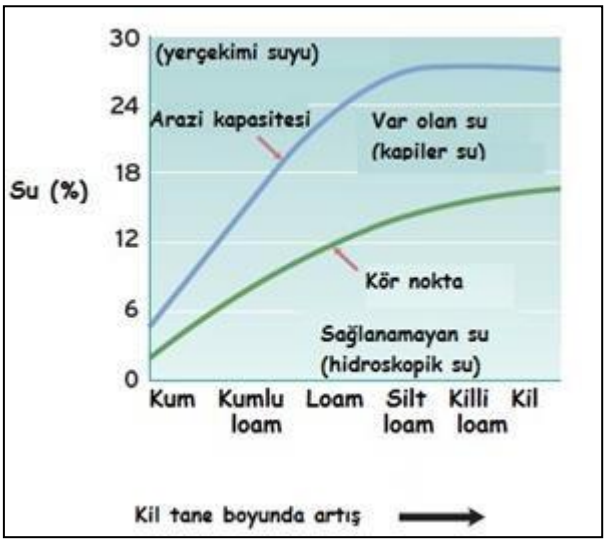
Su yerçekimi ve akaçlama ile uzaklaştığında gözeneklerin bir bölümü hava ile dolar, bu da mevcut 'arazi kapasitesi' olarak tanımlanır (Şekil 3b). Küçük gözenekler yerçekimine rağmen suyu alıkoyabilir ve bu şekilde askıdaki su da 'kapiler su' olarak bilinir. Kapiler su bitkilerin bir bölümünün aldığı suyu karşılar. Bu su, ayrıca su moleküllerinin birbirini çekmesini sağlar. Suyun toprak partiküllerinin arasına girişini yerçekimi kuvveti belirler. Kapiler su toprağın zonlarında daha düşük kotlara doğru hareket edebilir. Ayrıca, önemli bir akış da bitki köklerine ya da toprak yüzeyine doğru olabilir. Böyle yerlerde terleme ve buharlaşma ile de su kaybı olur.

Suyun üçüncü hali, kör nokta halidir (Şekil 3c). Bu halde, su bitkilere ya da bitkinin köklerine ulaşamaz. Suyun hidroskopik olduğu bu halde, az oranda su bulunabilir. Toprak ne kadar kuru ise o kadar sıkı bir şekilde suyu küçük gözeneklerde alıkoyar. Sonunda bitkiler öyle bir noktaya gelir ki

topraktan suyu alamaz. Kör nokta ile arazi kapasitesi arasındaki konum, bitkiler tarafından sağlanan su olarak tanımlanır.

Su miktarı ile toprak dokusu ya da yapısı arasında da belirgin ilişkiler vardır. Toprak, suyu partiküller arasında ya da partiküllerin içinde tutar. Çok küçük partiküllerin yer aldığı bir durumda toprak suyu partiküllerin içinde tutar. Örneğin suyun çoğu kil boyutundaki partiküllerin içinde kalır. Bu durumlarda bitkiler sudan yararlanamazlar. Toprak dokusu ya da toprağın tane boyutları ile toprak suyu arasındaki genel ilişki Şekil 4'te sunulmuştur. Bu şekilde, su içeriğinin %'si ile toprak dokusu (tane boyutu) gözetildiğinde kör nokta ve arazi kapasitesine dair seyir ile kapiler su ve hidroskopik (sağlanamayan) suyun konumu açıkça görülmektedir.

Toprağın dokusu toprağın gözeneklerini ve toprağın geçirgenliğinin doğasını belirler. Su bu çerçevede akışını sürdürür. Örneğin eğer bir toprak birbirleriyle ilişkili birçok gözeneğe sahipse bu toprak geçirgendir. Böyle bir su toprakta hızlı akar. Organik gereç toprağın nemini arttırır. Bu da suyun içeriğini doğrudan etkiler (White, 1997).



Şekil 4. Toprağın dokusu ve su içeriği (%) arasındaki genel ilişki (Chapman, 2008).

Hava

Hava da topraktaki gözenekleri doldurur. Yani suyun dolduramadığı gözeneklerde hava yer alır. Toprakta yer alan hayvanlar ve mikroorganizmaların çoğu solunumları sırasında O_2 kullanır ve CO_2 'i dışarı verir. Biyolojik faaliyetin sürmesi için oksijenin toprağa geçmesi ve karbondioksitin de topraktan çıkması gerekir. Toprağın içinde gerçekleşen bu akış havalandırma (aeration) olarak bilinir. Havalandırma, gözeneklerin büyüklüğü ve dağılımı, gözenek sürekliliği, toprağın su içeriği ve solunum yapan organizmaların oksijen tüketme oranından etkilenir. Bu etkileşim sırasında toprağın içindeki havanın bileşimi atmosferik havadan farklılaşır.

Topraktaki havanın bileşimi yer yer önemli farklar gösterir. Genel olarak topraktaki hava, atmosferdeki havaya göre daha düşük O_2 ve daha yüksek CO_2 ile nem oranına sahiptir (Çizelge, 3). Topraktaki CO_2 derişimi atmosferdekine göre yüzlerce defa daha yüksektir. Ayrıca topraktaki havanın bileşimi günlük ve mevsimsel olarak değişmektedir. Bu değişimler yaz ve kış arasında ya da gece ve gündüz arasında gerçekleşen biyolojik faaliyetler nedeniyle olmaktadır. Örneğin sıcak yaz günlerine göre soğuk kış gecelerinde daha az solunum gerçekleşir, böylece topraktaki havanın içinde CO_2 kış mevsimine göre daha düşük olur.

Çizelge 3. Atmosfere açık topraktaki havanın (hacimsel olarak) bileşimi.

	Atmosfer	Topraktaki hava
Azot (N_2)	79.01	79.0
Oksijen (O_2)	20.96	18.0-20.8
Karbondioksit (CO_2)	0.035	0.15-1.0

TOPRAĞIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Toprağı daha yakından tanımak için toprağın temel özellikleri gözetilerek tanımlamakta yarar vardır. Bunun için toprağın özelliklerine fiziksel ve kimyasal açıdan ayrıntılara girilmelidir. Bu vesileyle toprağın fiziksel özelliklerine (toprağın rengine, yapısına ve dokusuna) ve kimyasal özelliklerine (kil mineralleri ve katyon değişimiyle toprağın asitliğine) dair ayrıntılar aşağıda sunulmuştur. Toprağın ayrıntılı bir şekilde tanımlanması, toprağın hangi amaçla kullanılması gerektiğini belirler.

Toprağın Fiziksel Özellikleri

Toprağın fiziksel özellikleri kısmen görülebilen, hissedilebilen tadı ve kokusu ile tanımlanabilir. Toprağın rengi gözlemle belirlenir. Ayrıca organik madde ve demir içeriği fiziksel olarak tahmin edilebilir. Toprağın akaçlaması ve toprağın havalandırılması da fiziksel özellikler bağlamında düşünülebilir. Toprağın mevcut olan farklı büyüklükteki partiküllerin miktarı da tahminle belirlenebilir. Toprağın fiziksel özellikleri ve türü, toprağın ekosistem içindeki işlevini ve yönetimini belirler.

Toprağın Rengi

Toprağın rengi gözlemle kolaylıkla tanımlanır. Rengin toprağın üzerindeki etkisi az ise de organik madde içeriği, toprağın içerdiği hava ve akaçlama özellikleri gibi niteliklerine yansıması mümkündür. Renk ayrıca toprak profilindeki farklı horizonları ayırt etmeye yardım eder. Yüksek düzeyde organik madde içeriğine sahip toprak, siyah ya da koyu kahverengi olur. Yüzeye yakın horizonlar genellikle daha koyu olur. Yüzeydeki horizonlar, daha alt düzeylerdeki horizonlardan daha koyu renktedir. Toprak rengi toprağın akaçlama özelliklerini belirlemede kullanılır. Çünkü toprak renginin değişimi, oksidasyon ve redüksiyona uğramış çeşitli demir mineraller varlığında belirlenir. İyi akaçlaması olan topraklarda demir oksitlenir ve toprağın içerisinde kırmızı ya da sarımsı renge bürünür.

Su açısından zengin olan topraklarda demir mineralleri azdır. Bunun nedeni aerobik koşullardır. Böyle durumlarda da toprağın rengi gri ya da mavimsi renk alır. Toprak renginin tanımlanmasında standart bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem, Munsell Colour Chart kullanılarak geliştirilebilir. Söz konusu sistemde farklı renkleri tanımlamak için 3 ölçülebilir değişken kullanılır. Renk tonu (hue) sistemdeki egemen renge göre tanımlanır. Genel olarak kırmızı ve sarının tonları, rengin koyuluğunu ya da açıklığının derecesini belirtir. Siyahın değeri sıfırdır. Renk berraklığı, rengin gücünü ve arılığını gösterir. Doğal grinin berraklığı sıfırdır. Standart bir renk kitabını kullanarak tarımsal olarak toprağın rengi kodlanmaktadır. Örneğin siyah renkte; rengin tonu 10 Y/R, değeri 2, renk berraklığı 1' dir.

Toprağın Dokusu

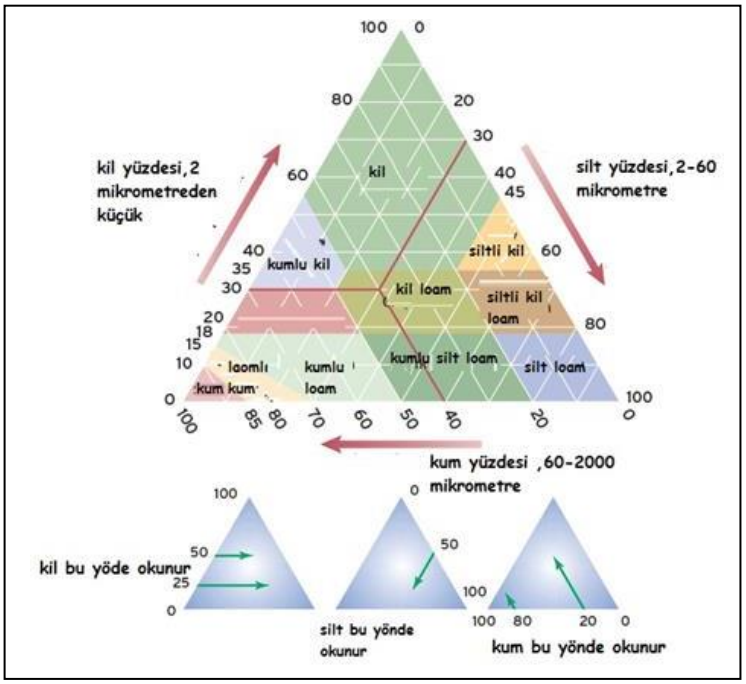
Toprağın dokusunu toprağı oluşturan mineral partiküllerinin büyüklüğü belirler. Topraktaki mineral partiküllerinin büyüklükleri değişkendir. Örneğin partiküllerin çapı 2 mm'den büyük olanlar çakıl; küçük olanlar ise kum, silt ve kil olarak tanımlanır. Kum, silt ve kil, ince taneli malzemeleri temsil etmektedir. Çakıl ise iri taneli malzemedir. İri ve ince taneli malzemeyi ayırt eden sınır 2 mm'dir. İri ve ince taneli topraklarda tane büyüklüğü tanımlamaları farklı sistemlerle yapılmaktadır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Toprağın tane büyüklüğünün sınıflandırılması (mm olarak).

Sınıf	Tane çapı (diameter, mm) Uluslararası Atterberg Sistem	USDA-FAO Sistem	SSEW, BS and MIT Sistem
Kil	<0.002	<0.002	<0.002
Silt	0.002-0.02	0.002-0.05	0.002-0.06
Kum	0.02-2	0.05-2	0.06-2
Çakıl	>2	>2	>2

Killerin üst sınırı ise, 2 mikrondur. Bu çizelgede silt ve kum büyüklükleri de görülmektedir. Tane büyüklüğü küçüldükçe bunların işlevleri de farklılaşır. Tane büyüklüğü arttıkça, özellikle tane partikülünün toprak yüzey alanı da büyür. Bu da su tutma kapasitesini büyük ölçüde etkiler. Bu arada toprakta, katyon değişme kapasitesi ve mineral günlenme oranı da artar.

Toprak tanelerinin tümünün aynı boyutta olması oldukça enderdir. Dolayısıyla toprağın dokusu toprağın içinde yer alan kum, silt ve killerin göreceli oranları ile tanımlanır. Tane büyüklüğü dağılımına göre yapılan doku sınıflaması Şekil 5' te görülmektedir. Kum silt ve kilin farklı oranları gözetilerek 11 adet doku tanımlanmıştır. Eğer tane büyüklüğü dağılımı biliniyorsa, üçgen diyagramlarda dokuyu belirleyen sınıf tanımlanabilir. Örneğin bu diyagramda (Şekil 5) % 40 kum, % 30 kil, % 30 killi loam olarak tanımlanır (Chapman, 2008).



Şekil 5. İngiltere'de benimsenen toprak doku sınıflaması üçgen diyagramı.

Ayrıca, eğer doku sınıflaması biliniyorsa tane büyüklüğü de tahmin edilebilir. Toprağın dokusu, laboratuvarda ya da sahada partikül büyüklüğü ölçülerek tanımlanır. Öte yandan toprak malzemesi, başparmakla işaret parmağı arasında sıkılarak toprağın nem içeriği hakkında fikir edinilebilir. Toprak dokusu, toprağın hava ve su tutma kapasitesi açısından önemli bir niteliktir. Örneğin iri dokulu topraklar daha büyük gözeneklere sahiptir. Çünkü kum boyutundaki partiküller silt ya da kil boyutundaki partiküller kadar birbirine yakın değildir. Sonuç olarak kumlu topraklar yüksek düzeyde suyu süzme potansiyeline sahiplerdir. Fakat bu toprakların suyu alıkoyma kapasiteleri düşüktür. Bunun da nedeni toprakların gözenekleri arasında suyun hızlı akmaya meyilli olmasıdır. İnce taneli topraklarda durum bunun tam tersidir.

Toprağın Yapısı

Toprağı oluşturan partiküller normal olarak birbirinden ayrık durmazlar. Bunun yerine toprak partikülleri daha çok birbirlerine tutunmaya eğilimlidirler. Topraklar, yapıları gözetilerek, önce agregatlar ya da pedler olarak gruplandırılırlar. Toprağın yapısı da agregatların ve pedlerin şekli (türü) büyüklüğü ve farklılığı aracılığıyla tanımlanır. Örneğin, her ped diğer pedlerden boşluklarla ya da zayıflık yüzeyleriyle ayrılır. Bu açıdan, toprak yapısı 4 türe ayrılabilir. Bunlar bloklu, siferodial, düzlemsel ya da prizmatik biçimlerde olabilirler (Şekil 6). Her tür de kendi içinde alt türlere ayrılmaktadır.

Şekil 6. Toprak yapısının türleri ve alt tipleri (Chapman, 2008).

Aşağıdaki terimler toprağa dair ana yapıların ayırt edilmesinde kullanılırlar:

1- Yapısız (pedler gözlemlenmemiştir),

2- Zayıf (birbirinden farklı olmayan pedler, benzer pedler, bu da gereçlerin birbirinden fazla ayrılmadığı durumlarda geçerlidir),

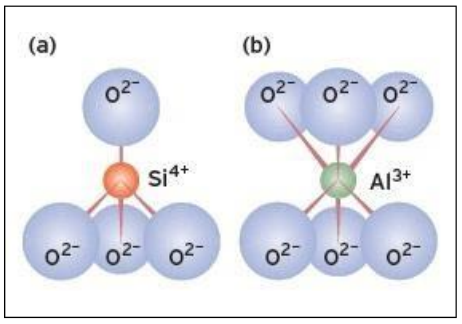
3- Orta (iyi gelişmiş pedler, az oranda tutturulmuş gereçler),
4- Kuvvetli (farklı pedler, tümü ile birbirinden ayrılabilen agregatlar)

Kil boyutundaki partiküller ve organik bileşikler pedleri büyük ölçüde birarada tutar. Sonuç olarak iri taneli dokuya sahip topraklar zayıf bir yapıya eğilimlidirler. Oysa ince dokulu topraklar genel olarak orta ya da güçlü yapılara sahiptirler. Tekçe pedleri bir arada tutan kuvvet, toprağın dayanımlılığını, erozyonunu ve toprağın işlenmesini etkiler. Güçlü bir yapı, toprağı bir arada tutar ve erozyona karşı dayanımlılığını sağlar. Ancak, bu özellikler toprağın işlenmesini güçlendirir (White, 1997). Toprağın işlenmesi de toprağın yapısını zayıflatır ve değişimine neden olur. Çiftlik makinalarının yardımı ile toprağın sıkışması da sağlanabilir.

Pedlerin büyüklüğü, şekli ve düzeni toprağın gözenekliliğini belirler. İyi gelişmiş bir yapıya sahip toprak, büyük ölçüde geçirimliliğe ve gözenekliliğe sahiptir. Aynı şekilde iri taneli topraklar daha zayıf bir yapıya sahiptir. Toprak gözeneklerinin boyutları ve ilişkileri, toprakta suyun ve havanın hareketini belirler. Yapısal gelişmesi iyi olan topraklarda, akaçlama ve havalandırma da iyi olur. Toprağın gözenekliliği bitki köklerinin gelişmesini ve mikrobiyal gıda akışını sağlar.

Toprağın Kimyasal Özellikleri

Toprağın kimyasal özellikleri gözetilerek, toprağın kolloidleri olarak tanımlanan partiküllerin arasındaki bağların kurulması gerekir. Toprağın kolloidlerinin çapı 0.002 mm' den daha küçüktür. Bunlar suyun içinde asılı olarak durur. Toprağın en önemli kolloidleri kil mineralleri ve organik gereçlerdir. Toprağın, dolayısıyla killerin temel yapı elemanları Şekil 7' de görülmektedir.



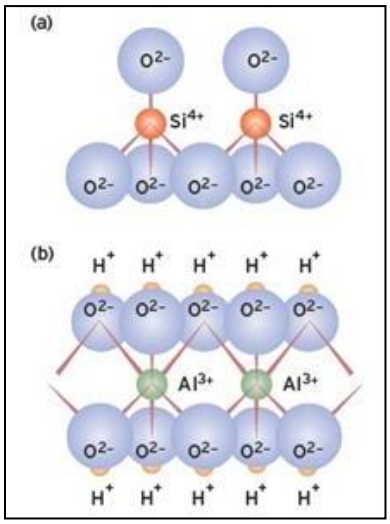
Şekil 7. Toprağın temel yapı elemanları. (a) bir silikon tetrahedronun yapısı;
(b) bir alüminyum oktahedronun yapısı (Smithson ve diğerleri, 2002).

Kil Mineralleri ve Katyon Değişimi

Killer alüminyum ve silikat içeren feldispat türü minerallerinin günlenmesiyle oluşur. Killer, çapı 0.02 mm' den daha küçük olan taneler olup, geniş bir yüzeye ve elektriksel bir yüke sahiptirler. Onun için killer suyu ve katyonu tutabilir. Dolayısıyla killer, toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde son derece önemli bir etkiye sahiptir. Killerin oluşumuna hidromorfik bileşenler de katılabilir. Bu da bir kristaldeki atomun aynı boyuttaki başka bir atomla yer değiştiğinde, mineralin kristal yapısında değişim olmaksızın meydana gelir.

Örneğin Al^{+3} ve Si^{+4} yer değiştirebilir (Şekil 8 a ve b). Böyle bir yer değiştirme sonucunda tetrahedral yapı da oktahedral yapıya dönüşür. Ayrıca, Mg^{+2} ve Fe^{+3} ile Fe^{+3} ve Ca^{+2}, Al^{+3} ile yer

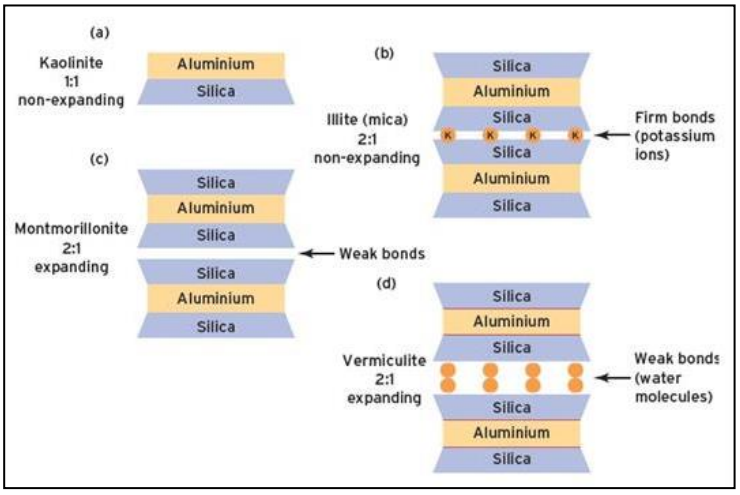
değiştirebilir. Killerin mineral yapısı elektriksel açıdan nötürdür. Fakat daha düşük pozitif yüke sahip bir iyon başka bir iyonla yer değiştirdiğinde kil minerali negatif bir yüke sahip olur.



Şekil 8. Bazı katmanlı yapıların görünümü: a) bir silika tetrahedral katmanın yapısı; b) bir alüminyum oktahedral katmanın yapısı (Smithson ve diğerleri, 2002).

Örneğin silisyum iyonu +4 değerde olan pozitif bir yüke sahiptir. Eğer silisyum alüminyumla yer değiştirirse kil bir pozitif yüke sahip olur. Si^{+4} ve $Al^{+3'}$ farklı katmanlarda dizilir. Bu dizilim sonucu çeşitli katmanlı yapılar ortaya çıkar Bazı killerin katmanlı yapısı ve Si^{+4} ile $Al^{+3'}$ katmanlarının dizilimi Şekil 9' da görülmektedir.

Kil minerallerindeki negatif net yük, katyonlarla dengelenir ve buradan da kil minerallerinin yüzeyine tutunur (yani kil mineralleri tarafından çekilip, adsorbe olur). Bu çekim, elektrostatik çekim kuvvetleriyle (örneğin Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+} , Na^{+} , Al^{+3} ve H^{+}) katyonlar dengelenir.



Şekil 9. Bazı kil minerallerinin silika ve alüminyum katlarının dizilimi: a) kaolinite; b) illite; c) montmorillonite ve d) vermiculite (Smithson ve diğerleri, 2002).

Toprak solüsyonu içindeki katyonlar, killerin yüzeyine tutunarak (adsoplanarak) yer değiştirilebilir. Bir solüsyondaki katyonla yüzeyindeki bir katyon arasındaki etkileşim katyon değişimi olarak bilinmektedir. Buna göre tüm katyon reaksiyonları kimyasal olarak dengelenmelidir. Örneğin Na^+ içeren bir kil, $CaCl_2$ solüsyonuyla yıkanırsa, her Ca^{+2} iyonu iki tane Na^+ iyonuyla yer değiştirir. Çünkü Ca^{+2}, iki tane Na^+ yüküyle dengelenir. Bu da aşağıdaki eşitlikle tanımlanabilir:

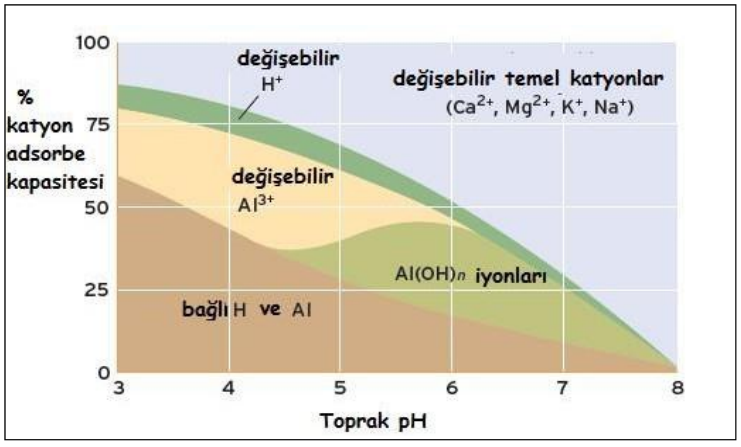
$$\underset{\text{(Toprak kolloidi)}}{Na^+\ Na^+\ Na^+} + CaCl_2 \leftrightarrow \underset{\text{(Toprak kolloidi)}}{Na^+\ Na^+\ Na^+} + 2NaCl$$
$$Na^+\ Na^+\ Na^+ \qquad Ca^{2+}\ Na^+$$

Katyon değişim (adsorbsiyon) reaksiyonları hızlı ve aynı zamanda geri dönüşümlüdür. Toprak ve solüsyon arasındaki katyonların dağılımı kil minerallerinin yüzeylerinde var olan çekim kuvvetine ve göreli değişimlerine bağlıdır. Katyonlar, toprak solüsyonundaki katyonlarla dengelenen yerlerde adsorblanırlar. Örneğin Ca ve Mg, toprak solüsyonunda egemen ya da baskın katyonlar ise, bunlar aynı zamanda değişimin olduğu yerlerde de egemendirler. Genellikle adsorbsiyonun çekim kuvveti katyonun derişimi ile artar ya da sudaki katyonların büyüklüğü ile de azalır. Adsorbsiyonun gelişim sırası $Al^{+3} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > Na^+$ şeklindedir (Cresser ve diğerleri, 1993).

Toprağın katyon değiştirme kapasitesi (CEC=KDK) toprak kütlesindeki her birimdeki kil minerallerinin net negatif yükü ile ifade edilir. Bu da genel olarak kuru toprağın her kilogramındaki milliequvalant (meq) olarak ifade edilir. Toprak katyonları iki gruba ayrılabilir. Birincisi temel katyonlar olup, bunlar da Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+ ve Na^+ ile temsil edilen katyonlardır. İkincisi ise basit katyonlar olup Al^{+3} ve H^+ ile temsil edilirler. Katyonlardaki bu ayrım, toprağın doyuma ulaşmasını değerlendirmek için gereklidir. Bu da aşağıdaki eşitlik ile hesap edilebilir:

$$\text{Toprağın doyuma ulaşması (\%)} = \frac{Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+}{CEC} 100$$

Yüksek doyuma ulaşmış bir toprak (% 35'ten büyük) düşük doyuma sahip toprağa göre daha verimlidir. Topraktaki iyonların çözülme düzeyini ise, toprağın değişim (adsorbsiyon) kapasitesi ile toprağın asitliği belirler (Şekil 10; Chapman, 2008).



Şekil 10. Toprağın pH'ı ve katyon adsorbsiyonu arasındaki ilişkiye göre iyonların çözülme düzeyleri.

Toprağın Asitliği Olgusu

Toprağın asitlik ya da baziklik derecesi toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinde önemli bir değişken olarak yer alır. Toprağın asitliği, nötr ya da bazik olması, toprak solüsyonundaki H^+ iyon derişimlerinin (konsantrasyonlarının) ölçülmesiyle tanımlanır. 24 ^oC' lik saf su eşit oranda hidrojen (H^+) ve hidroksit (OH^-) iyonlarına ayrışır.

$$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$$

H^+ ve OH^- iyonlarının derişimi $1x10^{-7}$ (0. 0000001) mol'dır. Bu kadar küçük oranda hidrojen iyon derişimlerini değerlendirmek pek uygun olmadığından, hidrojen derişimleri hidrojenin negatif logaritması kullanarak daha kolay bulunabilir. Bu da pH olarak bilinir. pH logaritmik olduğundan 1 birimin değişimi H^+ derişimin de 10 kat değişimi ile ifade edilir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Toprağın pH değerlerinin H^+ ve OH^- derişimleri çerçevesinde tanımlanması.

pH	H^+ konsantrasyonu (litredeki molü)	OH^- konsantrasyonu (litredeki molü)	Tanımlama
3	0.001	0.000 000 000 01	Aşırı asidik
4	0.000 1	0.000 000 000 1	Güçlü asidik
5	0.000 01	0.000 000 001	Orta asidik
6	0.000 001	0.000 000 01	Hafif asidik
7	0.000 000 1	0.000 0001	Nötral
8	0.000 000 01	0.000 001	Alkalin
9	0.000 000 001	0.000 01	Güçlü alkalin
10	0.000 000 000	0.000 1	Aşırı alkalin

Örneğin H^+ iyonu derişiminde 10 kat artış, pH olarak 1 birim ile temsil edilir. Çizelge 5'de, H^+ ve OH^- iyonlarının derişimleri arasındaki bu ilişkiyi de göstermektedir. Bu iyonların derişiminin toplamı daima $1x10^{-14}$ e eşit olmalıdır. pH da 1'den 14'e kadar bir dizilim gösterir. Çoğu toprakların pH'ı 3.5-9 arasındaki bir değere sahiptir. Çok düşük değerler toprağın organik gereç açısından zengin olduğunu gösterir. Yüksek değerler ise sodyum karbonatın varlığından ileri gelmektedir. Toprak eğer asidik ise bununda nedeni toprak solüsyonundaki H^+ iyonlarının fazlalığıyla ilgilidir. Buda H^+ iyonlarının artmasından sorumlu olan alüminyum nedeniyle gerçekleşmektedir. Toprakta hidrojen ve alüminyumun egemen katyonlar olmasına neden olan birçok doğal ve yapay süreçler vardır. Bu süreçler nedeniyle aşağıda sunulan değişimler yaşanır:

1- Nemli bir iklimdeki katyonların değişimi günlenmenin oranından daha fazladır. Buna göre katyon değişimi, alüminyum ve hidrojenin egemen olmasıyla gelişir ve toprağın pH da düşer. Kuru iklimlerde ise toprak daha çok alkali bir nitelik kazanır.

2- Bitki köklerinde yaşayan mikroorganizmaların solunumuyla karbondioksit ortaya çıkar. Karbondioksit de aşağıdaki eşitlik çerçevesinde toprakta çözünür.

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO^3 \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$$

3- Organik gereçlerin çözünmesiyle hidrojen iyonlarının yer aldığı bileşikler oluşur.

$$[C_2H_4ONS] + 5O_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 + RCOOH + H_2SO_4 + HNO_3$$

4- Atmosferdeki ve asit yağmurlarındaki H_2SO_4 ve HNO_3 gibi asitlerin etkisi ile toprakta H^+ iyonları artar.

5- Amonyum içeren gübrelerle ilgili uygulamalarda nitrat ve H^+ iyonu ortaya çıkar. Amonyum toprakta nitrifikasyon olarak bilinen reaksiyona göre mikroorganizmalar tarafından oksitlenir.

$$NH_4^+ + 2CO_2 \leftrightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$$

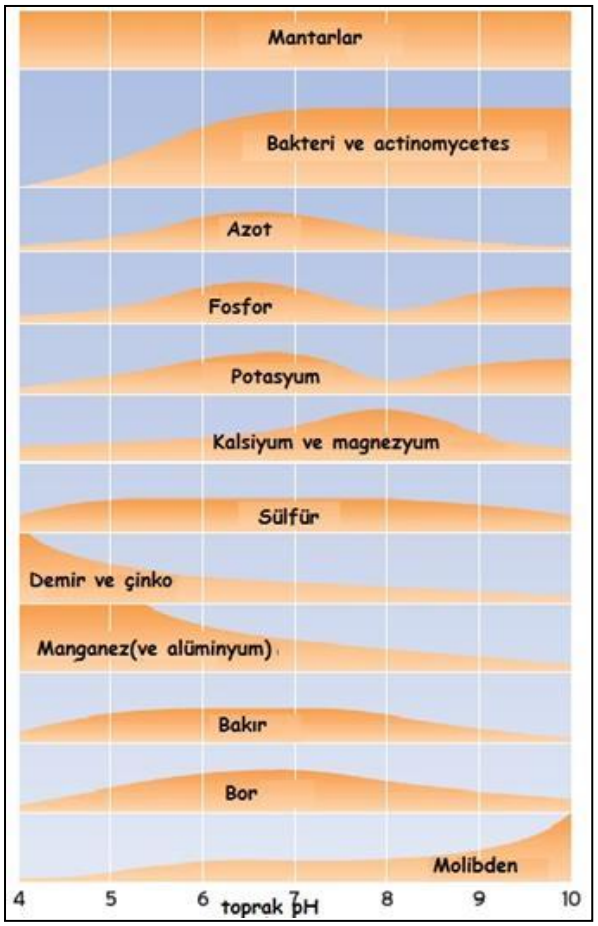
6- Ana katyonlar bitkiler tarafından alınır ve bu katyonlar toprağa geri döner. Buna göre eğer bir ürün elde edilirken bu ana katyonların toprağa dönüşü etkin ise hidrojen ve alüminyum birikimi artar.

7- Kıyılardaki alanlar sıkça pirit (FeS_2) içerir.

8- Demir sülfür, asitle reaksiyona girdiğinde oksijen azlığı ortaya çıkar. Demir oksitlenir ve asidik ortam oluşur.

$$4FeS + (9CO_2 + 4H_2O) \leftrightarrow 2Fe_2O_3 + 4H_2SO_4$$

Toprağın pH'ı ürünlerin gelişmesini etkiler. Bitkiler topraktaki pH'ı tolere ettiğinde önemli ölçüde değişime uğrar. Toprağın pH'ı çoğu kirleticilerin geleceğini de belirler. Örneğin pH, kirleticilerin yok olmasını, çözülmesini, toprağın yüzeyine ya da yeraltı sularına doğru hareketini etkiler. Çoğu ağır metaller asidik koşullarda suyun içinde çözünür ve yeraltı suyuna karışır. Yeşil bitkilerin normal olarak gelişmemesine neden olan 16 esas yapı vardır (Şekil, 11).



Şekil 11. Toprağın pH' ına göre zehirlilik etkisi olan yapıların dağılımı (Chapman, 2008).

Bitkilerin oluşturduğu besinlerde bu yapıdaki elementlerin varlığı, toprağın pH'ı ile yakından ilişkilidir. pH, bitkilerin sayısı ve türleri ile topraktaki organizmaların faaliyetlerini de etkiler. Bu yapılar ancak belli oranlarda olduğu zaman zehirlilik etkisi göstermezler. Bu elementlerin bazıları makro besinlerde (karbon, oksijen, hidrojen, nitrojen, fosfor, sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve klorid), bazıları da mikro besinlerde (demir, manganez, çinko, bakır, bor, molibden) bulunurlar.

Genel olarak pH aşağıdaki reaksiyonlara yol açar:

1- Topraktaki organizmaların faaliyetini ve sayısını azaltır. Bu organizmalar başlıca kurtlar, amonyumu nitrata çeviren bakteriler, organik maddelerin çözülmesine yol açan organizmalar, azotu tutan bakterilerdir.

2- Mikro besinlerde zehirlilik etkisini gösteren elementlerin derişiminin artmasına yol açar. Özellikle demir, manganez ve çinkonun derişimi artar. pH, bir ölçüde de mikro organizmalara ve bitkilere zehirlilik etkisi yapar.

3- Fosfor ve molibden çözünemez ve bitkilere kolayca ulaşamaz.

4- Makro besinlerin azalmasına yol açar. Özellikle, kalsiyum, magnezyum, potasyum, nitrojen, fosfor, sülfür eksikliğini yansıtan göstergeler ortaya çıkar. Bitki köklerinin etkinliğini azaltır.

5- Alüminyuma ilişkin zehirlilik düzeylerinin artmasına neden olur.

Yüksek pH, toprakta fosfor ve borun çözünmemesine, dolayısıyla mikro besinlere ulaşmamasına yol açar. Özellikle, demir, manganez, çinko ve bakır eksikliği ortaya çıkar. Bunların eksikliği halinde bitkiler daha az gelişir. pH' ın 6 ve 7 olduğu durumlarda bitkiler genel olarak daha iyi gelişir. Ancak bazı bitkiler de pH'ın düşük ya da yüksek olduğu durumlara uyum sağlarlar.

KAYALARIN DEĞİŞİMİNE NEDEN OLAN HUSUSLAR

Kayalar, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda ayrışmaya ve çözülmeye başlar. Bu değişimlere neden olan en önemli hususlar aşağıda sunulmuştur:

Homojenlik durumu

Çeşitli minerallerden oluşan kayalar, bir ya da iki mineralden oluşan kayalara göre daha çabuk parçalanırlar. Tekdüze olmayan (heterojen) yapıdaki kayalarda, her mineralin çözülmeye karşı direnci farklıdır. Kolay çözünen mineraller kayadan uzaklaştıkça, boşluklar ortaya çıkar, mineraller arası bağlantı kopar ve kaya çözülmeye başlar.

Kopma direnci ve kohezyon durumu

Kayalardaki mineral ve çeşitli maddelerin birbirine bağlanma derecesi, kopma direnci ve kohezyon gücü üzerinde etkilidir. Örneğin, kil miktarı fazla olan alanlarda, kohezyon yüksektir. Kil partikülleri birbirlerini tuttuğu için, bu tip kayaların aşınması ve ayrışması oldukça zordur.

Pekişme durumu

Çimento maddesi ile iyice pekişmiş olan kayalar, az pekişmiş ya da serbest halde bulunan çökellere göre daha zor ayrışır. Çimentonun bileşimi önemlidir. Örneğin, silisli çimentoya sahip kayalarda pekişme daha iyidir. Ayrıca metamorfizma ne kadar güçlü ise, kayaların parçalanması o kadar zor olur. Bunun yanı sıra, kayalardaki çatlaklar, ayrışmayı hızlandırmaktadır.

Gözeneklilik ve geçirgenlik

Kayalarda gözeneklerin ve geçirgenliğin fazla olması, suyun kayaların içine kadar sızmasına ve çözülmenin hızlanmasına neden olur. Gözenekli olan kumtaşları ve marnda ayrışma fazladır. Gözenekli olmasına karşın, su aldığı zaman şişmeyen çakıl taşı ve volkanik kayalarda çözülme çok zordur.

Erimeye karşı olan direnç durumu

Kayaların bileşimindeki minerallerin, oksidasyon ve hidratasyona karşı dirençleri çok farklıdır. Örneğin, çimentosu silisli olan kayalar, aşınma ve çözülmeye karşı çok dirençlidir. Kireçli, jipsli olan

kayalar ise, çok kısa sürede erir. Karbonik asitli sular, kireçli kayaları eritebildiği halde, kuvarsitleri ve silisli kayaları eritememekte ya da bunlar üzerinde çok az etkili olabilmektedir.

Karbonatik kayalar, ayrışma sonucunda, kütlelerin yaklaşık %90'ını kaybetmektedir. Geriye kalan kısımlar, toprak katının oluşmasını sağlamaktadır. Bu kayalar üzerindeki toprakların ince olması, bu nedene dayanmaktadır. Ülkemizde, Toroslar'da kireçtaşlarındaki $CaCO_3$'ün erimesi sonucunda, geride kalan killer toprağı oluşturmuştur. Kalsiyum ve demir oksitli mineralleri içeren volkanik kayaların ayrışması da, oldukça kolaydır.

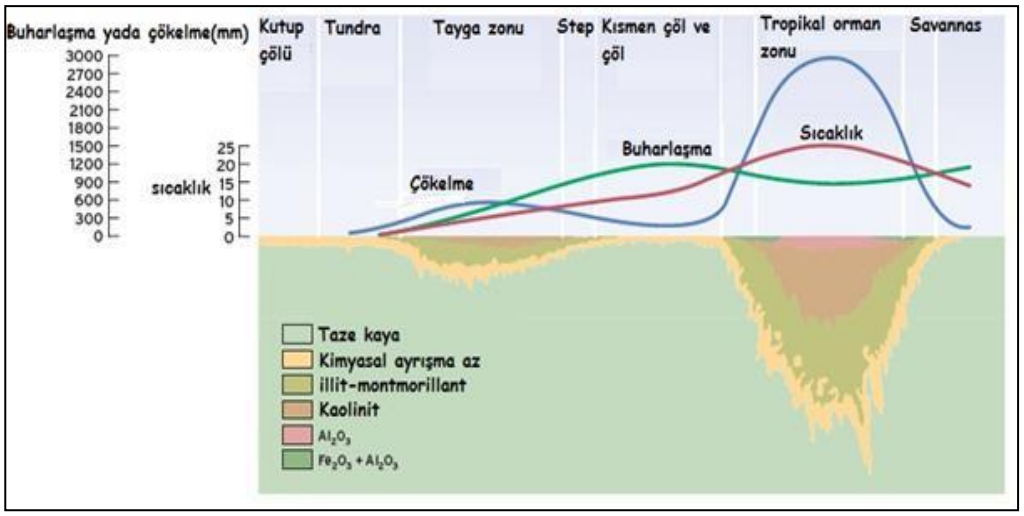
TOPRAĞIN OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Toprak oluşumunda, en önemli süreçler yerel ve bölgesel çevresel faktörlerdir. Toprak oluşumu ve toprak profilinin gelişmesi, yüzlerce, hatta binlerce yıl süren parçalanma, ayrışma, yıkanma ve birikme gibi süreçlerin ürünüdür. Bu süreçlerde iklim, ana kayanın özellikleri ve mineralojisi, röliyef, organizmalar, zaman gibi unsurlar ve bu unsurların bileşik etkileri belirleyicidir. Ayrıca küresel iklim değişikliklerinin de bölgesel tarımı derinden etkileyebileceği öngörülmektedir.

İklimin etkileri

İklim, nem ve sıcaklık değişimlerinin belirleyici olduğu, toprağı oluşturan en önemli faktördür. Ayrıca iklim bitki örtüsünün dağılımını belirlemede önemlidir. Yağış en önemli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri de kapsayan ve özellikle günlenme ve kimyasal ayrışmaya yol açarak toprağın oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Su etkin bir biçimde toprak profilini ve regulitin içine nüfuz ederek toprağı oluşturmaktadır. Yağışın miktarı yani buharlaşma oranı toplam yıllık yağışla ilişkili olarak toprağı topoğrafya ve ana kayanın geçirgenliğine bağlı olarak etkiler. Bütün bunlara göre sızan su günlenme süreçlerini etkiler ve toprağın derinliğini horizonların oluşumuna katkıda bulunur.

Sıcaklığın toprağa olan etkisi minerallerin günlenmesini ve organik maddenin ayrışması yoluyla toprak oluşum oranını etkiler. Her 10 ^{0}C'lik sıcaklık yükselmesinde kimyasal reaksiyonların hızlı biyolojik faaliyetlerin 2 katına çıkmasına ve suyun birkaç kez hızlı buharlaşmasının artmasına yol açar. Kimyasal günlenmenin oranları kutuplarda daha az tropikal iklimlerde sıcaklık ve nemin daha fazla olmasından dolayı daha fazladır (Şekil 12). Buna ek olarak topraklar yükseklik ve konumla ilişkili olarak mikro iklimler tarafından da etkilenmektedir.



Şekil 12. Kutup bölgelerinde Ekvatora kadar ki aralıkta iklim ve biyomla birlikte toprak derinliği değişiminin şematik görünümü. Burada görüldüğü gibi toprak tropikal zonlar da gelişmiş kutupta ise daha incedir. Buna ek olarak alüminyum ve demir oksitin günlenme oranları da görülmektedir (Birkeland, 1999).

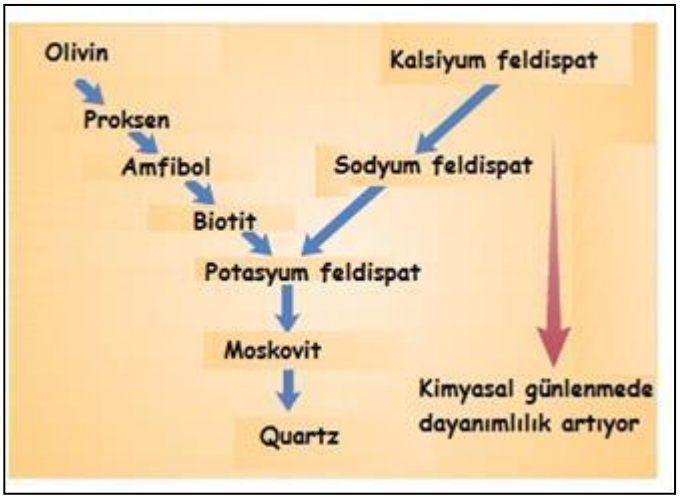
İklimin, toprağın bileşimi üzerindeki etkisi de önemlidir. Tropikal ve ılıman iklim koşullarının toprağın bileşimi üzerindeki etkisi % olarak Çizelge 6' de sunulmuştur. Çizelge 6' de tropikal ve ılıman koşullarında, SiO_2 yüzdesinin birbirine yakın olduğu; Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, TiO_2, MgO ve P_2O_5'in tropikal bölgelerde; CaO, K_2O ve Na_2O'nun da ılıman iklim koşullarındaki daha çok oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 6. İklimin toprağın bileşimi üzerine etkisi (Aydeniz 1985).

Toprağın içeriği	% olarak etkiler	
	Tropikal iklim	Ilıman iklim
SiO_2	3-30	2-30
Al_2O_3	10-40	2-20
Fe_2O_3	10-70	0.5-10
MnO	0.1-1.5	0.005-0.5
TiO_2	0.5-15	0.3-2
CaO	0.05-0.5	0.3-2
MgO	0.1-3.0	0.05-1
K_2O	0.01-1.0	0.1-4
Na_2O	0.01-0.5	0.1-2
P_2O_5	0.01-1.5	0.03-0.3

Ana kayanın etkileri

Toprak, kaya yüzeylerinde günlenme ile yerli yerinde oluşabilir. Ya da yüzeydeki gerecin yerçekimi, su, buz ya da rüzgâr etkileriyle taşınıp çökelmesiyle de oluşur. Ana kaya toprak oluşumunu etkiler. Bu da günlenme süreçlerini ve günlenmiş olan gerecin toprağa dönüşüm süreçleriyle meydana gelir. Kaya türleri yüzeylenmiş olan kayaların minerolojik bileşimine bağlı olarak günlenme oranlarını etkiler. Günlenmiş olan yüzey ne kadar büyük olursa günlenme oranı da o ölçüde artar. Bazı mineraller günlenmeye karşı duyarlıdır. Minerallerle ilgili bir günlenme sırası olduğu ve silikat minerallerinin bir duyarlılık serisini temsil ettiği bilinmekte, bu da Şekil, 13' de sunulmuştur.



Şekil 13. Kaya oluşturan minerallerle ilgili günlenme sırası.

Kayaların türü ve minerolojisi, kayaların günlenmeye karşı duyarlılığını belirler. Örneğin dayanımlı magmatik kayalar daha az günlenir ve ince, iri taneli kayalıklı toprakları oluştururlar. Buna karşılık gevşek yapılı kum taşları çok hızlı günlenir ve kalın az taşlı-bloklu kumlu toprakları oluştururlar. Ana kaya üzerinde gelişen topraklar üzerinde oluştuğu ana kayanın bileşimine bağlı olarak bazik ya da

asidik olurlar. Bu da ana kayanın daha çabuk kimyasal olarak ayrışmasında ve bu ayrışmanın günlenme ile yer değiştirmesinde belirleyicidir.

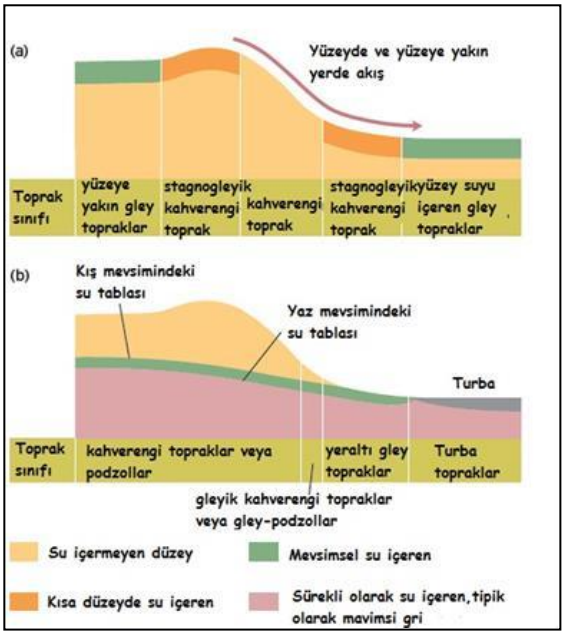
Killer, silt taşları, çamur taşları ve şeyler ince taneli kayalardır. Bunlar genellikle düşük geçirgenliğe sahip siltli ve killi topraklara dönüşürler. Kireçtaşının günlenmiş olan ürünleri kolaylıkla çözünebilir. Bundan dolayı da toprak derinliği de kireçtaşının özellikle dik yamaçlarda azdır. Yamacın tabanında alt kesiminde ise toprak daha fazla oluşur ve bu topraklar kimi yerlerde daha iyi akaçlamayı sağlarlar.

Röliyef/Morfolojinin etkileri

Morfoloji (yükseklikle ilişkili olarak) ile hidrojeolojik yapı ve toprağın sınıfı ya da türü arasında bazı temel ilişkiler vardır (Şekil 14). Örneğin morfoloji ya da röliyef, toprağın oluşumunu etkiler. İklim röliyefin (ya da topografyanın) yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sıcaklık da yükselmeye bağlı olarak azalır. Yüksek yerler atmosferik süreçlerden de daha çok etkilenir. Yamaç eğimi de önemli bir faktördür. Dik yamaçlarda erozyon daha hızlı olur. Bunun nedeni suyun dik yamaçlarda daha hızlı süzülmesiyle ilgilidir. Onun için dik yamaçlarda, az eğimli yamaçlara göre daha zayıf topraklar oluşur.

Yüzeyde ya da yüzeye yakın akışın yanı sıra geçirimsiz katmanların olduğu yerlerde yamaç önü ve yamaç ardı bölgelerde 'gley topraklar' oluşur (Şekil 14a). Oysa yamaçlarda kahverengi topraklar daha egemendir. Geçirgen olan yamaçlarda ana kayadaki su alt düzeylere doğru daha hızlı akar. Dik yamaçlarda akaçlama daha iyi olur. Yamacın alt düzeylerinde de yeraltı suyu daha egemen olur. Su tablasının yaz ve kış mevsimlerinde önemli oranda değiştiği yerlerde, kahverengi topraklar yamaç ve yamaç gerisinde, gley topraklar yamaç ilerisi, turba ise yamacın sonlandığı düşük kotlu yerlerde oluşur (Şekil 14b).

Konum, yer yüzeyine ulaşan güneş ışınlarının geliş açısı ile tanımlanır. Örneğin, kuzey yarım kürede güneye bakan yamaçlar kuzeye bakan yamaçlara göre daha çok güneş alır. Dolayısıyla daha sıcak ve daha düşük nem içeriğine sahip olur. Sonuç olarak güney yamaçlardaki topraklar daha kuru, bitki örtüsü daha az ve bu nedenle organik madde açısından fakirdir. Güney yarım kürede ise durum bunun tam tersidir.



Şekil 14. Morfoloji (röliyef), hidrojeoloji ve toprak türleri arasındaki ilişkiler: (a) düşük geçirimli ana kaya; (b) geçirimli ana kaya (Chapman, 2008).

Yağış orta enlemlerde yüksekliğe bağlı olarak artar. Bu da buharlaşmaya göre yağışın daha fazla olmasına yol açar. Kimyasal ayrışma oranları yüksek olduğunda akaçlamanın zayıf olduğu yerlerde toprak su ile dolar. Düşük sıcaklıklar biyolojik faaliyetlerin azalmasına da yol açar. Bu da organik gereçlerin daha az ayrışmasına neden olur. Böylece yüzeyde kalın organik horizonların birikmesi ve sonunda da organik gereçlerin oluşumu meydana gelir.

Organizmaların etkileri

Organizmalar başlıca bitkileri, hayvanları, mikroorganizmaları ve insanları içermektedir. Bitki örtüsü doğal koşullarda topraktan su ve mineral besinleri alır. Su ve besinler bitkilerin ve diğer organizmaların gelişimi için gereklidir. Daha sonra besinlerin tümü doğaya, yani toprağa geri verilir. Bitki örtüsünün türü toprağa dönüşen gereçlerin türünü ve miktarını belirler. Farklı toprak türleri farklı bitki örtüsü topluluklarının ürünüdür. Bitki örtüsü toprağı rüzgârdan ve yağıştan korur, yağışın akışını azaltır ve toprağın partiküllerini bir arada tutar. Ayrıca bitki örtüsü, toprağın yapısını ve gözenekliliğini geliştirir ve korur.

Yer solucanları ve diğer küçük hayvanlar toprağı karıştırır ve havalandırır. Toprak solucanları iyi derecelenmiş topraklardaki su akışını arttırır ve toprağın duraylılığına katkıda bulunur. Organik gereçlerin minerallerle etkileşimi ile birlikte toprağın duraylılığı artar. Mantar, bakteri ve tek hücreli protozoaları içeren toprak organizmaları organik gereçlerin oluşumunda önemli bir rol oynar. Nihai ürün humustur. İnsanlar bitki örtüsünü değiştirerek drenaj ve sulama gibi faaliyetler, gübreyi, kireci ve pestisiti toprağa katarak ya da kentsel ve sanayi gelişimi yoluyla toprağı etkiler. Bu faaliyetlerin sonucunda toprağın nitelikleri değişime uğrar. Örneğin tarımın yapılması da, tarım topraklarının diğer amaçlarla kullanılması da çevrenin doğal işleyişini tümüyle etkilemektedir.

Zaman

Toprağın oluşması ve gelişmesi uzun bir süreçtir. 30 cm kalınlığında bir katmanın oluşumu bin ile on bin yıl gibi bir zaman aralığında olmaktadır. Bu zaman içerisinde toprağın özellikleri sürekli değişmektedir. Toprak profilindeki farklılaşmanın hızı, derinliği ve meydana gelen horizonların kalınlığı topraktaki değişimi yansıtır.

Zamanla toprağın özelliklerindeki değişim hızı ihmal edilebilecek düzeye eriştiğinde, toprağın duraylı bir konuma geldiği söylenebilir. Gerçekte toprak duraylı konuma seyrek olarak ulaşır. Bunun nedeni çevresel faktörlerin herhangi birindeki değişimin olmasıdır. Çoğu topraklar sadece bir faktörden etkilenmezler. Toprak oluşumu birbirini izleyen etkilere de maruz kalabilir.

Örneğin, Kuvaterner' de buzul ve buzul arası dönemlerde, iklimdeki büyük değişimler birbirini izlemiştir. Yukarı ve orta enlemlerde buzullaşma ile toprağın büyük bir bölümü aşınmıştır. Aşınan malzeme başka alanlara taşınmıştır. Günümüzdeki toprak oluşumu son buzul çağından (on bin yıl öncesinden) beri devam etmektedir.

Bileşik etkiler

Yukarıda sunulan toprağın oluşumunu etkileyen 5 temel faktörün birbirini de etkilediği de söylenebilir. Örneğin iklim, bitki örtüsünü, insan faaliyetlerini ve topoğrafyayı etkiler. Bitki örtüsü iklim ve ana kayadan etkilenir. Aslında 5 faktörün bileşik etkisi toprağı oluşturur. Bu faktörler dünyada farklı toprak profillerinin oluşumuna yol açar. Topraklar her yerde aynı oranda ya da aynı tür horizonların bileşimiyle oluşmazlar. Ancak toprak horizonlarının gelişme düzeylerine göre topraklar sınıflandırılabilirler (Çizelge 7).

Çizelge 7. Büyük toprak gruplarının (%) olarak oluşumu (MISIR, 1984).

Toprak türü	İngiltere ve adalar	İskoçya
Litomorfik toprak	7	10
Kahverengi topraklar (pelosols içeriyor)	45	19
Podzollar	5	24
Gley toprak (yüzey ve yeraltı suyunu içeriyor)	40	23
Turba topraklar	3	24

TOPRAĞIN OLUŞUMUNA DAİR EVRELER

Toprak oluşumu ve profil gelişmesi, yüzlerce, hatta, binlerce yıl süren parçalanma, ayrışma, yıkanma ve birikme olayları sonucunda olmaktadır. Toprağın oluşumu sırasında geçirilen evreler ve bu evreler arasındaki karmaşık ilişkiler Şekil 15' de özetlenmiştir (Atalay,1989). Söz konusu evreler başlangıç evresi, ayrışma, dönüşme, farklılaşma ve horizonlaşma olarak tanımlanabilir.

Başlangıç evresi

Toprak oluşumunda ilk evre, ana gerecin fiziksel olarak parçalanmasıdır. Ortamdaki sıcaklık değişimi parçalanmayı başlatan bir faktörüdür. Parçalanma için ayrıca su, karbondioksit ve oksijene gereksinim duyulmaktadır. Bu gereksinim duyulan maddeler genel olarak hidroliz, oksidasyon, çözünme ve hidratasyon olaylarına da açıktırlar.

Ayrışma

Ayrışma, ana materyalin fiziksel olarak parçalanmasından sonra gerçekleşmektedir. Hidroliz, çözünme ve oksidasyon gibi kimyasal süreçler sonucunda, ana gereç ayrışarak hem toprak minerallerini oluşturmakta hem de bitki besin maddelerini açığa çıkarmaktadır. Toprak canlılarının ortama yerleşmesi, organik madde döngüsünü hızlandırmaktadır. Karbonatlaşma olayı ile çeşitli karbonatlar meydana gelmekte, killeşme ile organik bileşikler, demir, magnezyum, çinko, bakır gibi katyonlarla birleşmektedir. Birleşme ve ayrışma reaksiyonlarının sonucunda, canlılara ait artıklar değişime uğramakta ve çeşitli yeni oksitler meydana gelmektedir.

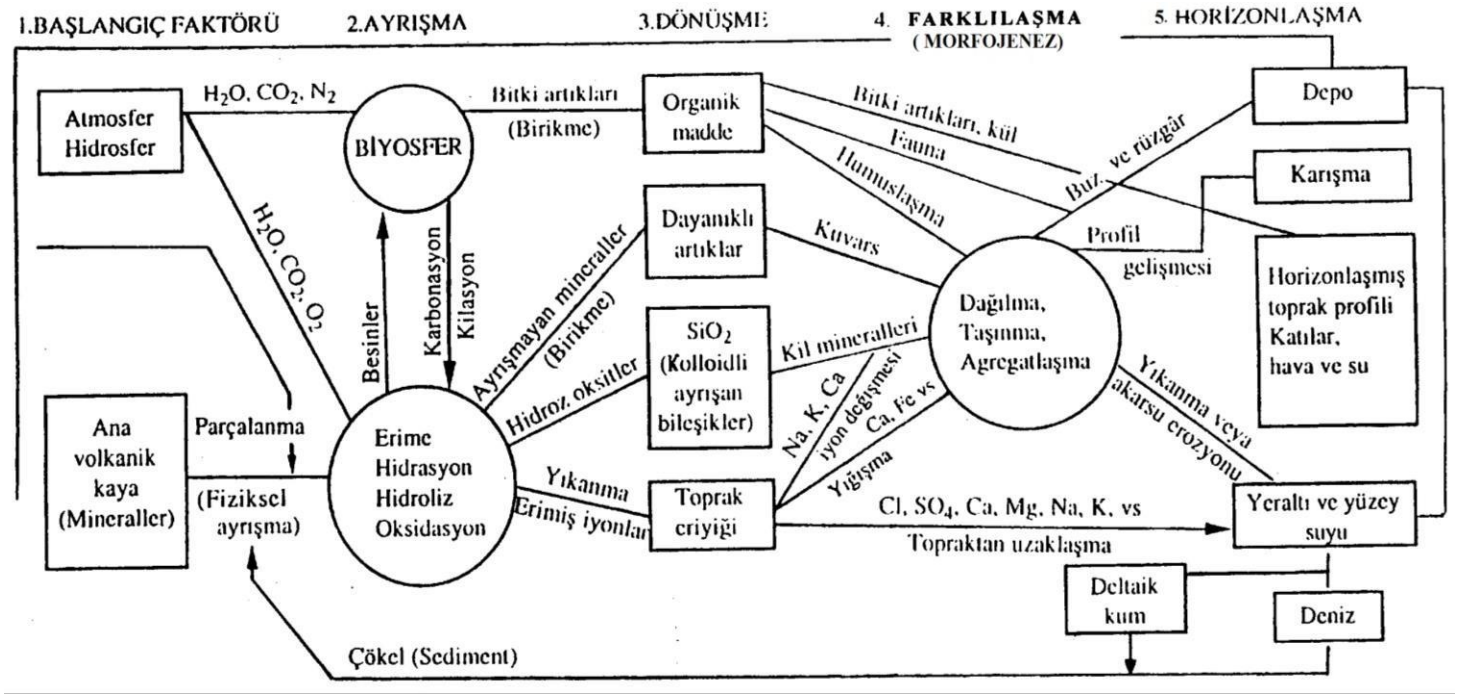
Dönüşme

Bitki ve hayvan artıkları, organik maddelere dönüşmekte, dayanıklı artıklar toprakta kalmaktadır. Çözünmüş haldeki bileşikler, toprak suyuna katılarak toprak çözeltisini oluşturmaktadır.

Farklılaşma (morfojenez)

Topraktaki organik maddelerin ayrışması sonucunda, çeşitli mineraller açığa çıkmaktadır. Kuvars gibi, toprakta çözünmeyen maddeler, topraktaki bazı horizonlarda yığılmaktadır. İlksel minerallerin ayrışmasıyla, killer oluşmaktadır. Toprak çözeltisindeki sodyum, potasyum ve kalsiyum iyonları, killer tarafından tutulmakta, böylece kalsiyum ve demir birikimleri artmaktadır. Toprakların fazla yıkandığı koşullarda klor, sülfat, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi elementler, topraktan uzaklaşmaktadır.

Toprak yapısında fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönden yeni bir şekillenme ve değişim olmaktadır. Toprak parçaları birleşip kırıntıları kümeleri, blokları meydana getirmekte; kil, silis, kireç gibi maddeler, yağışlara bağlı olarak toprak profili boyunca taşınarak biriktirilmektedir. Bu şekilde, toprakta, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı katlar oluşarak toprak profili oluşmaktadır.



Şekil 15. Toprağın oluşumunu etkileyen evreler ve bu evreler arasındaki ilişkiler (Atalay 1989).

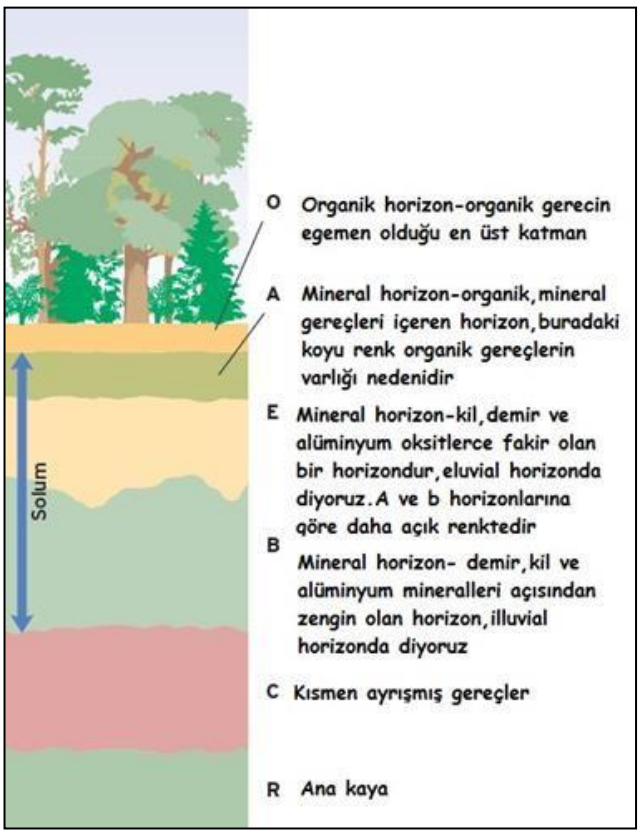
Horizonlaşma

Toprakta, yüzeyden başlayarak, ana gereçleri de kapsayacak şekilde alınan kesite ***toprak profili*** denir. Toprak profili, çeşitli horizonları ve katmanları içerir. Horizon, toprak oluş süreçleri ile oluşmuş, belirgin özellikleri bulunan ve toprak yüzeyine az çok koşut olarak dizilmiş toprak katmanıdır. Topraklarda, genetik horizonlardan başka, toprak katmanı olarak adlandırılan katmanlar bulunur. Bunlar, genetik toprak horizonu değildir. Toprak katmanları, genellikle, alüviyal gereç, kumlar, lösler ve volkan küllerinden oluşan olgunlaşmamış topraklarda görülür.

Profili meydana getiren çeşitli horizonların dizilişi, derinliği, kimyasal özelliği, dokusu ve rengi, toprak sınıflaması ve haritalamasında çok önemlidir. Topraklar, derinlik bakımından farklılık gösterir. Genel olarak, ılıman bölgelerde, toprak profili 90-150 cm derinliğine kadar incelenir. Toprak profili, kutuplara doğru incelir, ekvatora doğru derinleşir. Sulama ve akaçlama bakımından yeterli olmayan topraklarda, profil incelemelerinin derin yapılması önemlidir.

TOPRAK PROFİLİ

Topraklar, toprak profilinin özellikleriyle tanımlanır. Toprak profilinin de yer yüzeyinden ana kayaya kadar uzanan dikey bir kesiti içermektedir. Buda toprak horizonları olarak bilinen farklı yatay katmanlardan oluşur. Bu şekildeki bir dizilim toprakta suyun yatay devinimi ile oluşmaktadır. Toprak horizonları profildeki konumlarına göre harflerle tanımlanır. Chapman (2008), toprağın önemli horizonlarını Şekil 16' de görüldüğü gibi tanımlamıştır.



Şekil 16. Nemli bir bölgede iyi akaçlanmış bir toprakta gelişmiş olan bir toprak profili, önemli horizonları ve bunların göreli konumunu göstermektedir.

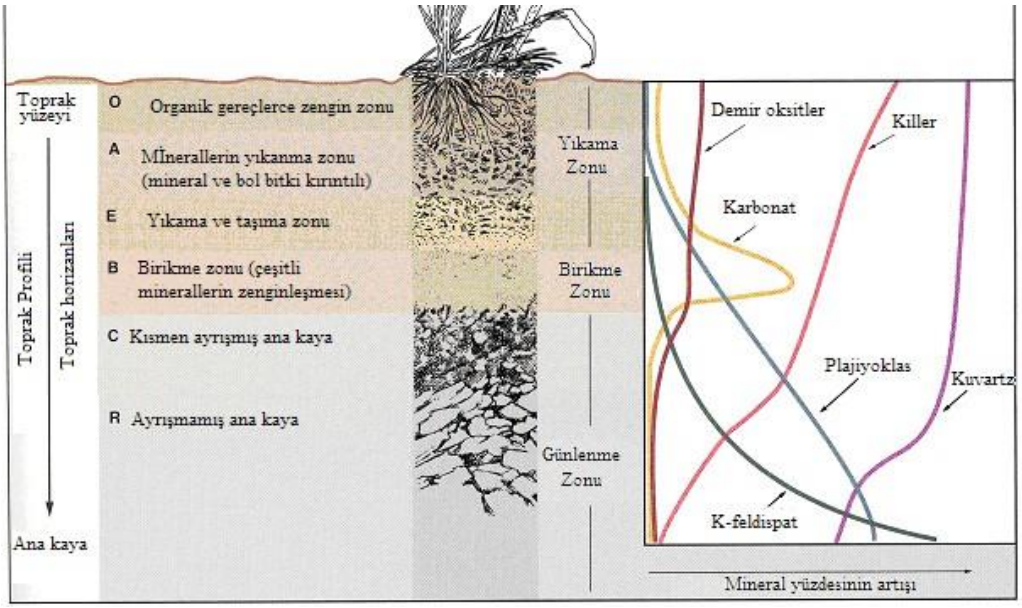
'O' horizonu büyük ölçüde organik gerecin yer aldığı en üst katmanı temsil eder. A horizonu, O horizonunun altında yüzeye yakın bir yerde oluşur. Bu horizon mineral ve organik (özellikle humus)

gereçlerinin bir karışımını içerir ve bu yüzden daha alttaki horizonlara göre daha koyudur. A horizonun altında elluviyal horizon ya da E horizonu yer alır.

E horizonunda kil, organik madde gibi demirin daha az yer aldığı bir horizon olup genel olarak açık kül rengine sahiptir. E horizonları ormanların iyi geliştiği topraklarda yağışın yüksek olduğu yerlerde daha iyi bir konumda yer almaktadır. Daha altta yer alan B horizonu kil, demir, organik gereç ve karbonatların biriktiği bir zon olup, genel olarak illuviyal horizon adını almaktadır. Bazı topraklarda demir oksit birikimi, B horizonunun kırmızı renk almasına neden olur.

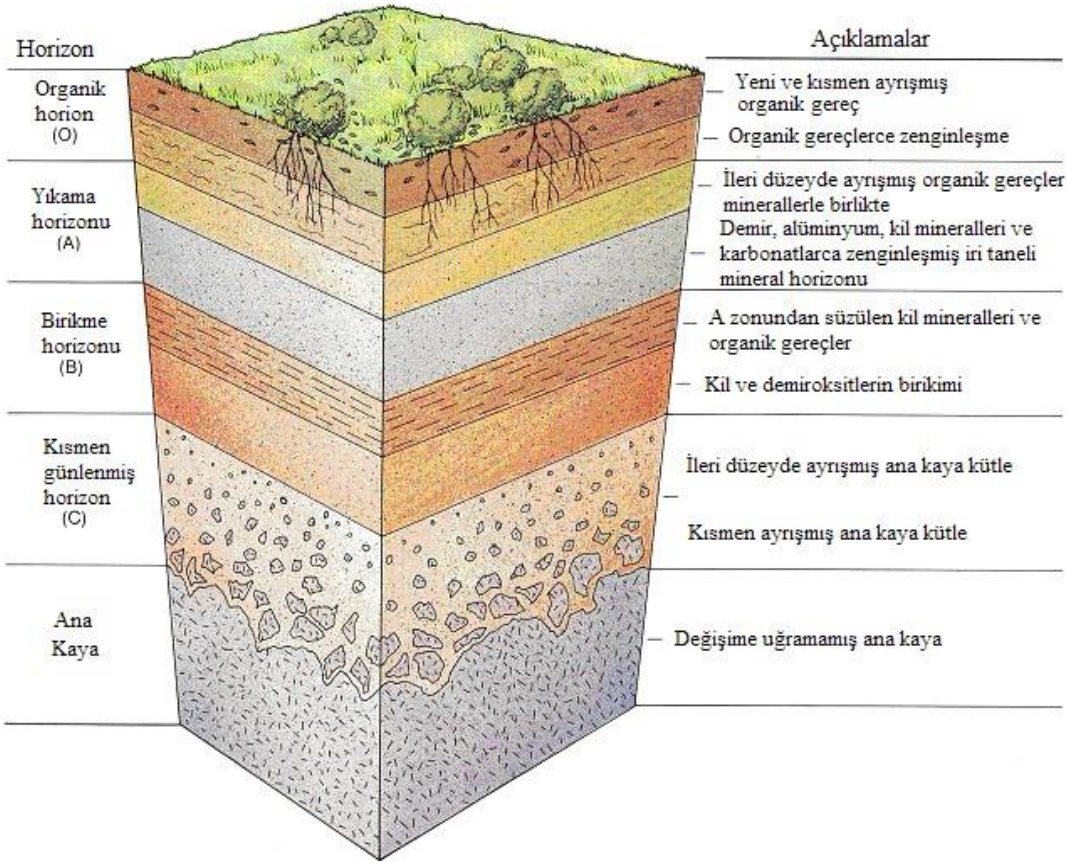
A, E ve B horizonları 'solum' olarak adlandırılırlar. Solum toprakta oluşan süreçlerin etkin olduğu bitki kökleri ve hayvanların yaşadığı geniş bir alan olarak tanımlanır. B horizonu C horizonuna dereceli olarak geçer. C horizonu da 'regolith' olarak bilinen günlenmiş ana kayanın pekişmemiş olan gereçlerinden oluşmaktadır. Regolith fiziksel ve kimyasal süreçlerden etkilenirse de az oranda da olsa biyolojik faaliyetlerden de etkilenir. Onun için bu bölüm 'solum'un bir parçası değildir. Eğer C horizonunun altında günlenmemiş kayalar varsa bunlar da ana kaya olarak adlandırılır ve R (Rock) horizonu olarak tanımlanır.

Bazı toprak profillerinde horizonların rengi belirgindir ve kesin sınırlarla ayrılırlar. Oysa bazı toprak profillerin de iki horizon arasında dereceli geçebilir ve sınıfları birbirinden ayırt etmek zordur. Buna göre renk, toprak horizonlarını birbirinden ayırt etmede önemli bir unsurdur. Renk, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini yansıtır. Resmi olmayan terimlerden olan ''üst toprak ve alt toprak" da sıkça kullanılır. Üst toprak bitkilerin yetiştiği A horizonunun üst düzeyine, alt toprak ise üst toprağın altında ve B horizonuna karşılık gelir. Bazı minerallerin toprak profilindeki bolluk oranları ise Şekil 17' de ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 17. Bir toprak profilinde kimi minerallerin bolluk oranları (Davidosn ve diğerleri, 1997).

Ülkemizde de kullanılan toprak profilindeki ana horizonlar O, A, B, C ve R (D) harfleri ile gösterilmektedir (Şekil 18). Toprak profilinde, en üstte bitki ve hayvan artıklarının parçalanmasından ve ayrışmasından meydana gelmiş olan ***organik horizonlar***, bunun altında ***mineral horizonlar*** ve en alt zonda da ***çözülmüş ana gereçler*** yer alır. Bu ana horizonlar, kendi aralarında da ayrılabiliyorsa, sembolden sonra rakam yazılır. O_1, O_2, A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3 gibi. Burada kullanılan 1 ve 3 rakamı, horizonlar arasındaki geçiş zonlarını gösterir.



Şekil 18. Toprak profili (Coch ve Ludman, 1991).

Organik horizonlar, toprak yüzeyinde, canlı artıklarından meydana gelmiş olup O harfi ile gösterilmektedir. Bu horizon, O_1 ve O_2 olmak üzere iki alt bölümü ayrılmaktadır. **O_1 horizonu**, gevşek ve oldukça az ayrışmış dal, ibre, yaprak gibi organik madde birikimlerinden oluşmaktadır. Ilıman bölge orman topraklarında bulunan bu horizon, genellikle, mera topraklarında yer almamaktadır. Kalınlığı, mevsimlere göre değişebilmektedir. **O_2 horizonu,** organik artıkların büyük bir kısmının ayrıştığı ve humuslaşmanın gerçekleştiği horizondur. Lifli, keçeli veya kümeli bir yapı gösterebilmektedir.

Arazideki toprak araştırmalarında, dikkat edilmesi gereken hususların başında, horizonların doğru bir şekilde ayırt edilmesi ve horizonları gösterecek sembollerin doğru bir biçimde kullanılması gerekmektedir.

Toprak horizonlarının adlandırılması ile ilgili bazı açıklamalar öz olarak aşağıda sunulmuştur.

- **O_1** : Fazla ayrışmamış yapraklar ve organik madde artıkları
- **O_2** : Kısmen ayrışmış ve birbirine karışmış organik artıklar
- **A_1** : Mineral madde ile karışmış organik maddece nispeten zengin koyu renkli horizon
- **A_2** : Yıkanmanın en fazla olduğu açık renkli horizon. Podzolik topraklar için tipik, Çernozyomlarda az oluşmuş veya yok
- **A_3** : Geçiş zonu, en fazla A2'ye benzer
- **B_1** : Geçişzonu daha çok B2'ye benzer, bazen bulunmaz
- **B_2** : Kil, demir-alüminyum oksitlerin ve organik kolloidlerin en fazla biriktiği horizon; prizmatik ve bloklu yapının oluştuğu katman

B_3 : C horizonuna geçiş

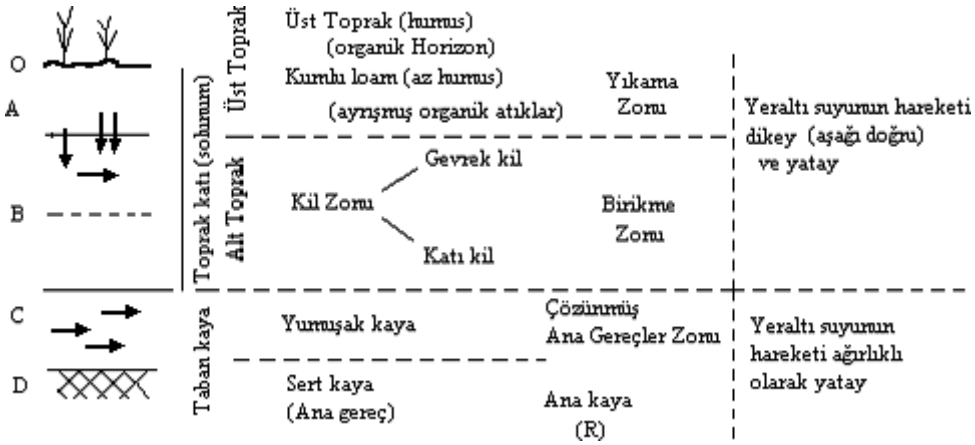
C : Çözülmüş ana gereçler; bazı topraklarda kalsiyum ve çeşitli alkali ve hatta tuzlu maddelerin biriktiği horizon; devamlı taban suyu şartları altında gley zonu da bulunabilir (hidromorfik topraklarda olduğu gibi)
Cca ve **Ccs** Kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfatın birikme horizonları

R : Çözülmeye uğramamış ana materyal; burası sert bir kaya ya da tortul kayatürü olabilir.

Alt horizonların özelliklerini belirtmek için, küçük harfler kullanılır. Örneğin, B_2 horizonunda demir çökelleri mevcut ise Bir_2 şeklinde yazılır; yani, önce ana horizon, sonra alt horizonun özelliğini gösteren sembol, daha sonra da alt profil numarası gösterilir. Alt horizonları temsil eden ve küçük harflerle gösterilen sembollerin açıklamaları aşağıda görülmektedir (Atalay 1989):

a : iyi ayrışmış organik madde
b : gömülmüş veya örtülmüş horizon (Ab_1)
c : konkresyonlu olan veya olmayan sert yumrular
ca : kalsiyum karbonat birikimi (Cca, Bca)
cn : demir, manganez ve fosfat bakımından zengin zon (konkres birikimi)
cs : kalsiyum sülfat (jips) birikmesi (Ccs)
e : orta derecede ayrışmış organik madde (Be)
f : donmuş horizon (Cf)
g : gley veya redüksiyon zonu (Bg_2)
h : organik madde birikimi
ir : demir çökelleri (Bir_2)
k : karbonatların birikimi
m : silikat killerinin birikmesi ile hasıl olan sert kat
n : sodyum birikimi
o : eski oksitlerin yeniden birikimi
q : silikatların birikimi
r : sert kayadan ibaret tabaka veya yumuşak ana gereç
sa : kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) ve kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) tan başka meydana gelmiş olan tuz birikimi
si : silisli materyal ile çimentolaşma (alkali toprakta eriyikhalde)
t : kil birikmesi
v : humusça fakir, demirce zengin kırmızı gereç
x : fragipan, fazla kil birikim veya çimentolaşma sonucunda oluşmuş yoğun ve sert katman
u : tam ayrışmamış veya teşekkül etmemiş horizon
z : jips dışındaki fazla erir tuzların birikimi

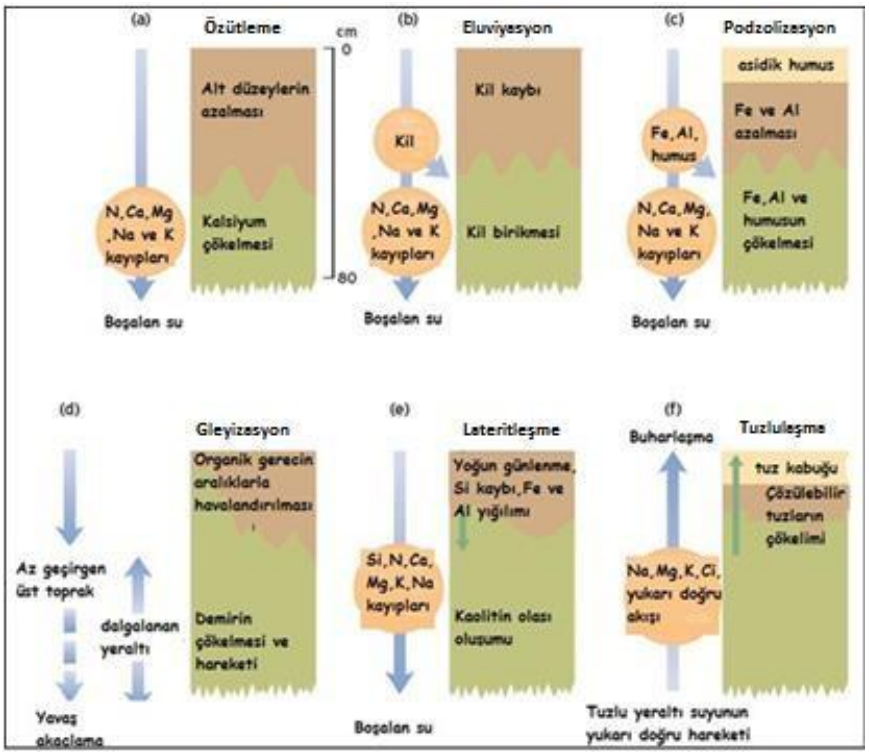
Şekil 19' de ise bir toprak profilinde yer alan horizonlar, killerin konumu ve yeraltı sularının hareketi arasındaki ilişkiler toplu olarak izlenmektedir.



Şekil 19. Bir toprak profilinde ayırt edilen horizonlar, killerin konumu ve yeraltı suyunun hareketi arasındaki ilişkiler (Yılmaz, 2009).

TOPRAĞIN DEĞİŞİMİ SÜREÇLERİNDE ETKİN OLAN MEKANİZMALAR

Toprağın oluşumu ve değişimi evrelerinde gelişen süreçler genel olarak pedojenez olarak tanımlanır. Toprak, yüzlerce hatta binlerce yıllık zaman aralığında oluşur. Toprak, açık bir sistemdir. Toprak kaybı ve toprağın yer değiştirmesi bu sistem içinde yer alır. Toprak horizonları toprak oluşum süreçleri sonucunda gelişir. Bu oluşum süreçlerine dair mekanizmalar; eklenme, taşınma ve karışma, yer değiştirme ve çeşitleri oluşuklara dönüşmeyi içeren özütleme (liçing), eluviyasyonu, podzolizasyon, gleyizasyon (gleyleşme, gleying), lateritleşme, tuzlulaşma olarak adlandırılmaktadır (Şekil 20).



Şekil 20. Toprağı oluşturan süreçlere dair mekanizmalar [(a) özütleme (liçing); (b) eluviyasyonu; (c) podzolizasyon; (d) gleyizasyon; (e) lateritleşme; (f) tuzlulaşma] ve suyun hareketi (Chapman, 2008).

Yukarıda sunulan süreçlerde suyun devinimi önemli bir işleve sahiptir. Toprak gereçlerinin temel girdisi ana kayadan oluşur. Ana kayanın günlenmesiyle oluşan tanecikler ana kayadan ayrışır ve toprağın alt katmanlarına eklenir. Toprağın diğer girdileri özellikle organik gerecin yüzeydeki birikiminden kaynaklanır. Bu girdiler güneşten kaynaklanan enerji ve rüzgâr, atmosferden kaynaklanan gazların etkisiyle değişime uğrarlar.

Topraktaki kayıplar, rüzgâr ve suyun etkisiyle meydana gelen erozyon ve özütlemeden kaynaklanmaktadır. Erozyon, toprağın ağırlıklı olarak yağış ve rüzgârla; ***özütleme (liçing),*** ise toprak gereçlerinin kimyasal olarak çözünerek uzaklaşmasıdır. Her iki mekanizma, yüksek düzeyde yağış ve akaçlamanın yapısından etkilenmektedir. Özütlemede, özellikle süzülen su, çözünmüş olan gereçleri toprak profilinin alt düzeylerine doğru taşır ve alt katmanlardaki çökelimini sağlar. Bu taşınma, bitkilerin çözünmüş olan gereçleri bünyesine alması ve gaz kaybı ile birlikte gerçekleşmektedir.

Organik ve inorganik bileşenlerin karışması toprağın büzülmesi ve şişmesi, suyun çözülmesi ve donması, toprak hayvanları, mikroorganizmalar ve bitkiler tarafından oluşturulan önemli bir süreçtir. İnsanlar toprağı işleyerek fiziksel karışımına neden olurlar. Kimyasal ve biyolojik süreçler toprak

bileşenlerini taşıyabilirler. Organik bileşenler ayrışır. Bazı mineraller çözülür bazıları da çökelir. Bu dönüşümler ana gereçte renk değişimine ve toprak yapısının gelişmesine yol açarlar.

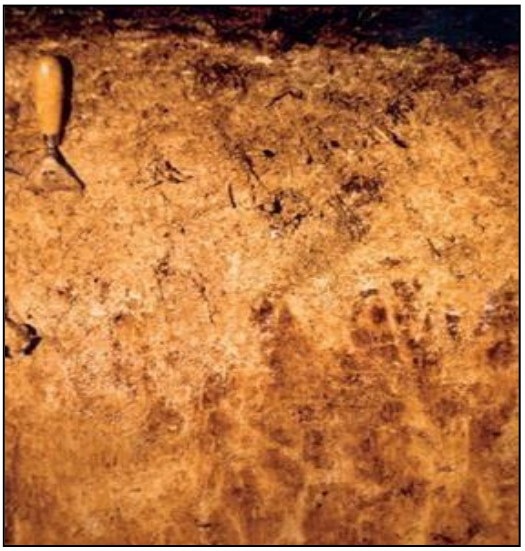
Toprak profilindeki gereçlerin yer değiştirmesi su potansiyeliyle (örneğin suyun emilmesiyle) ve toprak gözeneklerindeki kimyasallarla gerçekleşir. Asılı kalan ve çözülen gereçler toprak profili içinde aşağıya doğru ya da yukarıya doğru hareket edebilirler. Uzun bir zaman aralığında meydana gelen bu süreçlerin sonunda farklı toprak horizonları meydana gelir. Buna göre belli bir yerde egemen olan süreçler o yerdeki çevresel koşullara bağlıdır.

Yağışın evapo-transpirasyonu aştığı yerlerde suyun hareketi aşağıya doğru olur (Şekil 20a). Özütleme toprağın asitliğiyle gelişir. Serbestçe suyun aktığı topraklarda kil, üst horizonlardan süzülerek daha alt horizonlara taşınır. Süspansiyon halindeki gereçlerin yıkanması ve E horizonu (eluviyal toprak) oluşumu ile karakterize olan bu olgu ***eluviyasyon*** olarak bilinir (Şekil 20b). Kil, gereçlerin yüzeyinde ve kayaların içindeki gözeneklerde yer alır. Toprak horizonları ince taneli olarak tanımlanan killerin birikimiyle karakterize edilir. Eluviyasyon sonunda, asidik kahverengi toprak olarak bilinen toprakların bir grubu oluşur (Şekil 21).

Şekil 21. Eluviyasyona örnek bir görüntü; killi kahverengi bir toprak (photo courtesy of John Conway; Chapman, 2008' den).

Rusça, pod altı, zola da kül anlamına gelir. Yani podzol, altı kül renginde olan topraklar demektir. ***Podzolizasyon*** gereçlerin yer değiştirmesi olup, yoğun bir şekilde özütlemenin olduğu topraklarda oluşabilir (Şekil 20c). Podzolizasyon olayı, soğuk ve nemli iklim şartlarının hüküm sürdüğü çoğunlukla iğne yapraklı ya da kimi zaman geniş yapraklı orman örtüsü altında meydana gelmektedir. Demir ve alüminyum bileşenlerini içeren organik asidik karmaşık E horizonundan geçerek suyla birlikte B horizonuna ulaşır. Podzolizasyon ormanlar ve sıcak ortamda yetişen bitkilerin olduğu yağışlı yerlerde de serbest olarak oluşabilir. Bu süreçte oluşan nihai ürün de podzol toprak olarak adlandırılır (Şekil 22).

Podzolun özellikleri B horizonunda demir, alüminyum, ve nemli gereçlerin birikimi, özütlemeye uğramış E horizonu ve organik bir katmanın varlığıyla tanımlanır. Bu topraklar tarım için çok verimli değildir. Çünkü bunlar asidik bitki köklerinden daha ötede özütlemenin olduğu yerlerde meydana gelirler.



Şekil 22. Bir podzol toprak örneği (photo courtesy of John Conway; Chapman, 2008'den).

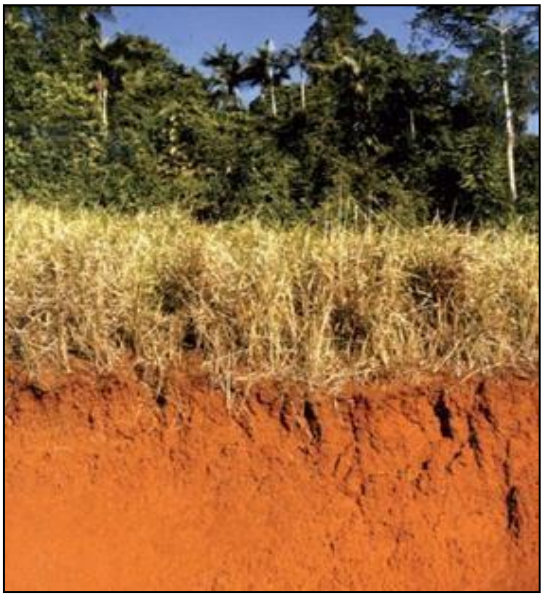
Podzolizasyonu kimi zaman kalsifikasyon (Ca' un, yağışın az olduğu durumlarda birikmesi ve çözünen tuzların yağışın el verdiği yere kadar ulaşması) ya da tuzlulaşma (suda çözünen tuzların toprakta birikmesi) izler.

Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu ve akaçlamanın kötü olduğu koşullarda gereçlerin devinimi azalır ve toprakta demir bileşikleri yeniden çökelir (Şekil 20d). +2 değerlikli demir bileşikleri mikroorganizmalar tarafından oluşturulur ve bu da ***gleyizasyon*** olarak adlandırılır. Toprak, kahverengi kırmızı demir oksitlerle Şekil 23' de görülen kanallar ve büyük gözenekler nedeniyle benekli bir görünüm kazanır. Bu toprakların akaçlaması iyi yapılırsa, tarıma uygun hâle gelebilirler. Toprak, demir oksitler nedeniyle rengi kırmızı kahverengidir. Bunlar taşınırsa gri ya da mavimsi renk alırlar. +3 değerlikli demirin azalması ise gereçlerin devinimini arttırır. Suyun içindeki dalgalanmalar nedeniyle redüksiyon ve oksidasyon evreleri birbirlerini izlerler.

Şekil 23. Nemli bir ortamda oluşan gleyizasyona dair bir görüntü (Chapman, 2008).

Günlenmenin yerli yerinde olması, katyonların (örneğin kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum oranlarında) ayrışmasında ve horizonların yeniden şekillenmesinde belirleyicidir. Bu süreçte,

alüminyumca ve demir oksitlerce zenginleşme olur. Bu toprakların kırmızı rengi hematit ve götit minerallerinin varlığı ile ilgilidir. Bu şekilde oluşan toprağa laterit, sürece de ***lateritlaşme*** denir (Şekil 24). Laterit, tropikal ve subtropikal bölgelerde fazla yağış ve sıcaklık koşullarında ayrışma sonucunda oluşur.



Şekil 24. Yağışlı nemli ve sıcak tropikal bir iklimde oluşan kırmızı lateritik toprak (ABD, U.S. Department of Agriculture, Chapman, 2008' den).

Lateritte, demir üç değerli demir oksit halindedir. Laterite kırmızı rengi bu madde verir. Eğer drenaj iyi ise kuvvetli oksitlenme olur. Bu şekilde oluşan laterit alüminyum oksit ve demir oksitlerce zengindir. Lateritlerde silikat minerallerine bağlı silis bulunmaz. Ancak ilksel kuvars minerallerine rastlanabilir.

Buharlaşma-terlemenin (Evapo-transpirasyonu) yağışı aştığı yerlerde (örneğin kurak ve yarı kurak yerlerde) su toprak yüzeyine doğru hareket eder ve buharlaşır. Yeraltı su düzeyinin yüzeye yakın olduğu durumlarda, tuzlar da yüzeye yakın yerlerde çökelir. Bu süreç, ***tuzlulaşma*** olarak tanımlanır ve esas itibarıyla suyun akışı yönü ile özütleme sürecinin tersi bir gidişe sahiptir. Tuzlulaşmayı önlemek için yeraltına doğru süzülen suların akaçlanması (drenajı) sağlanmalıdır.

İNSANİ (BEŞERİ) FAALİYETLERİN TOPRAĞA ETKİLERİ VE DENETİM

Toprak ve toprağın işlevleri, özellikle insani faaliyetler nedeniyle risk altındadır. Toprak kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar, sanayi atıkları, madencilik atıkları ve tarım başta olmak üzere, vahşi depolanan evsel ve tehlikeli atıklar, plansız kentleşme, aşırı gübre ve tarımsal ilaçların kullanımı ve hayvancılık atıklarıdır. Söz konusu bu atıkların tümü insani faaliyetlerin ürünüdür. Bu faaliyetler, toprağın erozyonuna ve kirliliğine (ağır metaller ve pestisitler gibi organik kirleticiler, nükleer atıklardan oluşmaktadır), organik gereç kaybına, tuzlanmaya ve biyoçeşitliliğin kaybına yol açmaktadır.

Sonuç olarak toprağın kalitesi bozulmaktadır. Kalitesi bozulan toprağın öncelikle mevcut durumu belirlenmelidir. Bunun için toprağın kapsamlı bir şekilde analizi yapılmalıdır. Şekil 25'de toprak kirliliğini belirleme ile ilgili bir görüntü sunulmuştur. Günümüzde toprak analizlerine dair çeşitli teknikler de gelişmiştir. Bu tekniklerden yararlanarak, öncelikle toprağın mevcut durumu ortaya koyulmalıdır.

Bu çerçevede, toprağın analizi çalışmalarında toprağın arazi yetenekleri ve belirleyici değişkenler ışığında arazi kullanım yetenek sınıfları ve temel özellikleri tanımlanmalıdır. Daha sonra,

toprağın bitki örtüsü ve fauna ile birlikte bir ekosistem olduğu gözetilerek mevcut durum değerlendirilmelidir.

Ayrıca gübrelerde aşırı derecede azot ve fosfor kullanımı, toprağın asidik bir niteliğe bürünmesi, toprağın sıkışması gibi çevresel sorunlar yaşanmaktadır. Bu tehditlerin tümü toprağın insan tarafından kullanma kapasitesini düşürmektedir. Söz konusu atıklar, mevzuata göre bertaraf edilmemekte, kentleşme çevre düzeni planlarına göre yapılmamakta, erozyonun denetimi konusunda yeterli duyarlılık gösterilmemektedir.

Şekil, 25. Toprak kirliliğini belirleme çalışmaları
(http://www.abccevre.com/toprak-kirliligi-tespiti-calismalari.html;
12 Eylül 2018, saat 9.25).

Genel olarak, toprağın kullanılan toplam alanı da insan faaliyetleri nedeniyle azalmaktadır. Ayrıca ormanların, çayırların ve meraların kaybı da tarım alanlarının azalmasına eşlik etmektedir (Oldeman ve diğerleri, 1991). Örneğin, Avrupa'da yaklaşık 633 milyon hektar alan, çevrenin bozulmasının çeşitli türlerinden etkilenmiştir.

Toprağı ve toprağın işlevlerini etkileyen en önemli sorunlar toprak erozyonu ve topağın asitleşmesi ile toprak kirliliğine yol açan hususlardır. Bu çerçevede söz konusu sorunların toprağın işlevinin üzerindeki etkilerinin büyüklüğü ve bunlarla ilgili çözümler aşağıda kısaca sunulmuştur.

Erozyon

Toprağın erozyonu toprağın partiküllere ayrılmasını ve taşınmasını içeren iki temel süreçle tanımlanır. Yağışlar ve fırtınalar nedeniyle toprağın taşınmasının hızlanması doğaldır. Taşınma işlemi belli bir oranı aştıktan sonra yüzeydeki akışın hızı artar. Aşırı otlatma bitki örtüsünü zayıflatır. Toprağın erozyonunda suyun etkisi % 56, rüzgârın etkisi ise % 28 kadardır. Son 40 yıl içinde Dünya' da ekilebilir arazinin üçte biri erozyon nedeniyle yitirilmiştir. Bu da yılda 10 milyon hektara karşılık gelmektedir (Pimentel ve diğerleri, 1995). Erozyonunun en önemli etkisi tarımın sürdürülebilirliğini tehdit etmesidir. Sel ve taşkınlar, bazı bölgelerde ürünlerin yok olmasına ve derin kanalların açılmasına neden olmaktadır. Bu da tarımı olumsuz şekilde etkilemektedir. Erozyon olgusu, hem doğa ve hem de beşeri kaynaklı bir afet olup, Bölüm 12-8'de ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Uzun vadede toprağın erozyonu, toprak örtünün incelmesine ve her yıl toprağın verimli üst katmanının taşınmasına yol açmaktadır (Morgan, 1986). ABD 'de toprağın her yıl yaklaşık $3.6x10^9$ ton,

suyun $118x10^9$ ton ve ekilebilir alanın 160 milyon hektarını yok etmektedir (Pimentel ve diğerleri, 1995). Akdeniz havzasında toplam alanın üçte birinden daha fazla, ortalama olarak yılda 1 hektar alanda 15 ton toprak kaybı olmaktadır. Bu da toprağın % 8 oranda verimliliğini azaltmaktadır (Pimentel ve diğerleri, 1995). Rusya Federasyonu' nda tarım toprağının humus içeriği her yıl % 1 oranda azalmaktadır (Karavayeva ve diğerleri, 1991).

Erozyon alanlarının artması, uzun vadede humus oluşumunu da tehdit etmektedir. Hindistan'da 113 ile 138 milyon hektar arazi su ve rüzgâr erozyonunun tehdidi altındadır. Böylece 5.37 ile 8.4 ton bitki üretimi de yok olmaktadır (Gerrard, 2000). Yerli yerinde oluşan etkilere ek olarak toprak, su ve rüzgâr erozyonu nedeniyle oldukça uzak yerlere taşınabilmektedir. Taşınan toprak, su havzalarında çökellerin depolanmasıyla, yeni sorunlara yol açmaktadır.

Diğer bir sorun da tarımda kullanan kimyasallardan (gübre, ağır metal, pestisitler) ileri gelmektedir. Kullanılan kimyasallar, akarsuların alt havzalarındaki su kaynaklarını kirletmektedir. Kirlenen toprak ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Örneğin Pimentel ve diğerleri (1995) ABD'deki toprak erozyonunun her yıl 27 milyar dolar ekonomik kayba yol açtığını, bunun 20 milyar doları besinlerin yer değiştirmesi; 7 milyar doları da su ve toprak kaybı nedeniyle olduğunu ileri sürmektedir.

Öte yandan, ABD'nin rüzgâr ve su erozyonunun yılda 44 milyar dolar erozyonu önleme çalışmalarına harcadığı bilinmektedir. AB' de 1991 yılında toprak erozyonunun maliyetinin yılda 280 milyon euro olduğu tahmin edilmektedir. Bu da tarımsal üretimin kaybı ile su kaynaklarının sel ve taşkınlar nedeniyle meydana gelen zararlar nedeniyle olmaktadır. Ayrıca toprağı koruma ve erozyonla mücadelenin maliyeti 15-20 yıllık bir zaman diliminde 3 milyar euronun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir.

Toprağın erozyonunu denetim önlemleri, başlıca toprağın yerli yerinde korunması, bitki örtüsünün geliştirilmesi, sel, taşkın ve rüzgârların etkilerini azaltmak için çeşitli önlemlerin alınması konularında yoğunlaşmalıdır. Tarımsal uygulamalarda kullanılan gübrelerin de toprak ve su kaynaklarının kalitesini etkileyeceği göz ardı edilmemelidir. Bunun için sorunları havza ölçeğinde ekonomik yönleri ile ele almakta yarar vardır. Her ne kadar toprağın erozyonunu geriye dönüştürülemezse ve erozyonun olumsuz etkileri tümüyle önlenemezse de azaltılabilir.

Toprağın Asitleşmesi

Toprağın doğal ortamdan etkilenerek asitleşmesi uzun vadede oluşan doğal bir afettir. Fakat toprağın asitleşmesi, özellikle fosil yakıtlardan kaynaklanan SO_2' ve CO_2 gibi bileşiklerin, atmosferde su buharı (H_2O) ile birleşerek asidik yağmurlara dönüşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Asidik yağmurlar, toprağın asitleşmesine etki eden en önemli faktördür. Ayrıca tarımdaki uygulamalar; örneğin ürünlerin işlenmesi, hasadı; topraktaki akaçlamalar ve azotlu gübrelerin aşırı kullanımı da toprağın asitleşmesine yol açmaktadır.

Toprağın asitleşmesi ekosistem üzerinde önemli etkilerin olmasına karşın çok da görünür bir etkiye sahip değildir. Toprağın asitleşmesine duyarlı olan topraklar, temelde yer alan magmatik ve metamorfik kayaların üstünde gelişen topraklardır. Bu kayaların üzerinde gelişen toprak, temel katyonlar ve kil içeriği bakımından zayıftır. Yüksek oranda temel katyon içeren topraklar ve bunların kil içerikleri asitleşmenin kapasitesini arttırırlar. Böyle durumlarda asitleşmeyi önlemek için kritik bazı gereçlerin kullanımı gerekmektedir.

Asitleşme nedeniyle topraktaki alüminyum, magnezyum, kurşun, kadmiyum, çinko gibi zehirlilik etkisi olan ağır elementler toprakta çözünürler. Bu da bitki topluluklarının gelişmesini engeller. Örneğin Orta Avrupa'da ormanların azalması, toprakta asitliğin artmasıyla ilişkilendirilmektedir (Şekil 26). Toprak organizmalarının artışı bile asidik ortama uyum gösteren türlerde olur. Toprağın asitliği bu ortamdan geçen suyun asitliğine de neden olur. Toprakta oluşan asitlik ve yüksek alüminyum derişimleri biyoçeşitliliğin azalmasına ve diğer organizmaların kaybına yol açabilir.

Şekil 26. Asit yağmurları nedeniyle meydana gelen orman faciası (Malcolm Cresser, Chapman, 2008' den).

1980'li yıllardan beri, topraktaki asitlik nedeniyle ortaya çıkan kirletici emisyonlarının azalması yönünde çeşitli ulusal ve uluslararası çabalar [The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (uzun vadeli hava kirliliği konvansiyonunu)] devam etmektedir. Toprağın asitleşmesi önemli bir sorundur. Tüm gezegende çeşitli ülkeler atmosferde oluşan kirliliğin yarattığı asit yağmurlarından etkilenmektedir.

Toprak Kirliliği

Toprak kirliliği, toprağın verimini düşüren ve toprağın temel işlevlerini bozan tüm doğal ya da insani (beşeri) baskıların yarattığı bir olgudur. Toprağın kirlenmesine neden olan süreçler ve kaynaklar birbirinden farklı iki grupta toplanabilir. Birincisi, jeolojik ortamdan ileri gelen ve ekosistemlere yansıyan toprak kirliliğidir. Diğeri ise, insani etkinlikler sonucu oluşan kirleticilerin yarattığı toprak kirliliğidir.

Özellikle insani etkinlikler sonucu oluşan çeşitli bileşikler, toprağın eşik sınırlarını aşıp, özümseme kapasitesinin üzerine çıkınca, toprakta yaşayan fauna ve florayı zehirler. Örneğin, ağır metaller, pestisitler ve gübreler toprağın kirlenmesine yol açmaktadır. Bu konuda tanımlanmış kaynaklardan ileri gelen toprak kirliliği (yerel ya da noktasal kaynak kirliliği) ile tanımlanamayan kirlilik (yaygın ya da noktasal olmayan kaynaklar) arasında bir ayrım yapılabilir. Kirleticilerin toprağa girişi, toprağın işlevlerini etkiler ve zarar görmesine neden olmaktadır. Topraktaki kirleticiler ayrıca su kirliliğini de yaratabilir.

Ağır Metaller

Arsenik (As), civa (Hg), çinko (Zn), kurşun (Pb), krom (Cr), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) gibi ağır metaller toprakta doğal olarak bulunabilirler. Ayrıca bunlar sanayi, tarım, atıkları yakma, trafik ve fosil yakıtların kullanımı gibi birçok kirlilik oluşturan kaynaklardan da ortaya çıkabilirler. Kirleticilerin uzak mesafelere taşınması ve çökelmesi, bir alanda metallerin birikimine yol açabilir. Genellikle ağır metaller, madencilik ve sanayi faaliyetleri sonucu bir alanda yoğunlaşabilir. Buna göre en kirli alanlar büyük ölçüde sanayi bölgelerinde görülmektedir. Toprakta biriken ağır metaller organik gereçlerle birlikte bitkilere ve bitkilerle beslenen hayvanlara ve insana geçebilirler. Bu çerçevede, toprağın asitliği

artarsa ağır metaller yüzey ve yeraltı sularına da geçerler. Sonuç olarak besin zincirinin ve içme sularının kalitesi bozulabilir.

Pestisitler ve Organik Çözücüler

Pestisitler, petrol, klorlanmış hidrokarbonlar ve bunların ürünü diğer gereçler tarım ve sanayinin üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Bu kaynakların yan ürünlerinden bir olan dioksinler de atmosferik süreçlerle geniş alanlara yayılabilirler. Atık suların ve deponi alanların yarattığı kirlilik toprağa geçebilir.

Her ne kadar, çağdaş tarım üretim sistemleri, pestisitlerin denetimi ve ürünlerin korunması hususlarında belirleyici ise de pestisitler toprağa doğrudan ya da dolaylı olarak geçerbilirler. Pestisitlerin yoğun kullanımı 2. Dünya Savaşı'ndan beri yoğun bir biçimde olmaktadır. Kuzey ve Batı Avrupa'da pestisitlerin kullanımı 1980'lerde doruk noktasına ulaşmıştır (Stanners ve Bourdeau, 1991).

Pestisitlerin toprakta davranışı, bunların türü, kimyasal özellikleri ve iklime göre değişmektedir. Özellikle eski nesil pestisitler geniş bir etki alanına sahiptir. Bu pestisitler, amaçlanmadığı halde bazı organizmaları da etkilemektedir. Pestisitler, adsorbsiyon yoluyla organizmaları doğrudan etkilerler. Pestisidlerin toprağa ve yeraltı sularına geçişi sırasında da mikroorganizmalar etkilenir. Avrupa'da pestisitlerin içme sularındaki eşik değeri 0.5 µg l^{-1} (EEC 80/778) olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, toprakta kullanılan pestisitlerin etkisi, kullanılan pestisitlerin türüne bağlı olarak değişmektedir. Pazarda binden fazla bileşik içeren pestisitler vardır. Bunların her biri toprakta farklı değişimlere yol açar. Dolayısıyla pestisitlerin yarattığı tüm riskleri değerlendirmek ve tanımlamak güçtür.

Gübre kullanımı – azot ve fosfor

Tarımda kullanılan toprakların ek besinlere de gereksinimi vardır. Özellikle azot, fosfor ve potasyum bitkilerin gelişimi konusunda belirleyicidir. Organik gübrelerin kullanımı ürünü 5-10 kat arasında arttırmaktadır. Nitratlar bitkilere ve akaçlama sularına kolaylıkla geçerler. Fosfor, kil partiküllerinin yüzeyine oldukça kuvvetli bir şekilde absorbe olur ve demir ile alüminyum oksitlerine eşlik eder. Azot ve fosfor, yeterli yağışın olduğu durumlarda akaçlama sularına geçerler. Akaçlama sularının derişimi topraktaki nitrat miktarına ve akaçlanan suyun hacmine bağlıdır. Nitratların içme sularına akışı ise arzu edilmez. Ancak böyle bir durumda da çevre sağlığı açısından bazı sorunlar ortaya çıkar. Örneğin, denizel ortamlarda da ötröfikasyon oluşabilir (Burt ve diğerleri, 1993).

Nitratın özümsenmesi (kimyasal olarak ayrışması) ve inorganik azot gübrelerinin kullanılması arasında bir bağ varsa da, bu bağ dolaylıdır. Bu işlem yani özümseme, öngörülen özümseme miktarı devam ettikçe, üründe herhangi bir sorun ortaya çıkmaz. Fakat fazla gübre kullanıldığında, bu da bitkilerde daha fazla azot birikimine yol açar. Yani, böylece toprakta organik azot artışı meydana gelir. Organik azotun nitrata dönüşümünden sonra, nitrat açısından bir artış oluşur. Topraktaki organik azotun mineralleşmesi toprağın işlenmesi sırasında meydana gelebilir. Nitratların özümsenmesi sonbahar ve kış mevsimlerinde toprakta daha çok olmaktadır. Ancak bunun nihai kaybı da toprağın dokusuna, arazi kullanımına, yağışın türüne, yörenin akaçlama özelliğine ve bitki örtüsünün varlığına göre değişir. Ürünün kalitesi, yapılan uygulamalardan etkilenir (Burt ve diğerleri, 1993).

Son zamanlarda fosfora ilişkin su kirliliğine dair riskin minimum düzeyde olduğuna inanılmaktadır. Bununda nedeni gübrelerde kullanılan fosforun toprak tarafından kolaylıkla bağlanmış olmasıdır. Buna göre gübrelerdeki fosforun toprağa girişi tarımsal sistemlerdeki önlemler nedeniyle de denetlenmektedir. Dolayısıyla, yapılan uygulamalarda toprağa yıllık fosfor girişiyle ilgili hesaplamalara özen gösterilmelidir.

Sonuç olarak tarımsal amaçlarla kullanılan fosforun toplam miktarı, aşırı gübrelenmiş olarak sınıflandırılan topraklara göre artmıştır. Bu da çevrede fosforun giderek artabileceği, bunun da toprağın özümseme kapasitesi ile ilgili olduğu söylenebilir. Her ne kadar fosfor kayıpları nitrata göre daha küçük oranlarda ise de, fosfor oranındaki küçük bir artış akarsu ve göllerde büyük bir değişim

yaratmaktadır. Tarım amacıyla kullanılan topraktaki fosforu azaltmak için bunun topraktaki derişimini ve topraktan suya doğru taşınmasını azaltmak gerekmektedir. En büyük fosfor kaybı ince taneli topraklarda olmaktadır.

Yoğun tarımın yapıldığı, özellikle gübrelemenin yoğun olduğu yerlerde ürünlerin kalitesi iyi bir düzeyde değildir. Avrupa'da 1991 yılında yönetmeliklerde nitrat nedeniyle meydana gelen kirliliğin denetim altına alınması amaçlanmıştır. Bunun için nitrata duyarlı zonların tasarımına gidilmiştir. Duyarlı zonlarda çiftçilerin nitrat özümsemesini azaltmak için önlemler almasına ihtiyaç vardır. Ayrıca iyi tarımsal uygulamalarda gübredeki nitratın toprağa ve topraktan bitkilere geçişi arasında bir denge içinde olması amaçlanmaktadır. Bununla ilgili önlemler de:

1- Gübrelemenin daha iyi yapılması ve toprak testleriyle ürüne yönelik testlerin birlikte değerlendirilmesi,
2- Gübreye yönelik olan uygulamaların en uygun zamanda yapılması (yani o ürünün en çok gereksinim duyduğu zamanda yapılması),
3- Gübreleme yöntemlerinin geliştirilmesi,
4- Sonbaharda sürdürülebilir arazideki özümleme kaybının minimize edilmesi,
5- Meraların olabildiğince az kullanımı.

Yapılan testlere göre nitratın tümüyle özümsenmesi önlenemez. Özellikle yüksek yağış alan yerlerde ve yüksek oranda ürün elde edilen geçirgen topraklarda bu özümsemenin önlenmesi mümkün değildir (Burt ve diğerleri, 1993).

Küresel iklim değişikliklerinin etkileri ve denetimi

Yer'in iklimin etkileyen başlıca faktörler kıtaların devinimi ve volkanik faaliyetler, güneş radyasyonundaki dalgalanmalar, Yer'in yörüngesindeki değişimler ve canlı yaşamın atmosferin bileşimine etkileridir. Bu faktörler jeolojik geçmişte de Yer'in iklimini etkilemiş, Günümüz'de de etkilemekte ve gelecekte de bu faktörlerin etkileri devam edecektir.

Yapılan değerlendirmelere göre, Prekambriyen' den Günümüz'e kadar geçen zaman aralığında, Günümüz'e göre daha sıcak ve daha soğuk dönemlerin yaşandığı söylenebilir. Örneğin, Prekambriyen' de üç buzullaşma dönemi yaşanmıştır. Ancak, olasılıkla yeryüzündeki suyun fazla olmaması nedeniyle bu buzullar uzun süre korunamamıştır.

Pleyistosen'den Günümüz'e değin, yaklaşık 100 -120 bin yıllık sürelerle 8 -10 ^{0}C'lik yavaş ve düzenli soğuma ve ısınma dönemleri görülmektedir. Son kalın buz örtülerinin oluşumundan sonra, sadece birkaç bin yıl içinde yeryüzündeki sıcaklık artmış ve bu sırada buzullar büyük ölçüde çözülmüştür. Bu yeni alt evrede canlı yaşamın atmosfere etkileri arasında özellikle insan kaynaklı faaliyetler sonucu atmosferin bileşiminde önemli değişiklikler beklenmektedir. Dolayısıyla gelecekte yeryüzündeki yaşam Günümüz'deki yaşamla kıyaslanmayacak ölçüde bir değişim geçirebilir.

Yapılan hesaplamalara göre küresel karbon emisyonunu, 2030'a kadar 2010'daki seviyesine kıyasla yüzde 45 azaltmak gerekmektedir. Ormanlaştırma, elektrikli taşıma sistemlerine geçiş, karbon yakalama ve depolama teknolojisi yaşamsal önemdedir. Önümüzdeki 32 yıl içinde elektriğin yüzde 70-85'ini yenilenebilir kaynaklardan üretmek gerekmektedir. Bunun için sıcaklık artışını 1,5 dereceyle sınırlandırmak için enerji sistemlerine 2016-2035 yılları için 2,4 trilyon dolarlık bir yatırım yapılması öngörülmektedir.

Küresel ısınma, her ülkeyi öyle veya böyle etkileyecektir. Ancak ekonomisi sağlam, hazırlıkları eksiksiz olmayan ülkelerin daha çok etkileneceği açıktır. Elbette ülkemiz de küresel iklim değişikliğinden payını alacaktır. Örneğin özellikle GD Anadolu'nun bin bir emekle gerçekleştirilen GAP uygulamalarının da küresel ısınmadan etkileneceği ve bölgenin tümüyle çölleşebileceği

öngörülmektedir. Tek çare, gezegenimizin tüm ülkelerinin el ele vererek küresel sorunlarla mücadele etmek için iş birliği yapmasıdır. Küresel iklim değişikliği, doğa kaynaklı olabileceği gibi, beşeri bir afet olarak da değerlendirilmektedir. Örneğin, Enerji sektörü, %85 oranında iklim değişikliğinde en çok etkisi olan sektörtür. Bu etki genel olarak tarım sektörünü kuraklık, verimli toprak kaybı, buharlaşmanın artmasından dolayı tarımsal sulamanın verimsizleşmesi, tarım ürünlerinin değişkenlik göstermesi gibi konularda kendini göstermektedir (Tosun, 2021). Dolayısıyla, küresel iklim değişikliği, Bölüm 12-9'da ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Diğer Tehditler

Topraktaki organik gereçler, toprağın üretimini ve duraylılığını belirlemektedir. Ayrıca toprak çoğu tehditlere karşıda tampon bir işleve sahiptir. Bilimsel yöntemlerle tarım yapanlar, % 1.7 organik gereç kapsayan toprakları çölleşme öncesi bir evreyi tanımladığını düşünmektedir. Meralarda yakma işlemleri tüm bitki örtülerinde bir azalmaya yol açmaktadır, Atmosferde CO_2 oranında bir artış da, toprakta organik gerecin azalmasına yol açmaktadır. Ancak, topraktaki organik gerecin artışı için çeşitli önlemler öngörülebilir. Bu önlemler, başlıca doğal organik gereçlerin tarımsal faaliyetlerde kullanılması, bölgedeki doğal organik kalıntıların ve çimen örtüsünün arta kalan kesiminin toprağa dönüşümünün sağlanmasıdır.

Toprağı etkileyen önemli sorunlardan biri de toprağın tuzlulaşmasıdır. ***Tuzlulaşma,*** bitki kökünün büyüyebileceği derinlikte, bitkinin gelişmesine zarar verecek oranda tuz birikimine denir. Tuzlu topraklar için halk arasında 'çorak toprak' da denilmektedir (TC Kalkınma Bakanlığı, 2011). Tuzlulaşmanın doğal oluşumunda yağışın az olması, morfolojik yapı (özellikle çukur alanlar), yüksek taban suyunun ve yüksek buharlaşmanın varlığı belirleyicidir. Ancak, tuzlulaşmanın oluşumunda bilinçsiz sulama ve akaçlama olanaklarının sınırlı olması da önemlidir.

Öte yandan, ürün deseni, su tüketimi ve su bütçesi arasındaki ilişkiler bilinmektedir. Dolayısıyla su kullanımı ile tuzluluk yönetimi arasındaki bağlar kurulabilir. En azından su kaynakları, sulama suyunun özellikleri çerçevesinde uygun sulama yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Özellikle çiftçilerimizin tuzlulaşmaya ve sulama tekniklerine dair konularda bilgilendirilmesinde yarar vardır.

Tuzlulaşma, topraktaki verimliliğin azalmasına yol açan kalsiyum, magnezyum ve sodyum tuzlarının topraktaki birikimidir. Bu süreç kurak ve yarı kurak bölgelerde, yağışın yetersiz olduğu bölgelerde önemli bir sorundur. Bu gibi yerlerde yetersiz yağış nedeniyle de topraktaki buharlaşma nedeniyle toprak yüzeyine yakın yerlerdeki tuzun birikimiyle olmaktadır. Yüksek tuz oranına sahip su ile arazinin sulanması bu süreci daha da tetikler. Kıyı bölgelerinde deniz suyunun tatlı su olan yerlere akışıyla tuzlanma hızlanmaktadır. İnsani (Beşeri) faaliyetler nedeniyle oluşan tuzlulaşma sürülebilir arazilerin % 50' sini etkilemektedir (Abrol ve diğerleri, 1988).

Öte yandan, ***toprağın sıkışması,*** özellikle nemli koşullarda kullanılan makinelerin ya da diğer sistemlerin kullanımı sırasında oluşan mekanik baskının yinelenen kümülâtif etkisiyle olmaktadır. Sıkışma, toprağın üst kesiminde ya da alt toprakta verimliliği düşürür. Topraktaki sıkışma tarımsal üretimde bir azalmaya yol açmaktadır. Alt topraktaki sıkışma % 5- % 35 arasında ürünün azalmasına yol açabilir (Stanners ve Bourdeau, 1991). Sıkışma, toprak partiküllerinin yeniden düzenlemesine ve konumlanmasına neden olurken topraktaki gözenekliliği de azaltır. Böylece sıkışma, suyun akışı, topraktaki havanın devinimi ve topraktaki suyun potansiyelini azaltır. Sıkışmış olan toprağın çözülmesi zordur.

Toprağın sıkışması, ancak ve ancak toprağın sürülmesi, sıkışmaya yol açan teknik yöntemlerin denetimi, akaçlamanın uygun bir hale getirilmesi, organik gereçlerin artırılması ile önlenebilir. Toprak, değişik türde yaşayan organizmaların yer aldığı önemli bir ortamdır. Toprak biyoçeşitliliği topraktaki canlı organizmaların çeşitliliğini yansıtır.

Topraktaki canlı türler, gözle görülemeyen mikroorganizmaların boyutlarından bakterilere, mantarlara ve aşina olduğumuz makro faunaya kadar tüm canlı organizmalar ile temsil edilebilir. Topraklar Yer' in en organik bölümü olup, çeşitli etkilere açıktır. Çeşitli organizmalar, toprakta bulunan temel işlevlerin gelişmesinde anahtar bir rol oynar. Öte yandan, erozyonun ve tarımsal amaçla kullanılan asidik kökenli kirleticilerin toprak biyoçeşitliliği üzerindeki etkileri yeterince bilinmemektedir.

YASAL ÇERÇEVE VE POLİTİKALAR

Toprağın bozulmasına dair süreçler, önemli çevresel, sosyal ve ekonomik sonuçları olan süreçlerdir. Dünyanın nüfusu arttıkça toprağın korunma gereksinimi yaşamsal bir alana oturmaktadır. Dünya günde bir çeyrek milyon nüfusun artışıyla yüz yüzedir. Elbette dünyanın gıda ihtiyacı da bu nüfus artışına koşut olarak artacaktır.

1972 yılında ***Avrupa Toprak Konseyi*** toprağı koruma politikasını oluşturmuştur. Dünya'nın toprak politikası, toprak kaynaklarının akılcı kullanımı hususunda uluslararası bir çaba öngörmektedir (COM, 2002). 1992 yılında ***Rio zirvesinde*** katılımcı ülkeler toprağın korunmasıyla ilgili bir dizi kararı benimsemiştir. Özellikle sürdürülebilir gelişme yaklaşımı kabul edilmiş ve buna göre iklim değişimi, biyoçeşitliğin korunması ve çölleşmeyle ilişkili yasal sınırlamalar belirlenmiştir. 1994 yılındaki toplantının amacı ise arazideki kayıpları ve buna ilişkin sorunları önlemekti. 2001 yılında Avrupa Topluluğu, tarım topraklarının erozyonu kadar sürdürülebilir gelişimi tehdit eden topraktaki bozulmayı ve toprak kaybını önlemeye dair çerçeveyi ortaya koymuştur. ***6. Çevre Eylem Programı"***nda toprağın bozulmaya karşı korunması hedeflenmiş ve 2004 yılında Avrupa Topluluğu toprağın korunmasıyla ilgili tematik bir stratejiye ilişkin politikayı benimsemiştir.

Ülkemizde de toprağın korunmasına dair yasal bir çerçeve oluşturulmuştur. 5403 Sayılı ***Toprak Koruma ve Arazi Kullanma Kanunu*** 19.07.2005 tarih ve 25880 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. 15 Mayıs 2014 tarihli ve 29001 sayılı resmi gazetede yayınlanan 6537 numaralı ***'Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun'***la yeniden tanımlanmıştır. Buna göre yasanın amacı; toprağın korunması, geliştirilmesi, tarım arazilerinin sınıflandırılması, asgari tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazi büyüklüklerinin belirlenmesi ve bölünmelerinin önlenmesi, tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazilerin çevre öncelikli sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak planlı kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemektir.

Yasa ve yönetmelikler, bir defacık da olsa delmek üzere hazırlanmaz. Yasalar, uymak üzere hazırlanırlar. Örneğin, 18. 04. 2006 tarih ve 5488 sayılı ***Tarım Kanunu'nun 21. maddesi,*** 'Tarımsal destekleme programlarının finansmanı, bütçe kaynaklarından ve dış kaynaklardan sağlanır. Bütçeden ayrılacak kaynak, gayrisafi millî hasılanın (GSMH) ***yüzde birinden*** az olamaz' demektedir. Ancak, 2006-2018 döneminde gerçekleşen desteğin GSMH'a oranı, yıllık ortalama olarak ***yüzde 0,5'in*** de altına gerilemiştir.

Toprak Koruma ve Arazi Kullanma Kanunu'nun 4. Maddesinde 'Asgari tarımsal arazi büyüklüğü; mutlak tarım arazileri, marjinal tarım arazileri ve özel ürün arazilerinde 2 hektar, dikili tarım arazilerinde 0,5 hektar, örtü altı tarımı yapılan arazilerde 0,3 hektardan küçük olamaz. Ancak, 'Bakanlık asgari tarımsal arazi büyüklüklerini günün koşullarına göre artırabilir' denilmektedir.

Ayrıca, 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı resmî gazetede ***'Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'*** yayınlanmıştır. Bu Yönetmeliğin amacı; alıcı ortam olarak toprak kirlenmesinin önlenmesi, kirliliğin giderilmesi, arıtma çamurlarının ve kompostun toprakta kullanımında gerekli tedbirlerin alınması esaslarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde ortaya koymaktır. Yönetmelikte, Toprak Kirlilik Parametreleri Sınır Değerleri tanımlanmış ve Toprak Analiz Belgesi ile Örnek Alma ve Analiz Yöntemleri gibi gereksinim duyulan ekler sunulmuştur. Ayrıca toprak kirliliği parametreleri sınır değerleri ve diğer teknik ayrıntılar bu yönetmelik ışığında ele alınmalıdır. Yapılan

analizler sonucu, toprak kirliliği sınır değerlerinin aşıldığı belirlenmiş ise kirliliği oluşturan unsurlar gözetilerek gerekli önlemler alınmalıdır.

Öte yandan, tarımsal ya da inşaat faaliyetleri ile ilgili sınırlamaların çerçevesini belirleyen pek çok yönetmelik de vardır. Örneğin, ***Tarım kaynaklı nitrat kirliliğine karşın suların korunması yönetmeliği*** 18.02.2004 tarih ve 25377 sayılı resmî gazetede yayınlanmıştır. ***Hafriyat toprağı inşaat ve yıkıntı atıklarının kontrolü yönetmeliği*** 18.03.2004 tarih ve 25406 sayılı resmî gazetede yayınlanarak yürürlüğe konulmuştur. Ayrıca ***Tarım arazilerinin korunması ve kullanılmasına dair yönetmelik*** 25 Mart 2005 tarih 25766 sayılı resmî gazetede yayınlanmıştır. Tarımda kullanılan kimyasal gübreler, ilgili yönetmelikler çerçevesinde belirlenen ilkeler doğrultusunda tanımlanmaktadır.

Tarım yapılan topraklarının tarım dışı amaçla kullanımlarını engellemek amacıyla 3161 ve 3202 sayılı yasa çerçevesinde bu alanların hangi konumlarda tarım dışı amaçlarla kullanılacağına dair ilke ve temelleri belirleyen ***Tarım Alanlarının Tarım Dışı Amaç ile Kullanılmasına Dair Yönetmelik*** 11 Mart 1989 tarihinde 20105 sayılı Resmî Gazete de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Ayrıca hayvanların korunmasına dair uygulama yönetmeliği ile av ve yaban hayvanlar ile ilgili çeşitli yönetmelikler uygulamaya konulmuştur. ***Biyolojik etkenlere maruz kalma risklerinin önlenmesi hakkında yönetmelik*** ise 10 Haziran 2004 tarih 25488 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte, biyolojik maruz kalmanın olabileceği işlerin listesi ve sınıflandırılmış biyolojik etkenler listesi ekler halinde sunulmuştur. Tüm bu yasa ve yönetmelikler, toprağın korunması ve verimli kullanılması amacıyla hazırlanmışlardır. Dünya'da da ülkemizde de toprağın tüm insanlığın ortak değeri olduğuna ve kamu yararına kullanılmasına yönelik politikalar geliştirilmemiştir.

Örneğin, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) verilerine göre bugün dünyada açlık çeken insanların sayısı 821 milyondur. Küresel ısınmanın yol açtığı kuraklığın tarım ürünlerinin fiyatlarını etkilediği de bir gerçektir. Kırsal nüfusun azalması, dışa bağımlı temel girdilerin katlanarak artması, tohum ve hayvan ırkında dışa bağımlılık, uygulanan teknik yöntemlerden dolayı su rezervlerinin azalması, toprakların kimyasal gübre ve ilaçlarla kirlenmesi, tarımsal bio-çeşitliliğin azalması, tarımsal alanların ve meraların yapılaşmaya açılması gibi sayabileceğimiz sayısız olumsuz faktör karşımızdadır. Öte yandan, günümüzde, gıda takviyesi adı verilen ürünlerin güvenliği Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından onaylanmaktadır. Oysa, bu yetkinin Sağlık Bakanlığı tarafından kullanılması daha doğrudur. Kırsal alanlarla kentlerin tekrar bütünleşmesi ve birbirinden beslenebilmesi, gıdanın özgürleşmesi, sosyal açıdan adil bir yapının kurulması ve bir parçası olduğumuz doğanın, toprağın ve suyun varoluşumuzla uyumlu hale getirilmesi ise, şu anda önümüzde duran biricik hayaldir.

Cumhuriyetin kuruluşu ile birlikte, ulusal kaynaklara sahip çıkma politikası egemen olmuştur. Toprağın ve tarımın korunması Cumhuriyet'in öncelikleri arasında idi. Köy Enstitüleri ders programında tarıma dair uygulamalı çabaların olduğunu herkes bilmektedir. Ancak, 1950'li yılların başından itibaren dereceli olarak kamu yararı göz ardı edilmiş ve yabancı sermayenin ülkeye girişi için yoğun bir çaba harcanmıştır.

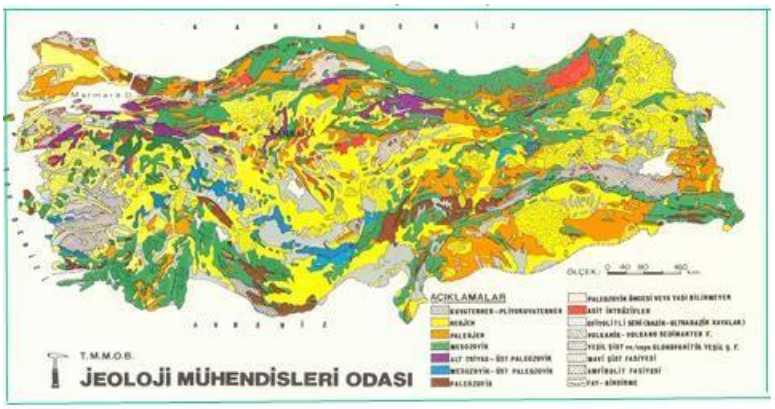
1980'li yılların başından itibaren ise küreselleşme adı altında, diğer sektörlerde olduğu gibi tarım sektöründe de özelleşme ve çok uluslu şirketlerin baskıları artmaya başlamıştır. Bu dönem, ülkemizde, toprağın ve tarımının tarihi, dış dinamiklerin belirleyici olduğu olağanüstü hızlı bir dönüşümün tarihidir. Bu dönüşüm, 1990'lardan itibaren ülkemizde gelişen siyasi/ bürokratik/ akademik düzlemlerde ideolojik zeminin hazırlanmasıyla ve işbirlikçiliklerin türetilmesiyle gerçekleşmiştir. 2000'li yılların başından itibaren de emperyalist güçlerin güdümünde çok uluslu şirketlerin egemen olduğu bir dönüşüm yaşanmaktadır. Bu dönemde, bir tarım ülkesi olan ülkemizin, tarım ürünlerini ithal eden bir ülke durumuna düşmüştür.

Toprak yasası ve ilgili yönetmelikleri, toprağın korunmasında önemli bir yere sahiptir. Ancak bu yasal çerçevenin içeriğine bakıldığında, konunun çok disiplinli bir yapısı olduğu ve bu yapı gözetilerek ilgili yetkili kurulların oluşturulması gerekmektedir. Yasal çerçevenin yanı sıra, verimli toprakların korunması ve geliştirilmesine dair irade ve politikalar güçlendirilmelidir. Toprak bilinci üzerinde yükselen etkin politikalar olmadan yasa ve yönetmeliklerin uygulanması güçtür.

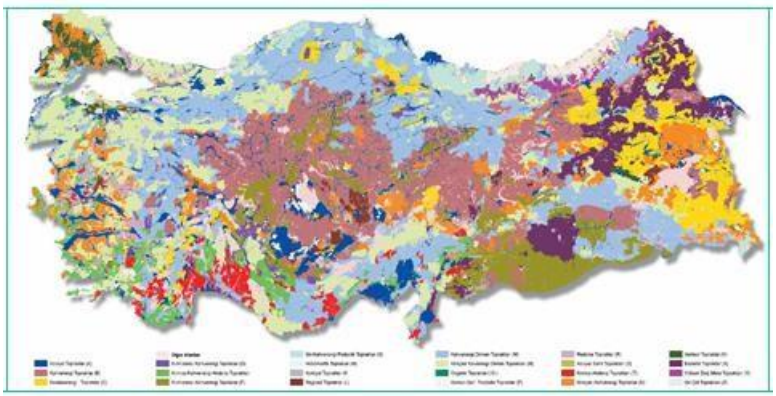
Sonuç olarak ülkemizde toprağın korunması amacıyla oluşturulan yasa ve yönetmelikler geliştirilmelidir. Söz konusu yasa ve yönetmeliklerin ne ölçüde toprağın ve tarımın gelişmesine katkı sağlayacağı elbette izlenecektir. Günümüzdeki gerçek şudur: Beşeri faaliyetlerin çevresel etkileri izlenip, daha sonra mevcut yasa ve yönetmelikler çerçevesinde gerekli önlemler alınmalıdır. Toprağın korunmasına dair politikalar da, tarımla uğraşan üreticilerle birlikte oluşturulmalıdır.

ÜLKEMİZDE VE ANKARA ÖZELİNDE YAŞANAN SORUNLAR

Öncelikle ülkemiz açısında mevcut durumu belirlemekte yara vardır. Ülkemizde zengin toprak örtüsünün varlığı, jeolojik birimlerin zenginliğinden kaynaklanmaktadır. Örneğin, ülkemiz, Prekambriyen'den Günümüze kadar geçen tüm jeolojik zamanları temsil eden zengin bir kayatürü topluluğuna sahiptir. Böylesine zengin bir kaynaktan oluşan toprak örtüsünde her türlü tarımsal üretim yapılabilir. Şekil 27'ye ve 29'a bakıldığında bu gerçeklik tüm çıplaklığı ile görülmektedir. Fakat ülkemizin zengin toprak kaynaklarımıza dair kapsamlı ve güvenilir bir ***toprak ve tarım politikası yoktur.***

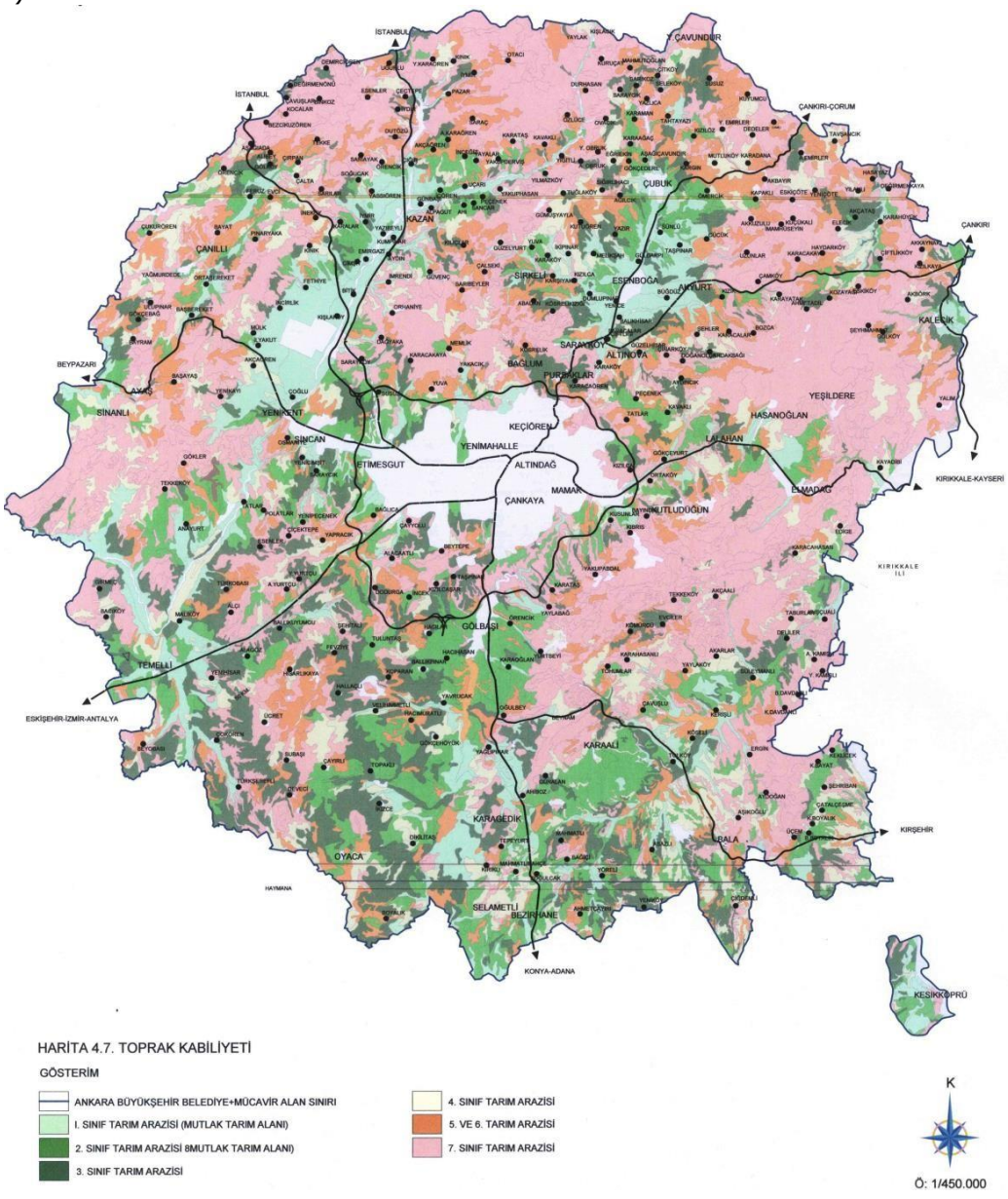


Şekil 27. MTA tarafından hazırlanan Türkiye'nin Jeoloji Haritası (http://cografyabilimi.net/turkiyenin-genel-jeolojik-yapisi/, 17 Kasım 2018, saat 09.40).



Şekil 28. Türkiye'nin Toprak Grupları Haritası ((http://turkishmaps.blogspot.com/2013/03/distribution-of-soil-map-of-turkey.html; 13 Eylül 2018, saat 9.50).

Başkent Ankara da yukarıda belirtilen olumsuz politikalardan etkilenmektedir. Örneğin, ülkemizin GSYH'daki sektörel büyümesi gözetildiğinde, Ankara'nın tarımda %-2.8 oranında küçüldüğü ve TÜİK verilerine göre tarım alanlarının ve istihdamın azaldığı görülmektedir. Oysa Ankara'da toplam tarım arazilerinin % 8' i sulanmakta olup, % 8' lik alan daha sulanabilir niteliktedir. Ankara Toprak Kabiliyet Sınıfları, Şekil 29'da sunulmuştur. Ankara'da, tarım sektörünün en öncelikli konularından biri sulanabilir nitelikteki 1. ve 2. sınıf tarım arazilerini tümüyle sulu tarım yapılabilir hale getirmek olmalıdır. Organik tarım için uygun alanlar bulunarak, alternatif ürün gruplarına yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Ankara, kaliteli üniversiteleri, gelişen sanayisi ve yüksek eğitimli insani sermayesi ile bilim ve teknolojik gelişmeleri, tarım sektörü ile entegrasyonunu sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Kadın istihdamı, Tarım sektöründe Türkiye ortalaması % 32.9 iken, bu oran Ankara'da (%) 3.8'dir (Ankara BB, 2017).



Şekil 29. Ankara Toprak Kabiliyet Sınıfları (2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı, 1/25.000 ölçekli Plan açıklama Raporu, Ankara BB, 2006).

Toprak başlıca mineraller, organik madde, hava, su ve canlı organizmalardan oluşur. Bu oluşum fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin karşılıklı etkileşimiyle meydana gelir. Toprak, karasal biyosferin en önemli bileşeni olup, yaşamın sürdürülmesinde temel işlevlerin gerçekleştiği bir mekâ̧ndır. Toprak bitkilerin büyümesini destekleyen, inşaat gereçlerini, kereste ve gıdanın sağlandığı bir yapıdır. Ayrıca mikroorganizmalar ve çeşitli hayvanlar için bir ev ortamı sağlar. Su için bir kaynaktır. Suyun temizlenmesi ve akışı ile ilgili bir işleve sahiptir. Bina ve yol temellerinde fiziksel açısından bir ham madde işlevini görür.

Toprak suyu, toprak sıvısı olarak kabul edilen çözücüler ve çözünmüş gazları içerir. Toprağın havasının bileşimi atmosferik havadan farklı olup genellikle daha çok CO_2 ve O_2 içerir. O_2 topraktaki organizmalar ve bitki kökleri tarafından kullanılmaktadır. Toprak açık sistem olup gereçlerin toprağa akışına izin verdiği gibi, topraktan da bazı gereçlerin kaybına neden olur. Bu gereçlerin toprak içine transferi ve yeniden düzenlenmesi bir sistem içinde olmaktadır. Toprağa yeni gereçlerin eklenmesi, uzaklaşması, birbiriyle karışması, yer değişmesi ve akışı, toprağa dair horizonların oluşmasında belirleyicidir.

Yukarıda sunulan bilgiler ışığında, toprağın son derece önemli bir kaynak olmanın yanı sıra, beşeri faaliyetlerden de kolayca etkilenmekte olduğu söylenebilir. Ancak, ülkemizde de, Ankara'da da toprağa gerekli özenin gösterilmediği açıktır. Her yıl Kıbrıs adası büyüklüğünde toprağın erozyon nedeniyle denizlere taşındığı bilinmektedir.

Toprak kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar ise, vahşi depolanan evsel ve tehlikeli atıklar, plansız kentleşme, aşırı gübre ve tarımsal ilaçların kullanımı, hayvancılık atıkları, madencilik ve sanayi atıklarıdır. Atıklar, genel olarak mevzuata uygun bir şekilde bertaraf edilmemekte, kentleşme çevre düzeni planlarına göre yapılmamakta, erozyonun denetimi konusunda yeterli duyarlılık gösterilmemektedir. Evsel atıklar ve sanayi atıklarının vahşi depolanması toprak kirliliğinin temel nedenidir. Ayrıca, kentleşmenin ve kentsel dönüşümün etkileri de toprak kirliliğine yol açmaktadır (ÇŞB, 2018). Yine, 2014 yılı ÇDR'na göre toprak kirliliği Ankara özelinde 4. öncelikli sorundu; 2017'de 5. öncelikli soruna dönüşmüştür. Erozyon ise 6. öncelikli sorun olarak devam etmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toprağı oluşturan süreçler beş çevresel faktör tarafından denetlenmektedir. Bunlar ana kaya, iklim, topoğrafya, organizmalar ve zamandır. Bu çevresel değişkenler toprak oluşturan faktörler olarak bilinmekte ve toprak oluşumunun hızını ve yönünü denetlemektedir. Ana kaya ve topoğrafya toprak gelişimindeki başlangıç koşullarını tanımlar. İklim ve organizmalar toprakta oluşan kimyasal ve biyolojik reaksiyonların hızını belirler. Zaman ise çeşitli reaksiyonların geliştiği süreyi tanımlar.

Ana kayanın yapısı ve diğer çevresel faktörler toprak profilinin yerden yere farklı olmasına yol açar. Toprağın fiziksel özellikleri büyük ölçüde toprak partiküllerinin büyüklüğüne ve dokusuna bağlıdır. Ayrıca bunların topraktaki yapısı önemlidir. Doku ve yapı, su ve havanın topraktaki devinimini ve dağılımını etkiler. Bu da büyük ölçüde toprakta yer alan organizmaların yaşamını etkiler. Toprağın rengi genel olarak organik madde içeriği, akaçlama ve havalandırmanın bir göstergesi olarak kullanılır.

Kil mineralleri günlenmenin ürünüdür. Tüm kil minerallerinin yapısı iki tür dizilime bağlı olarak oluşur: Tetrahedral dizilim bir silisyum atomuyla, 4 oksijen atomuyla temsil edilen tetrahedral formunun yinelenmesiyle oluşur. Oktahedral dizilim ise bir alüminyum atomuyla bu atomu çevreleyen 6 oksıjen atomu ya da hidroksil (OH) gruplarının oktan biçiminde yinelenen birimleriyle oluşur.

Bir kaynak olarak toprak tüm dünyada giderek azalmaktadır. Yapılaşma, sanayi ve tarımın yanı sıra, akaçlamaya dair sorunlar, madencilik, atık ve kentsel uygulamaların yarattığı baskılar toprağın bozulmasına yol açmaktadır. Bu bozulma sonucunda erozyon, kirlenme, asitleşme, sıkışma, organik gereç kaybı, tuzlanma ve biyoçeşitlilik kaybı gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Toprağın korunması sürdürülebilir olmalı ve gelecekteki nesillere zarar vermeyecek biçimde organize edilmelidir. Toplum

tarafından oluşturulan tüm faaliyetler ve kararlar toprağı etkiler. Bu da dünyanın gelecekteki en büyük sorunlarından biridir.

Ülkemizde ise tarım toprakları, yasal sınırlamalara karşın, büyük bir risk altındadır. Örneğin, 2002 yılında 26,6 milyon hektar olan tarım arazileri 2017'de 23,4 milyon hektara düştü. Yani tarımda kullanılan araziler % 13 azaldı (Sarıbal, 2018). Bu kadar kısa zamanda tarım topraklarının dramatik bir biçimde azalması tarım politikalarını derinden etkilemiştir. Örneğin, tarımın istihdamdaki payı % 35'den % 19'a geriledi. Tarımın gayrisafi milli hasıladaki payı % 10'dan % 6'ya düştü. Tarımın katma değeri 2012 yılında 68 milyar dolar iken, 2017 yılında % 24 gerileyerek 52 milyar dolara düştü. Tarım ürünlerinin çiftçinin elinden çıkış fiyatı üç kat artarken, çitçinin satın aldığı tarım girdilerinin fiyatları 5 kat arttı (Sarıbal, 2018). Sonuç olarak, bir tarım ülkesi olan ülkemiz, tarım ürünlerini ithalatla karşılama ile karşı karşıya kaldı.

Erozyon sonucunda taşınan topraklar, tarım alanlarının azalmasına ve verimsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Erozyon, yalnız toprak kaybına neden olmakla kalmayıp akarsular ve sellerle taşınan çeşitli gereçlerin göl ortamında birikmesiyle göllerin doğal dengesini de bozar. Göl ortamına taşınan çökeller, çeşitli kimyasal ve biyolojik etkileşimler sonucu gölleri kirletmekte ve göl ekosistemlerinin bozulmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla, erozyon mutlaka denetlenmesi gereken doğa kaynaklı bir afettir.

Ülkemizde, özellikle GD Anadolu'da tuzlulaşmanın fazla sulamadan ileri geldiği göz ardı edilmemelidir. Bu çerçevede tuzlulaşma tehdidi bulunan arazilerde bitki köklerinde yılda en az bir kez toprak alınarak analiz edilmelidir. Bunun için, bitkinin kök derinliği ve yıl içindeki gelişim durumu gözetilmelidir. Tuzlulaşmaya neden olan unsurlar belirlenip, bu unsurların yer aldığı taban suyunun akaçlama ile uzaklaştırılması gerekir. Buna göre derin kanallar açılıp, tuzluluğa neden olan sular tahliye edilmelidir. Bitkiye, ihtiyacından fazla su verilmemelidir.

Arazinin sulamaya hazırlanması için ön çalışmalar yapılmalı ve sulama ihtiyacı belirlenmelidir. Öncelikle arazinin sulamaya hazırlanmasında kaynak araştırmaları yapılmalıdır. Ayrıca, uygun sulama yöntemlerinin seçilmesi gerekmektedir. Seçilen yöntemin gerektirdiği sistem planlanır, kurulur ve işletilir. Sulama yönteminin seçimine etkileyen faktörler su kaynağı ve sulama suyunun özellikleri, toprağın nitelikleri, topografik faktörler, iklim, bitki türleri ve mevcut sorunlar, ekonomik faktörler, sosyal ve kültürel faktörlerdir. Sulama ve sulama yöntemlerinin projelendirilmesi konusunda Kalkınma Bakanlığı'nın GAP için hazırladığı veörnek projelerin sunulduğu kaynaklara başvurmakta yarar vardır (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012 ve diğerleri).

Toprak tarımın yapılabildiği biricik doğal kaynaktır. Tekelci tarım politikaları yerine, adil bir paylaşımı öngören ve ekolojik ilkelere dayalı tarım politikaları geliştirilmelidir. Gelişmiş ülkelerin oluşturduğu Avrupa Birliği'nin tutumu bile, bu hususta tipik bir örnektir. Avrupa Birliği, diğer ülkelere bazı ek dış satım vergileri koyup buğday açığı olan ülkelere buğday satışını engelleyici bazı yaptırımlar getirmekten kendini alamamıştır. Oysa, ekolojik, sosyal, hatta insani ilişkiler bakımından, Dünya'nın küresel besin güvenliği, besin stoklarının tekelci bir anlayışla sadece belirli ülkelerde saklanmasıyla değil; mevcut besin maddelerinin en yoksul ülkelerden en zengin ülkelere kadar, tüm insanların yiyecek bulabileceği bir paylaşımla gerçekleşir. Dolayısıyla, ülkenin kamu yararına doğru dürüst bir toprak ve tarım politikası oluşturmak zorunludur.

Tarım sektöründe bilim ve teknolojinin olanaklarından yararlanmak zorunludur. Ülkemiz de tarımın en verimli yapılabileceği bir ülke konumundadır. Oysa son yıllarda, birçok tarım ürünü ithal etmek zorunda kalınmıştır. ***Ülkemizde tarım, çok uluslu şirketlerim güdümüne girmiştir.*** Tarımda, ulusal bir politikaya acilen ihtiyaç vardır. Oluşturulan yasa ve yönetmelikler çerçevesinde toprağın korunması ve tarımla kooperatifçiliğin teşvik edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, tarım emekçilerinin korunması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Hollanda deneyimi, Türkiye'nin olası

tarım politikalarının yönlendirilmesinde bir laboratuvar niteliğindedir. Türkiye'nin tarımsal ihracatının, Konya Ovası kadar küçücük Hollanda'nın 1/5'i kadar olduğu unutulmamalıdır.

Öte yandan, küresel tohum piyasası, 40 milyar doları aşan bir değere sahiptir. Tarımda olduğu gibi, bu piyasayı da ***çokuluslu şirketler yönetmektedir.*** Yerel tohumların üretimine yönelik çabalar ise sınırlıdır. Oysa yerel tohumlar ***"yöresel adları"*** ile belirlenip, kayıt altına alınmalıdır. Kayıt altına alınan yerel ürün çeşitleri ***"ortak varlık"*** olarak tescil edilmeli, ortak varlıkların hiçbir şekilde özelleştirilmemesi yasal güvence altına alınmalıdır. Böylelikle hem hiçbir koşulda dokunulamayacak değiştirilemeyecek bir yerel tohum envanteri ortaya çıkartılmış olacak; hem de ***biyoçeşitlilik*** korunacaktır. Doğa ve insan dostu üretim modellerini temsil eden sürdürülebilir tarım/gıda sistemleri ancak bu şekilde yaygınlaştırılabilir.

Yapılan jeolojik çalışmalarda Kuvaterner birimleri, toprak türleri ve profilleri gözetilerek haritalanmalıdır. Ne yazık ki ülkemizde bu konuda yeterli birikim oluşmamıştır. Ayrıca, toprak için ***bilime, hukuk ilkelerine, çağdaş teknolojiye, ekolojik ve sosyolojik ilkelere dayalı*** koruma önlemleri acilen alınmalıdır. ***Yaygın bir eğitimle halk,*** özel ve teknik eğitimle ***çiftçiler*** bilinçlendirilmelidir. ***Nüfus artışının önlenmesi*** için uygulanabilirliği olan politikalar geliştirilmelidir (Oral, 2018).

Dünya çapında milyonlarca kişiyi enfekte eden Covid-19 salgını, insana bir kez daha hatırlattı: Enerji, tarım, ulaşım gibi yaşamın her alanındaki faaliyetlerimiz sonucunda doğal yaşamda açtığımız yaralar dönüp dolaşıp bizi etkiliyor. http://www.bugday.org/blog/hastalikli-bir-gezegende-saglikli-kalmak/ (Published on 12 Nisan 2020 under Ebulten). Doğal yaşamın yeşerdiği yer ise topraktır. Sağlıklı gıdaya, hasta bir gezegende erişilemez.

Sağlıklı gıdaya erişim ise, temel bir insan hakkıdır. Özellikle de temiz, ulaşılabilir, taze gıdaya ulaşım hakkı en temel hak olarak devlet güvencesine alınması gerekmektedir (Hacaloğlu, 2018).

KAYNAKLAR

Abramowitz, J.N., 1997. Doğal Hizmetlerin Değerini Bilmek, TEMA Dünyanın Durumu Raporu, Çev. Hakan Gülseven, İstanbul.

Abrol, I.P., Yadav, J.S.P. ve Messoud, F.I., 1988. Salt affected soils and their management. FAO Soils Bulletin, 39.

Akalan, İ., 1987. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 1058, Ders Kitabı 309: Ankara, 346s.

Ankara BB, 2006, 2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı, 1/25.000 ölçekli Plan açıklama Raporu, Ankara, 714 s.

Ankara BB, 2017. 2038 Ankara Çevre Düzeni Planı Raporu Açıklaması, Ankara Büyükşehir Belediyesi, Ankara, 828 s.

Atalay, İ., 1989. Toprak Coğrafyası. 2.baskı, Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.8, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir, 444s.

Aydeniz, A., 1985. Toprak Amenajmanı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 928, Ders Kitabı no.263, 554s.

Birkeland, P.W., 1999. Soils and geomorphology, 3rd edition. Oxford University Press, Oxford.

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S. ve Paslı, N., 2001. Ekoloji-II, Toprak: Başkent Klişe Matbaacılık, Bayındır Sok. No.30/E, Kızılay-Ankara, 1054

Brady, N.C., 1990. The Nature and properties of soils. Tenth edition. Macmillan Publishing Company, New York, 621s.

Brady, N.C. ve Weil, R.R., 2002. The nature and properties of soil, 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Brown, G.P., 1995. Arable Land Loos in Rural China, Asien Survey.

Brown, L.R. ve Wolf, E.C., 1997. Dünya Ekonomisinde Sessiz Kriz: Toprak Erozyonu (Çeviren: B.G. Kocabıyıkoğlu), TUBİTAK-TEMA, yayın no 2, ikinci basım, Ankara.

Burt, T.P., Heathwaite, A.L. ve Trudgill, S.T., 1993. Nitrate: Process, patterns and management. John Wiley & Sons, Chichester.
Chapman, P. J., 2008. Soil and the environment. In: Holden, J. (ed.), An Introduction Geography and the Environment, School of Geography, University of Leeds, 762s., 143-174. www.pearsoned.co.uk/holden.
Cihangir, C. ve Poyraz, D., 1998. Land Degration in Thrace, International Symposium on Arid Region Soil, Menemen.
Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991. Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.
COM, 2002. Towards a thematic strategy for soil protection. Commission of the European Communities, Brussels.
Cresser, M.S., Kilhma, K. ve Edwards, A.C., 1993. Soil chemistry and its applications. Cambridge University Press, Cambridge
Çepel, N., 1997. Toprak Kirliliği, Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar, TEMA Vakfı Yayın No:14, İstanbul.
Çepel, N., 2000. Toprak ile Söyleyişi, TEMA Vakfı Yayın No:31, İstanbul.
Çepel, N., 2003. Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 180, Ankara.
ÇŞB, 2014. Ankara ili 2014 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 245 s.
ÇŞB, 2016. Ankara ili 2015 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 255 s.
ÇŞB, 2017. Ankara ili 2016 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 160 s.
ÇŞB, 2018. Türkiye Çevre sorunları ve öncelikleri değerlendirme raporu (2016 yılı verileriyle). Ankara, 139 s.
Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997. Exploring Earth: An Introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.
Detwyler, T.R., 1971. Man's Impact on Environment: McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 731 s.
Ergene, A., 1987. Toprak Biliminin Esasları. 4.baskı, Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.635, Ziraat Fakültesi yayınları no.289, Ders Kitapları Serisi no.47, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 370s.
Gardner, G., 1996. Tarım Kaynaklarının Korunması, Dünyanın Durumu Raporu, TÜBİTAK-TEMA Yayını, Ankara.
Gerrard, J., 2000. Fundamentals of soils. Routledge, London
Gowing, G., 2003. Salinisation – one of our biggest environmental problems: http://www.amonline.net.au/factsheets/ salinisation.htm
Hacaloğlu, M., 2018. Sürdürülebilir, adil ve ulaşılabilir ulusal bir gıda politikası için düşünceler. BİRGÜN PAZAR Eki, s.607, s.8-9.
http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex890?opendocument
http://www.bugday.org/blog/hastalikli-bir-gezegende-saglikli-kalmak/ (Published on 12 Nisan 2020 under E-bulten).
http://www.cografya.biz/
http://www.defra.gov.uk/environment/land/soil/index.htm
http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/landquality/
http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm
http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm
http://www.maweb.org/en/index.aspx
http://www.soilassociation.org/
http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/
http://www.soil-net.com
http://soil.gsfc.nasa.gov/

http://www.soils.org/sssagloss/
http://soils.usda.gov/
http://soils.usda.gov/sqi/

Ilaiwi, M., Abdelgawad, G. ve Jabour, E., 1992. Syria: human induced soil degradation. In: UNEP world atlas of desertification. Edward Arnold, London, 43–45.

Karavayeva, N.A., Nefedova, T.G. ve Targulian, V.O., 1991. Historical land use changes and soil degradation on the Russian Plain.

Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.

Kormondy, E.J., 1966. Concepts of Ecology. Fourth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 559s.

Köroğlu, M. S., 2014. Toprak Oluşumu. http://www.cografya.biz/'den.

MISIR, 1984. Organisation and methods of the 1:250 000 Soil Survey of Scotland. The Macaulay Institute for Soil Research, Aberdeen.

Morgan, R.P.C. (ed.), 1986. Soil erosion and conservation. Longman, Harlow.

Lean, G., 1995. Down to Earth, Centre for Our Commen Future, TEMA Vakfı Yayın No:9, İstanbul.

Lowdermilk, W.C., 1994. Toprağın 7000 Yıllık Öyküsü, TEMA Vakfı Yayın No:22, Çev. A. Atay, İstanbul.

Meydan-Larousse, 1969. "Toprak"

Oldeman, L.R., Wakkeling, R.T.A. ve Sombroek, W.G., 1991. World map of the status of human induced soil degradation. Volume 2: Global assessment of soil degradation. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, and UNEP.

Oral, N., 2018. Çok uluslu şirketler yerel tohumları bitirmeye çalışıyor. BİRGÜN PAZAR Eki, s. 608, s. 11.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P. et al., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267, 1117–1123.

Saatçi, F., 1975. Toprak İlmi. 4.baskı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları no.214, Bornova-İzmir, 303 s.

Sarıbal, O., 2018. 'Yerli ve milli' diyerek tarımı yabancılara teslim ettiler. 13 Mayıs 2018 tarihli BirGün Gazetesi. s.11.

Sibbesen, E. ve Runge-Metzger, A., 1995. Phosphorus balance in European agriculture – status and policy options. In: Tiessen, H. (ed.), Phosphorus in the global environment. John Wiley & Sons, Chichester, 43–60.

Stanners, D. ve Bourdeau, P. (eds), 1991. The DOBRIS Report: Europe's environment. Earthscan, London.

Smithson, P., Briggs, D., Addison, K. ve Atkinson, K., 2002. Fundamentals of the physical environment, 3rd edition. Routledge, London

TC Kalkınma Bakanlığı, 2011. Toprağın Tuzlulaşması (Hazırlayan: Mehmet Ali Çullu), Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

TC Kalkınma Bakanlığı, 2012. Sulama ve Sulama Yöntemlerinin Projelendirilmesi, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

Tek, Ö., 1996. Gözde bir metal: Titanyum. Bilim ve Teknik, TUBİTAK, 339, 50-53.

TKKY, 2005, Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31. 05. 2005 tarih ve 25831 sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Tosun, K., 2021, Enerji ve tarım. https://www.enerjitime.com/enerji-ve-tarim/ (15 Nisan 2021, saat 17.37).

Türüdü, Ö.A., 1992. Toprak Bilgisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, yayın no:104: MYO yayın no 1., Trabzon, 165s.

Ward, R.C. ve Robinson, M., 2000. Principles of hydrology. McGraw-Hill, London.

White, R.E., 1997. Principles and practice of soil science: The soil as a natural resource, 3rd edition. Blackwell Scientific, Oxford.

Whitehead, P.G., Beck, M.B. ve O'Connell, P.E., 1981. A systems model of flow and water quality in the Bedford Ouse River System – II. Water quality modelling. Water Resources Research, 15, 1157–1171.
Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.

Bölüm 5. YAPISAL JEOLOJİ

GENEL BİLGİLER

Yapısal jeoloji, gözlenen ve ölçülebilen jeolojik yapıların irdelenmesidir. Söz konusu yapıların konumu arazide belirleyip haritaya aktarıldıktan sonra, bu yapıları oluşturan kuvvetlerin konumu irdelenir. Yapısal jeolojide yapılar, çok geniş bir alanı içermez, yani kıtasal ölçekte değildir. Yapıların tarihi ise ikinci planda yer alır.

Tektonik ise, Yer'in günümüzdeki mimarisini oluşturan yapısı ile bu yapıyı oluşturan kuvvetlerin birlikte irdelenmesidir. Ayrıca, tektonik yerkabuğunun yapısı ile bu yapıyı oluşturan süreçler arasındaki ilişkileri tarihi gelişim içinde irdeleyen jeolojinin bir koludur.

Bu alanlarda çalışmalar yürütülürken, kayalarda gözlenen düzlemsel ve çizgisel yapı elemanları irdelenir. Kayaların deformasyonu sonucu oluşan kırıklar, çatlaklar, kıvrımlar ve faylar arazide belirlenip haritalanır. Tüm yapı elemanlarının haritaya dökümü yapıldıktan sonra, bu elemanlarla, elemanların oluşmasına yol açan tektonik kuvvetler arasındaki ilişkiler çeşitli yöntemlerle değerlendirilir. Bu bölümde, Yılmaz'ın (2008; 2009) ders kitapları güncellenmiştir.

KAYALARI ETKİLEYEN KUVVETLER

Yerkabuğunu oluşturan kayalar, yerin canlılığını da yansıtan çeşitli kuvvetlerin denetimi altındadır. Bu kuvvetlerin doğal sonucu olarak kırıklar, kıvrımlar ve faylar gibi çeşitli yapılar oluşur. Kuvvetlerin yönü ile meydana gelen yapılar arasında bazı temel ilişkiler vardır. Bu ilişkileri anlamak için önce kuvvet, basınç, gerilme ve deformasyon gibi bazı temel kavramların bilinmesinde yarar vardır.

Kuvvet (force), duran bir cismi harekete geçiren ya da hareket halindeki bir cismin hızında herhangi bir değişim yaratan vektörel bir niceliktir. Diğer bir deyişle, bir cismin diğer bir cisim üzerinde uyguladığı yük ya da bir hareketin hız kazanmasının nedenidir.

Vektörel bir nicelik olması dolayısıyla kuvvetin yönü ve şiddeti tanımlanabilir. Bu tanımlama, üç boyutlu bir mekân içinde yapılırsa, kuvvet bileşenlerine de ayrılabilir. Ayrıca bir cisim, herhangi bir kuvvetten etkilendiğinde, şeklinde ve hacminde bir değişikliğe yani deformasyona uğrar. Deformasyon da üç boyutlu bir mekân içinde bileşenlerine ayrılarak incelebilir.

Ancak önce kuvvetin diğer yansımaları olan basınç ve gerilme terimleri üzerinde durmak ta yarar vardır. Çünkü bu terimler de kayaları etkileyen kuvvetler irdelenirken sıkça kullanılmaktadır.

Basınç (pressure), cismin dışından kaynaklanan kuvvetin bir biçimi olup, kayaların, hacim ve biçim yönüyle fiziksel özelliklerini değiştirir. Aynı zamanda basınç, birim alanı etkileyen yük olarak tanımlanabilir. Basınç, yanal ya da dikey bir konumda gelişebileceği gibi, herhangi bir açı altında da gelişebilir. Böyle bir durumda basınç da kuvvet gibi bileşenlerine ayrılabilir.

Gerilme (stress), ise cisme dıştan gelen bir kuvvete karşı gelişen iç kuvvettir. Bu çerçevede gerilme, ya da gerilim birim alanı etkileyen vektörel kuvvet olarak tanımlanmaktadır.

Gerilme, kuvvetlerin konumuna göre çeşitli türlerde olabilir. Örneğin basınç gerilmesi, aynı doğrultuda ve zıt yönde, makaslama gerilmesi farklı doğrultularda paralel, ancak zıt yöndeki kuvvetlerle oluşmaktadır. Bir cismi etkileyen basınç gerilmesi, aynı cisimde gelişen çekme gerilmesine dik bir konumda gelişir.

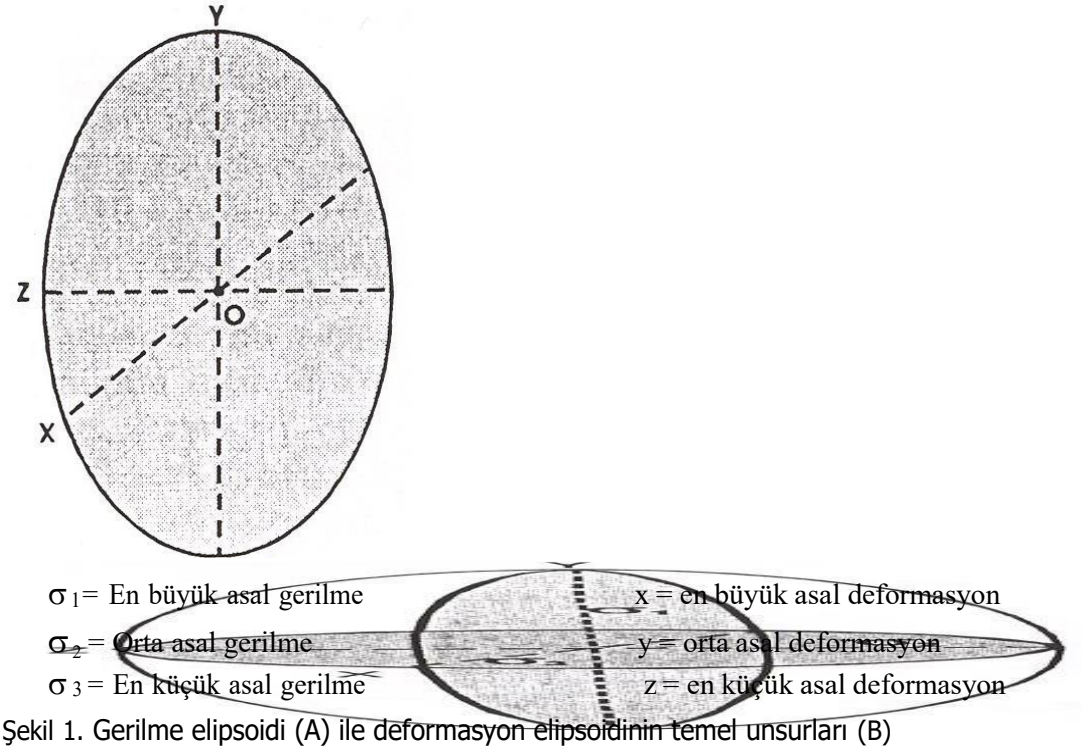
Burulma (torsion) ***gerilmesi*** ise bir cismin farklı iki noktasına ve kayada zıt yönlerde dönmeyle oluşan bir gerilme türüdür.

Deformasyon, çeşitli kuvvetlerin güdümünde kalan cisimler, ilksel konum, biçim ve hacim yönüyle değişikliğe uğrarlar. Bu değişimler, cisimleri etkileyen dış kuvvetlerle, cismin bu kuvvetlere karşı tepkisinin doğal bir sonucu olarak olmaktadır. Yani deformasyon, cisimleri etkileyen dış kuvvetlerle iç kuvvetlerin çatışmasının bir yansıması olarak oluşur. Sonuç olarak deformasyon, katı bir cismi etkileyen kuvvetler nedeniyle, cismin boyutlarında ve şeklinde meydana gelen değişim olarak tanımlanır.

Gerilme elipsoidi ve deformasyon elipsoidi

Bir cismi etkileyen kuvvet bileşenlerine ayrıldığı gibi, bu kuvvetin cisimde yarattığı gerilme ve deformasyon da üç boyutlu bir mekanda bileşenlerine ayrılarak irdelenebilir. Kuvvet, vektörel ve nicelikseldir. Gerilme ve deformasyon da kuvvetin bileşenleri doğrultusunda ölçülebilen sayısal değerlerdir.

Bir cismi etkileyen kuvvete ilişkin bileşenlerin cismin içinde bir O noktasında kesiştiğini var sayalım. Bu kuvvetin her bileşenin vektörü doğrultusunda, gerilme σ gibi sayısal değerle ifade edilir. Kuvvetin birleşenleri üç boyutlu bir mekanda sıra ile xA, yB ve zC'ye ayrılırken oluşan gerilme de, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ayrılır. σ_1 en büyük asal gerilme, σ_2 orta asal gerilme, σ_3 ise en küçük asal gerilme olarak adlandırılmaktadır. σ_1-σ_3 maksimum gerilme farkını vermektedir. Şekil 1A'da gerilme elipsoidinin asal gerilme eksenleri görülmektedir.



Şekil 1. Gerilme elipsoidi (A) ile deformasyon elipsoidinin temel unsurları (B)

Deformasyon elipsoidi ise, başlangıçta küre biçiminde olduğu varsayılan bir cismin, gerilmelerin etkisi ile kazandığı yeni şekli belirlemeye yarayan bir araçtır. Bu da deformasyona uğramış bir kütlenin yani, üç eksenli bir elipsoidin görünümünü yansıtmaktadır (Şekil, 1B). Deformasyon elipsoidi x, y, z olmak üzere üç eksene sahiptir. x en büyük , y ortanca, z ise en küçük asal deformasyon eksenlerini temsil etmektedir.

Gerilme ve Deformasyon ilişkisi

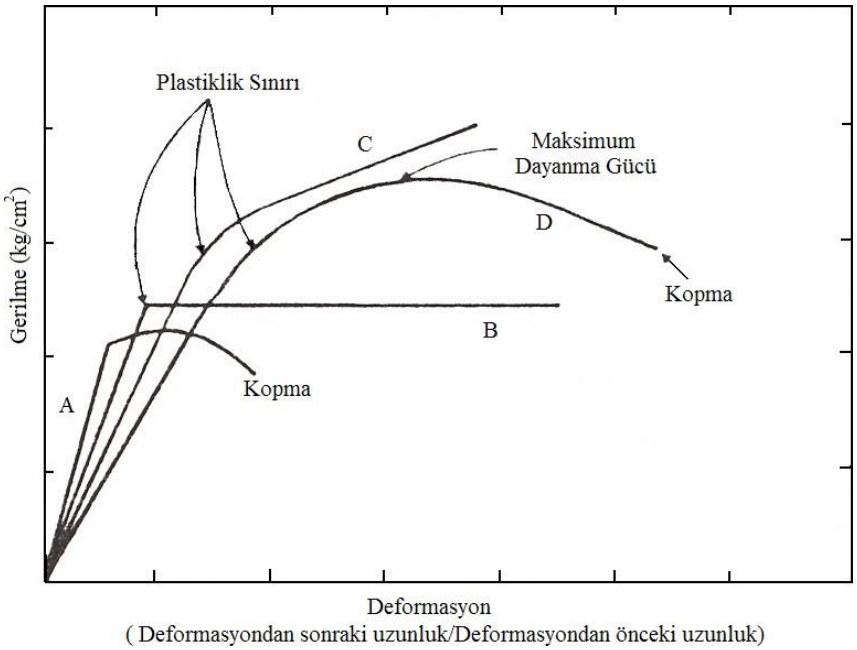
Yerkabuğunda, Yer'i oluşturan levhaların hareketi, yerçekimi ve magmatizma olaylarından kaynaklanan gerilmelerin denetimi altındadır. Gerilmenin de yerkabuğunun deformasyona uğrattığı bilinmektedir. Ancak yerkabuğu tekdüze (homojen) olmadığı için gerilme ve deformasyondan farklı biçimlerde etkilenmektedir. Örneğin kırılgan (rijit) cisimler, pek fazla bir biçim değişimine uğramadan kırılmaya uğrarlar. Buna kireçtaşı, granit, mermer örnek verilebilir. Bazı cisimler ise kırılmadan burulma bükülme, yamulma gibi biçim değişimine uğrarlar. Plastik davranışlar sunan killi-kumlu kayaların gösterdiği bu tür deformasyona ***sünümlü deformasyon*** adı verilir.

Öte yandan, bir cisme uygulanan kuvvet, bir deformasyon oluşturuyorsa ve kuvvet ortadan kalktıktan sonra tekrar eski orijinal biçimine dönebiliyorsa, böyle bir cisme elastik cisim ve oluşan deformasyona da ***elastik deformasyon*** adı verilir. Cisimde elastik deformasyon oluşturan gerilmenin en yüksek değerine ***elastik sınır*** denir. Elastik davranıştan plastik davranışa geçiş sınırı, ***elastik limit*** olarak tanımlanır.

Cisme etki eden kuvvet kaldırıldığında, cisim tekrar eski haline dönemiyorsa, bu cisme plastik cisim oluşan deformasyona da ***plastik deformasyon*** denir. Sünümlü kayalarda oluşan kıvrımlar plastik deformasyonu temsil etmektedir.

Cisim üzerine herhangi bir kuvvet uygulanmaksızın deformasyon devam ediyorsa, bunlara viskoz cisimler, oluşan deformasyona da ***viskoz akma*** denir. Her cisim, bulunduğu fiziksel koşullara göre elastik, plastik ya da viskoz akma türü deformasyonlara uğrayabilir. Ancak her cismin elastik, plastik ve akma türü deformasyon sınırları farklıdır.

Kaya birimlerini etkileyen gerilmeler ile gerilmenin oluşturduğu deformasyonlar arasında çok yakın ilişkiler vardır. Bu ilişkiler, Şekil 2'de sunulmuştur. Şekilde gerilme kg/cm^2 olarak dikey eksende, oluşan deformasyon (D=Deformasyondan sonraki uzunluk/deformasyondan önceki uzunluk % olarak) yatay eksende görülmektedir. Şekil üzerendeki A kırılgan bir cismi, B ise ideal plastik bir cismi, C normal plastik bir cismi, D ise plastik deformasyonu ve kırılmayı temsil eder.



Şekil 2. Gerilme ile deformasyon arasındaki ilişkiler (Billings, 1972'den kısmen değiştirilerek).

Deneysel olarak yapılan ölçümlerde, deformasyonun gerilmeye oranı, **kayanın dayanımlığını** belirler ve buna da ***elastisite modülü*** (Young modülü) denir. E= F/D, E, elstisite modülü, F, gerilme, D, deformasyon.

Buraya kadar kuvvet, gerilme ve deformasyon ilişkileri irdelendi. Bundan sonra, bu denetimde oluşan yapılar ve yapıların bir düzlemde tanımlanması ve kuvvetlerle olan ilişkileri sunulacaktır. Bölümün sonunda ise yerkabuğunu oluşturan kuvvetlerle, oluşan yapıların ilişkileri bir bütün olarak değerlendirilecektir.

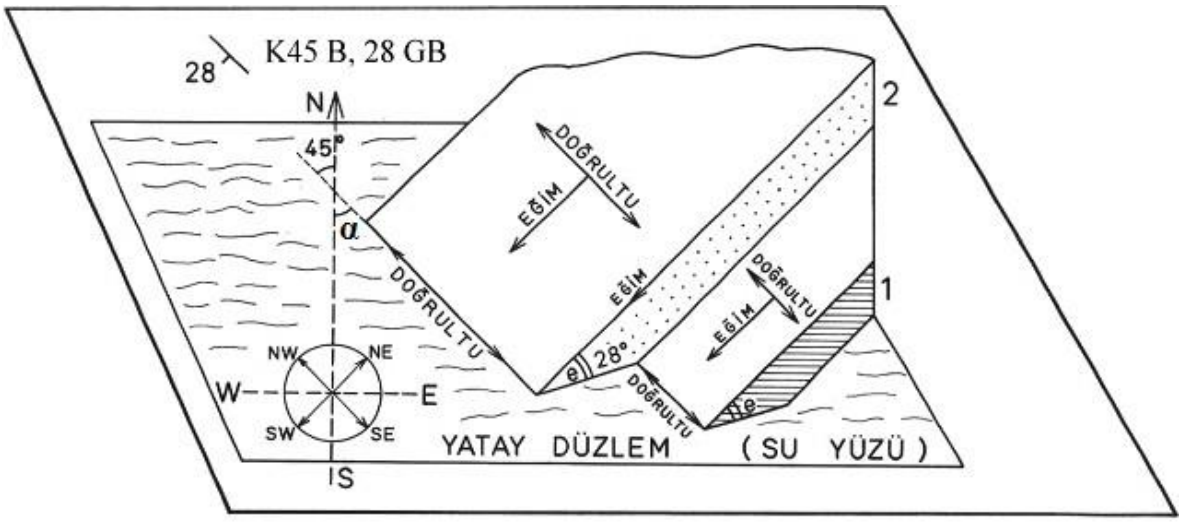
DÜZLEMSEL VE ÇİZGİSEL YAPI ELEMANLARININ KONUMU

Kayalar, çökelme süreçleri sırasında yatay ya da yataya oldukça yakın bir düzlemde çökelirler. Yani, oluşan katmanlar ve katmanlarda yer alan çizgisel yapı elemanları yatay bir düzlemde yer alırlar.

Herhangi bir deformasyona uğrayan ya da tektonik süreçlerden etkilenen katmanlar önce kıvrımlanırlar ve bu sırada çeşitli kırık ve çatlaklar meydana gelir, daha sonra ise faylanmaya uğrarlar. Bu gelişim sırasında kayaların düzlemsel ve çizgisel yapı elemanları yataydan farklı bir duruma gelirler, yada bu elemanlar yatay düzlemle belirli açılar altında bulunurlar.

Düzlemsel yapılar

Katmanlanma ve yapraklanma gibi düzlemsel elemanların kıvrımlanmadan ileri gelen özel konumları onların doğrultusu ve eğimi ile, çizgisel olanların ise yönlem ve dalımı ile ifade edilir. Şekil 3'de eğik durumlu 1 ve 2 numaralı katmanların doğrultusu ve eğimi görülmektedir. ***Doğrultu***, katmanın yatay düzlemle (su yüzü ile) yaptığı arakesitin kuzey ile yaptığı açı***, eğim*** ise katmanın yatay düzlemle yaptığı açı ile tanımlanır. Gerek doğrultu ve gerekse eğim, kıvrımlanmış katmanın yatay düzlemde bıraktıkları coğrafik yönlere göre ifade edilir. Şekil 3'deki katmanların doğrultusu K45B, eğimi ise 28^o GB olup, topluca K45B, 28GB şeklinde yazılır ve açı ölçerle doğrultu belirlenip, ona dik doğrultuda eğim derecesi şeklinde haritaya işlenir.



Şekil 3. Eğik konumdaki katmanların (1,2) Doğrultu ile Eğim yönü ve değerleri. Doğrultu: K 45^o B (a-açısı); Eğim: 28^{o}GB (e-açısı) (Ketin, 1977).

Katmanlanma

Katman (bed, layer, stratum), oluşum sırasında duruşu denetleyen yüzey ya da yüzeylere koşut konumda olan düzlemsel bir yapı olup söz konusu yüzey, çürüme, aşınma ya da çökelme

sistemindeki bir değişim ile meydana gelir. Bir katman, tekdüze ya da dereceli bir kayatürü ile temsil edilir ve alttaki yüzeyin ilksel eğimine koşut olarak gelişir.

Katmanlanma ise, katmanlar halinde yerleşme olup, katman ya da lamina varlığını bildiren toplu bir terimdir. Yani bir yönü ile katmanlanma, çökellerin ya da kimi zaman magmatik kayaların düzlemsel birimler halinde yerleşmesiyle meydana gelen bir yapıdır.

Yapraklanma (Foliation ve Cleavage)

Kayaların birbirine paralel düzlemler meydana getirecek biçimde bölünmesini ya da ayrılmasını yansıtan metamorfik bir yapıdır. Yapraklanma, kumtaşlarında katmanlanma yüzeylerine dik, ince taneli kil taşı gibi kayalarda kıvrım eksenlerine paralel olarak gelişir. Yapraklanma türleri, konumlarına göre çeşitli adlar altında sunulmuştur. Eksen düzlemi, buruşma ve kırışma, katmanlanma, kırılma yapraklanmaları başlıca yapraklanma türleridir.

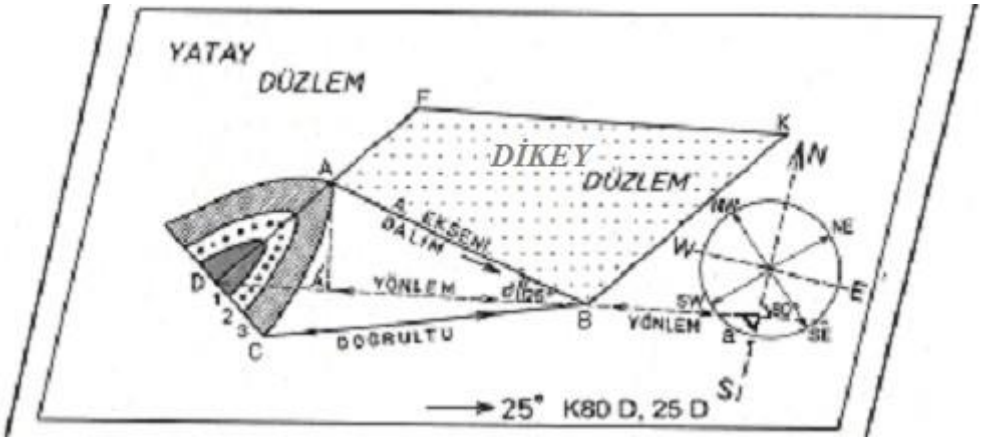
Çizgisel yapılar (Lineation)

Magmatik kayalardaki ilksel (primer) akıntılar, çökel kayalarda ikincil (sekonder) akış, kimi düzlemlerin kesişmesi ya da metamorfizmaya dayalı kristal büyümeleri, çamur akıntısı, taban (oygu-dolgu) yapıları, sucuksu (budinage) yapılar başlıca çizgisel yapılardır.

Çizgisel yapılar, tektonik hareketlerin ve basınçların yönünü belirlemede önemli unsurlar olup, deformasyonun çeşitli evrelerinde de meydana gelebilmektedir.

Kıvrım ekseni, faylarda gelişen kayma çizikleri, katmanların tabanında izlenen akıntı izleri, bir katmanda çakılların dizilimi gibi çizgisel yapı elemanlarının yatay düzlemde ve coğrafi yönlere göre durumları ise ***yönlem*** ve ***dalım*** ile tanımlanır. Örneğin çizgisel yapı elemanının ***yönlemi***, bu elamanın yatay düzlem üzerindeki izdüşümüdür. ***Yönlemin değeri*** ise bu izdüşümün K ile meydana getirdiği açının derecesi ile ifade edilir. ***Dalım*** ise çizgisel yapı elemanının eğik olduğu yöndür ve ***değeri***, yapı elemanının yer aldığı dikey düzlem üzerinde yatayla yaptığı açının derecesidir. Çizgisel yapı elemanlarının yazılışı ve söylenişi de düzlemsel yapı elemanlarında olduğu gibidir. Örneğin eğik konumda bir kıvrım ekseninin Şekil 4'deki yönlemi ve dalımı, sıra ile K80D, 25D biçiminde ifade edilmektedir.

Düzlemsel ve çizgisel yapı elemanlarının doğrultusu, eğimi, yönlemi ve dalımı Jeolog Pusulası ile ölçülür. Herhangi bir kuvvetin güdümüne giren kayalar kaçınılmaz olarak deformasyona uğrarlar. Deformasyon sırasında sıra ile kırık sistemleri ve çatlaklar, çeşitli kıvrımlar ve faylar meydana gelirler.



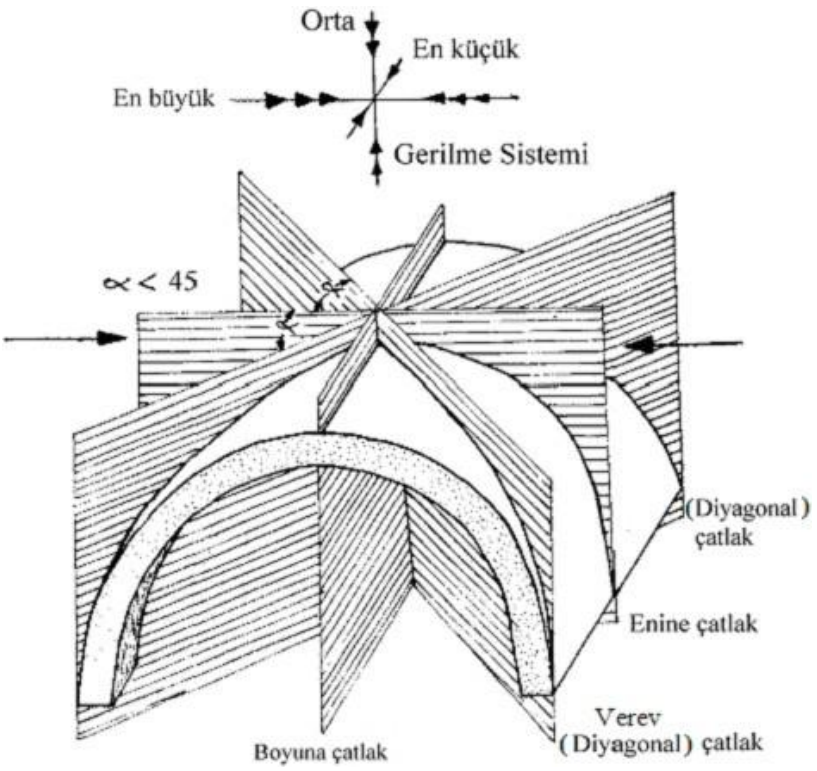
Şekil 4. Eğik konumlu bir antiklinal ekseninin (AB) Yönlem ve Dalımı ile bunların değerleri. Yönlem (A´B): K 80^{o} D (a-açısı); Dalım: 25^{o} D (d-açısı) (Ketin, 1977).

KIRIK SİSTEMLERİ VE ÇATLAKLAR

Çoğu kaya türlerinde çeşitli yarık ve çatlaklar izlenir. Kırılma (Fracturing) ile kayanın tanecikleri arasındaki bağlılık kopar. Kırılma yüzeyleri, gözle fark edilecek düzeyde birbirinden ayrılırlar. Kırılma sonucu meydana gelen açıklık bir mm ya da daha küçük ise kırılma ***çatlak***, bir mm'den daha büyük ise kırılma ***yarık*** adını alır. Çatlak ve yarık oluşumunda, kırılma yüzeyleri bir miktar birbirinden uzaklaşmakta, ancak aralarında gözle görülebilir boyutta bir kayma fark edilmez. Uzaklaşma, yüzeylere dik yönde gelişir.

Çatlaklar, çökelmeden hemen sonra, pekişme ya da sıkılaşma tamamlanmadan oluşmaya başlar ve daha sonraki katılaşma, yükselme sırasında, çeşitli deformasyon evrelerinde, derece-derece gelişme gösterirler. Çatlak oluşumu için her zaman bir deformasyon gerekmez. Killerde oluşan kuruma çatlakları, bazaltik lavlarda oluşan soğuma eklemleri, deformasyonun güdümünde oluşmayan yapılardır.

Çatlaklar, gelişme biçimlerine ve oluşturdukları geometrik şekillere göre çeşitli isimler alırlar. En çok kullanılan adlandırma bölgedeki kıvrım eksenine ve gerilme sistemine göre yapılan sınıflamaya dayanır (Şekil 5). Bu şekilde, bir kıvrım eksenine, dolayısıyla gerilme eksenine göre oluşan boyuna, enine ve verev (diyogonal) çatlakların geometik durumları görülmektedir. Burada az çok kıvrım eksenine koşut olarak gelişen çatlaklara boyuna çatlaklar (longitudinal joints), eksene dik olanlara enine çatlaklar (cross-joints) ve eksene verev-aykırı olarak oluşan çatlaklara verev çatlaklar (diagonal joints) denilmiştir.



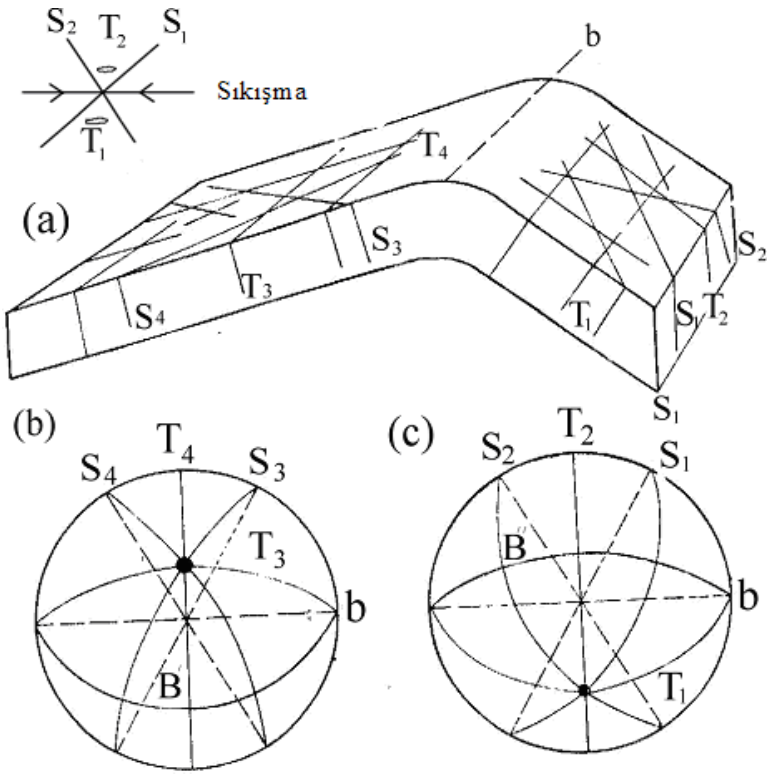
Şekil 5. Bir gerilme sisteminde, kıvrım ekseni ile boyuna, enine ve verev çatlakların konumları (Willis, 1934).

Şekil 5'te ayrıca en büyük, orta ve en küçük asal gerilme yönleri de gösterilmiştir. Çatlaklarla, bu çatlaklara neden olan gerilme sistemi arasında yer alan ilişkiler irdelenirse, herhangi bir arazide gelişmiş olan çatlakların türü ve ortak değerlendirilmesi ile, çatlakları oluşturan kuvvetin asal

bileşenlerini de bulabileceğimizi söyleyebiliriz. Bunun için çeşitli gül diyagramları kullanılmakta yada verilerin sterografik projeksiyonda izdüşümlerini değerlendirmek gerekmektedir.

Bazı tipik çatlak türleri

Kesme (Makaslama) çatlakları (Oblique/diagonal joints): Bu çatlaklar kıvrımı oluşturan en büyük basıncın yönü ile 45°'den küçük açılar altında iki sıra halinde meydana gelen kesme yüzeyleri (S_1, S_2) boyunca oluşan çatlaklardır (Şekil 6). Kesme çatlakları, yüzeyleri çoğunlukla düz ve devamlı olup kayatürü (litoloji) farklılıklara göre şekil ve yönlerinde değişiklik göstermezler. Örneğin çakıltaşını keserken her tür çakılı aynı şekilde keserler.

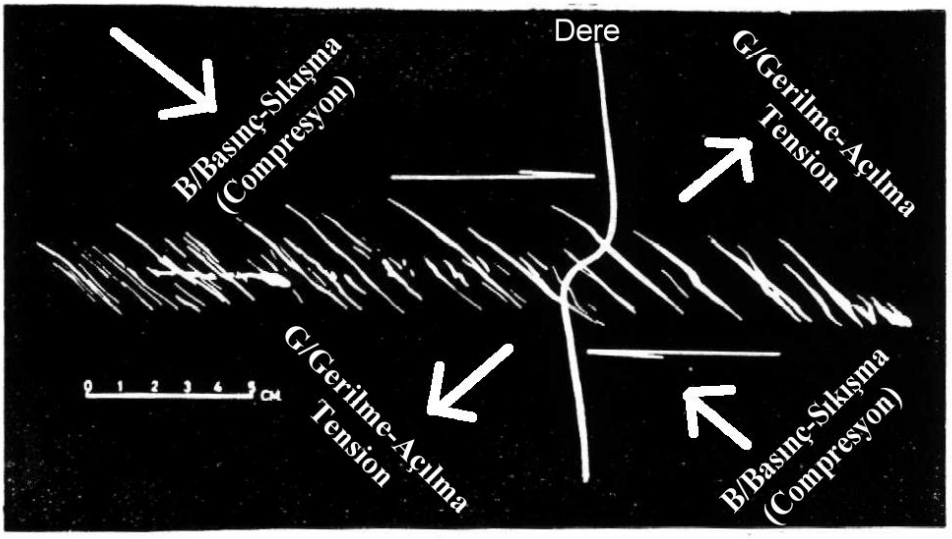


Şekil 6. Asimetrik bir antiklinalin, (a): Kanatlarında oluşan çatlaklar, (b) : Az eğimli kanattaki çatlakların sterogramdaki görünümü, (c) : Çok eğimli (dik) kanattaki çatlakların stereogramdaki görünümü, $T_1 - T_4$:Gerilme (Tansiyon) çatlakları, $S_1 - S_4$: Kesme çatlakları, b: Kıvrım ekseni (Price, 1966).

Gerilme çatlakları (Tensional joints), kesme (makaslama) çatlakları arasındaki açıyı ikiye bölecek şekilde oluşan çatlaklardır (Şekil 6). Gerilme çatlakları, kesme çatlaklarına göre, yerkabuğunun daha üst katmanlarında ve özellikle gevrek kayalarda oluşurlar. Gerilme çatlaklarında hareketler çatlak yüzeylerine dik yönde oluştuğu halde, kesme çatlaklarında çok küçük de olsa, çatlak yüzeyleri boyunca genellikle bir kaymanın da geliştiği kabul edilmektedir. Gerilme çatlaklarında çatlak yüzeylerinin eğilimleri çoğu kez dik yada dike yakın iken, kesme çatlakları, az çok simetrik olarak, çift diziler halinde gelişirler.

Tüy çatlakları (Feather joints).-Büyük kayma hareketleri yönünde 11°-15° gibi küçük açılar altında oluşan ve kademeli (en echelon) bir sıralanma gösteren gerilme çatlaklarına tüy çatlakları denir. Yani, tüy çatlakları gerilme çatlaklarının bir türüdür. Bunlar genellikle açık çatlaklardır ve içleri kalsit yada kuvars gibi minerallerle dolar ve kademeli damarlar meydana getirirler. Bu çatlakların,

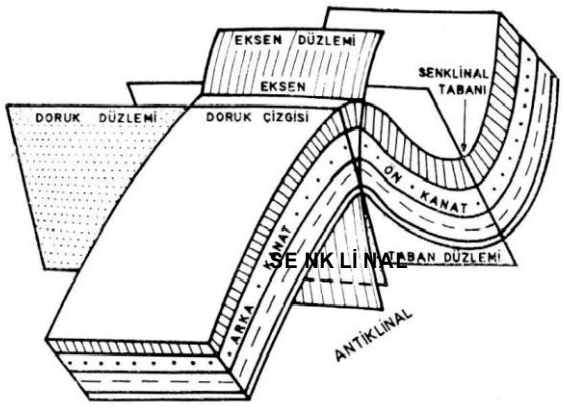
dolayısıyla gerilme çatlaklarının basınç-sıkışma (B) ve gerilme (G) kuvvetleriyle ve diğer unsurlarla olan ilişkileri Şekil 7'de görülmektedir. Çatlakların genel olarak, kayaları etkileyen çeşitli kuvvetlerin etkisiyle ya da kuruma ve soğuma gibi fiziksel koşulların değişimi ile meydana geldiği bilinmektedir.



Şekil 7. Sağ yönlü doğrultu atımlı bir fayın devinim yönü ile bu fayı oluşturan kuvvetlerle ilişkisi, tüy çatlaklarının ve ötelenmiş olan derenin konumu.

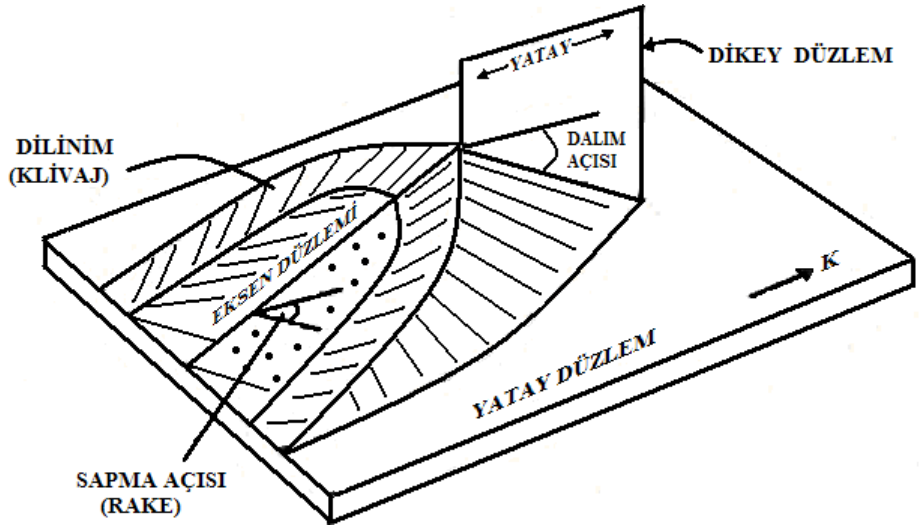
KIVRIMLAR

Katmanlı kayaların dalga biçimini yansıtan deformasyonlarına kıvrım denir. Yani başlangıçta yatay olan katmanların eğim kazanmış durumudur. Kıvrımlanma, kıvrımla sonuçlanan bir işlemdir. Kıvrım kubbe biçiminde bir antiklinal ve tekne biçiminde bir senklinalden meydana gelir. Antiklinalin ve senklinalin iki kanadı vardır. Kanatların birleştiği yere ***eksen*** denir (Şekil 8).



Şekil 8. Ekseni yatay durumlu olan devrik bir kıvrımın değişik kısımları (Badgley, 1965).

Kıvrım eksenleri, yatay düzleme paralel olurlar ya da yatay düzlemi bir açı ile keserler. Bu durumda eksenin bir dalımı vardır. Dalımlı eksenin bir dik düzlem üzerinde yatayla yaptığı açıya da ***dalım açısı*** ya da ***dalımı*** (plunge), dalımlı eksenin eksen düzlemi üzerinde yatayla yaptığı açıya ***sapma açısı*** ya da ***reyk*** (rake) denilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Ekseni dalımlı olan bir antiklinalde dalım açısı ile sapma açısı (reyk) arasındaki farkı gösterir blok diagram (Badgley, 1965).

Bazı kıvrım türleri

Kıvrımlar, ***geometrik*** özelliklerine göre [simetrik, asimetrik, izoklinal-devrik ve kanatları paralel, yatık (recumbent)], ***morfolojik*** özelliklerine göre konsantrik, benzer, kademeli (en echelon)], ya da ***oluşum mekanizması*** bakımından (konsantrik, kesme, akma biçiminde) sınıflandırılabilmektedir.

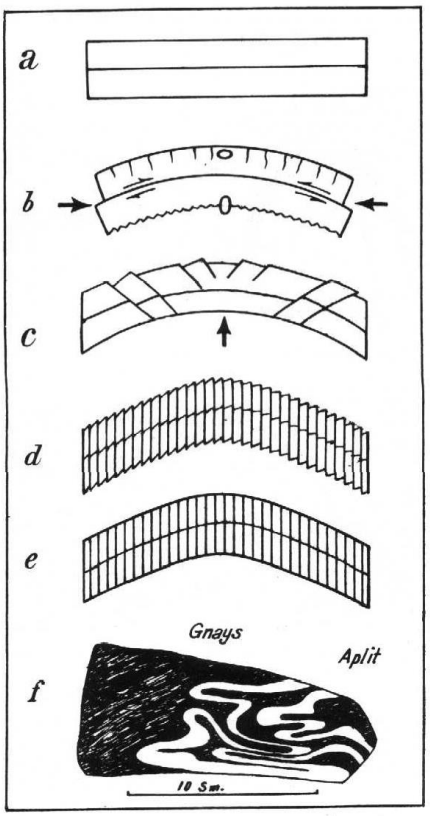
Arazide görülen kıvrımların (Şekil 10 A ve B) analiz edilerek sınıflandırılması ve kıvrımı oluşturan kuvvetlerin yönü ve doğrultusunu tanımlamak gerekmektedir.

A B

Şekil 10. Kıvrımların arazideki görünümü (Ramazan Demirtaş'ın facebook sayfası; A, Resim Gökhan Kadınkız'dan; 29 Nisan 2018, saat 08.20; B, Çayırhan yöresinde Üst Miyosen yaşta gölsel volkano-tortullarda gelişmiş antiklinal).

Oluşum mekanizması (Şekil 11) yönüyle kıvrımlar başlıca üç grupta irdelenebilir.

1.Konsantrik kıvrımlanma ya da fleksür kıvrımları
2.Kesme kıvrımları ya da klivaj kıvrımları
3.Akma kıvrımları (ptigmatik kıvrımlar)



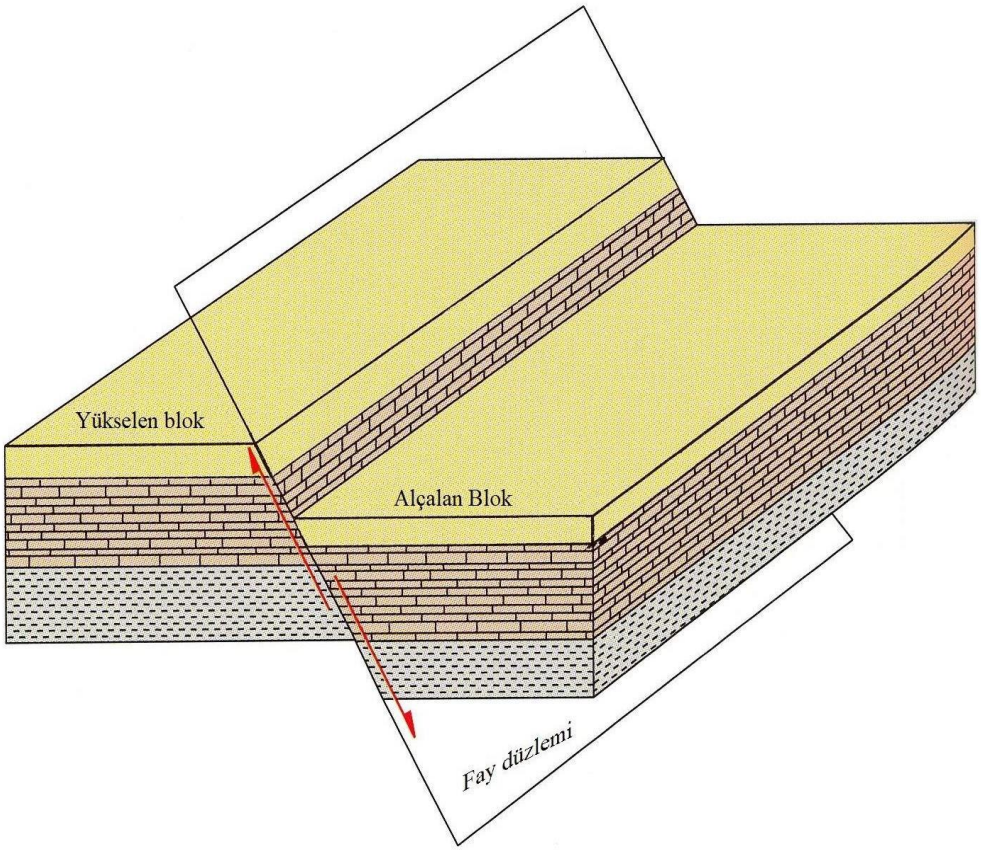
Şekil 11. Kıvrımların oluşum mekanizması.
a : Yatay durumlu iki katman,
b : Yan basınçlar etkisi ile konsantrik kıvrılma, üst kısımda gerilme, alt kısımda sıkışma egemen durumda (1.tür kıvrımlar),
c : Kubbeleşme suretiyle kıvrılma, dikey basınç etkisi ile kırılma ve kaymalar:
d, e : Kesme yüzeyleri dolayısıyla kıvrılma, kesme kıvrımları (2.tür kıvramlar)
f : Akma kıvrımları (ptigmatik kıvrımlar), gnays içinde aplit (3.tür kıvrımlar) (Cloos, 1936; Ketin ve Canıtez 1972'den).

FAYLAR

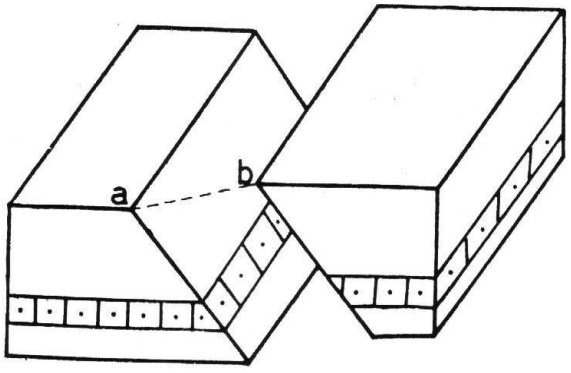
Kırılma yüzeyleri boyunca, fark edilebilecek ölçüde kayma oluştuğunda ***faylar*** meydana gelir. Kayma hareketinin oluştuğu düzleme ***fay düzlemi*** ya da ***fay aynası*** denir (Şekil 12). Bu düzlem üzerinde çoğunlukla sürtünme ile kayma yönünü tayin etmemize yarayan kayma kertikleri (harnişleri) meydan gelir.

Fay düzlemi de katmanda olduğu gibi ***doğrultu*** ve ***eğim*** ile tanımlanır. ***Fayın doğrultusu***, fay düzleminin yatay düzlemle yaptığı ara kesitin kuzey ile yaptığı açıdır. ***Fayın eğimi*** ise fay düzlemi ile yatay düzlem arasındaki açı olup, değeri doğrultuya dik olan bir düzlem üzerinde ölçülür. Fay düzleminin yeryüzü ile yaptığı arakesite de ***fayın izi*** ya da ***fay çizgisi*** (fault trace) denir.

Fay düzleminin alt kısmında değişik kalınlıkta ***fay breşi*** ya da ***milonit*** zonu oluşur. Fay düzlemi tam dik olmadığı zaman, bu düzlemin üstünde bulunan parçaya tavan bloku (hanging wall) ya da ***yükselen blok,*** altında bulunan kısma da taban bloku (toot wall) ya da ***alçalan blok*** denir (Şekil 12). İki blok arasındaki yer değiştirmenin (kaymanın) miktarına da ***atım*** ya da ***röje*** adı verilir. Kimi faylar, verev (oblik) olarak da kayabilirler (Şekil 13).



Şekil 12. Eğim atımlı normal bir fayın blok diyagramı (Davidson ve diğerleri, 1997).



Şekil 13. Verev atımlı (oblik) bir fayda kayma, ab: kayma çizgisi (Ketin, 1977).

Faylar, mekanik özelliklerine göre üç gruba ayrılırlar (Anderson, 1951).

1- Normal faylar (gravite ya da tention faults)

2- Ters faylar ya da bindirme fayları (thurst faults)

3- Doğrultu atımlı faylar ya da yırtılma fayları (wrench faults, transcurrent faults, strike-slip faults). Normal bir fayın arazideki görünümü Şekil 14'de sunulmuştur.

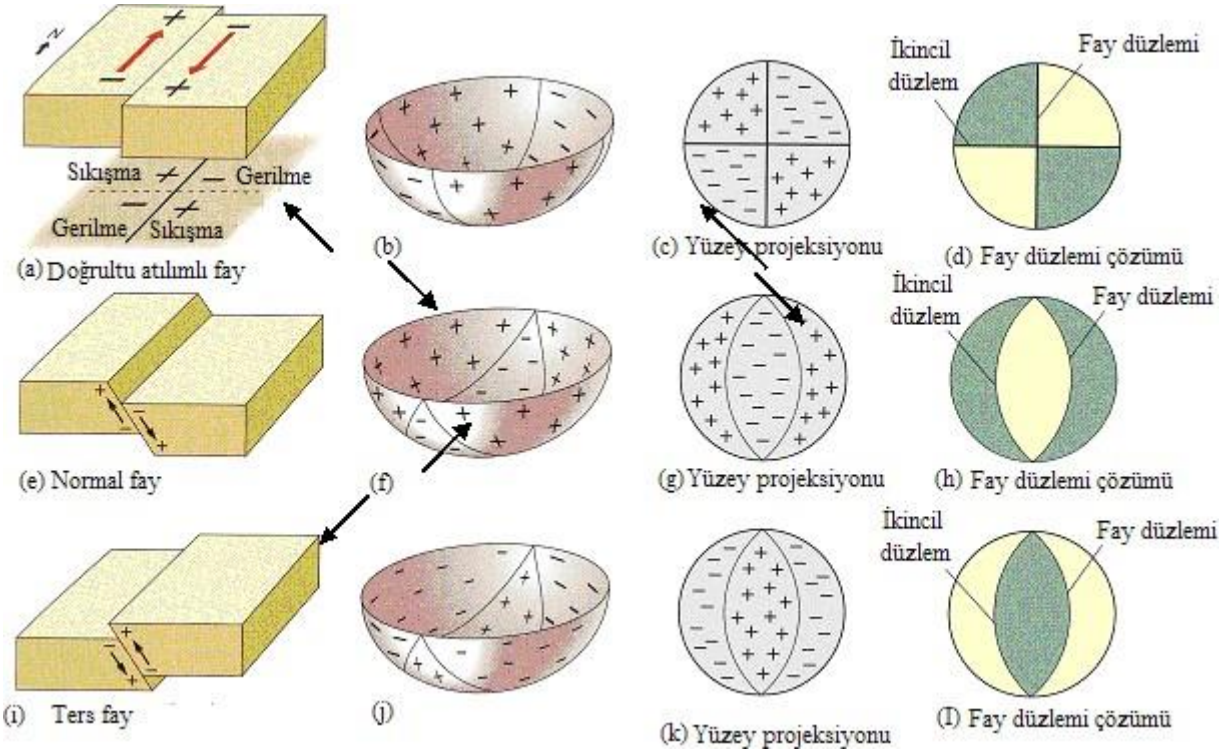
Şekil 14. Normal bir fayın arazide görünümü
https://www.facebook.com/100554662422908/photos/a.122843610194013/122843426860698/

Bu fayların özellikleri ve odak çözümleri Şekil 15'de, fayların gerilme yönleri ile olan ilişkileri ise Şekil 16'da sunulmuştur.

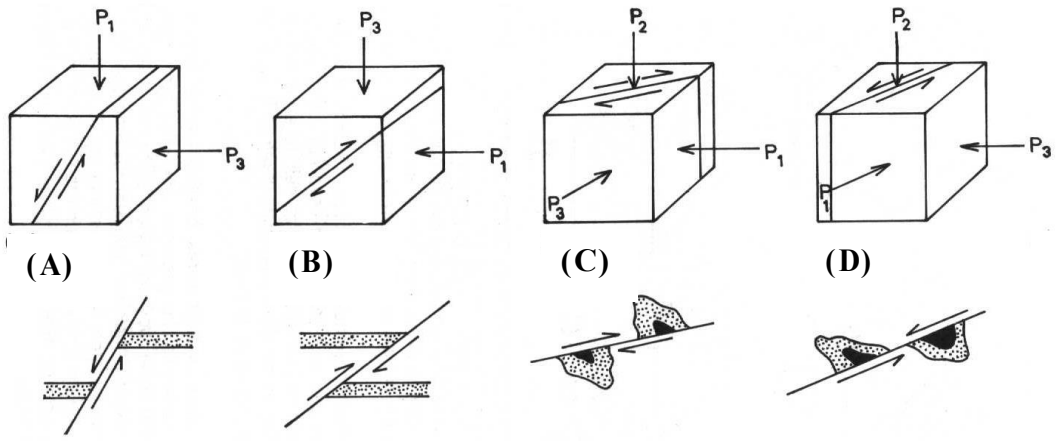
Sunulan şekillerden de anlaşıldığı gibi ***normal fay*** boyunca tavan bloku, taban blokuna göre fay düzlemi eğimi boyunca aşağı doğru kayar ve deformasyonu oluşturan en büyük kuvvet dikeydir. Bu faylara, Gediz Grabeni fayları örnek olarak verilebilir. Normal fayların ileri evresi de çökme ile ya da grabenle sonuçlanır.

Ters fay'da tavan bloku taban blokuna göre, fay düzleminin eğimi boyunca, ama aksi yönde yukarı doğru kayar ve deformasyonu oluşturan en büyük kuvvet ile orta derecedeki kuvvet yataydır. Bu faylara, Toroslar'da ve GD Anadolu'da yaygın olarak izlenen ters faylar ve bindirme yapıları örnek olarak sunulabilir.

Doğrultu atımlı faylar'da ise blokların birbirine göre göreceli devinimi, yanal olup fay düzleminin doğrultusu boyunca gelişir. Bu faylar boyunca iki blok yatay doğrultuda birbirinden uzaklaşır ve deformasyonu oluşturan en büyük kuvvet ile en küçük kuvvet yataydır. Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı ülkemizdeki önemli doğrultu atımlı faylardır.

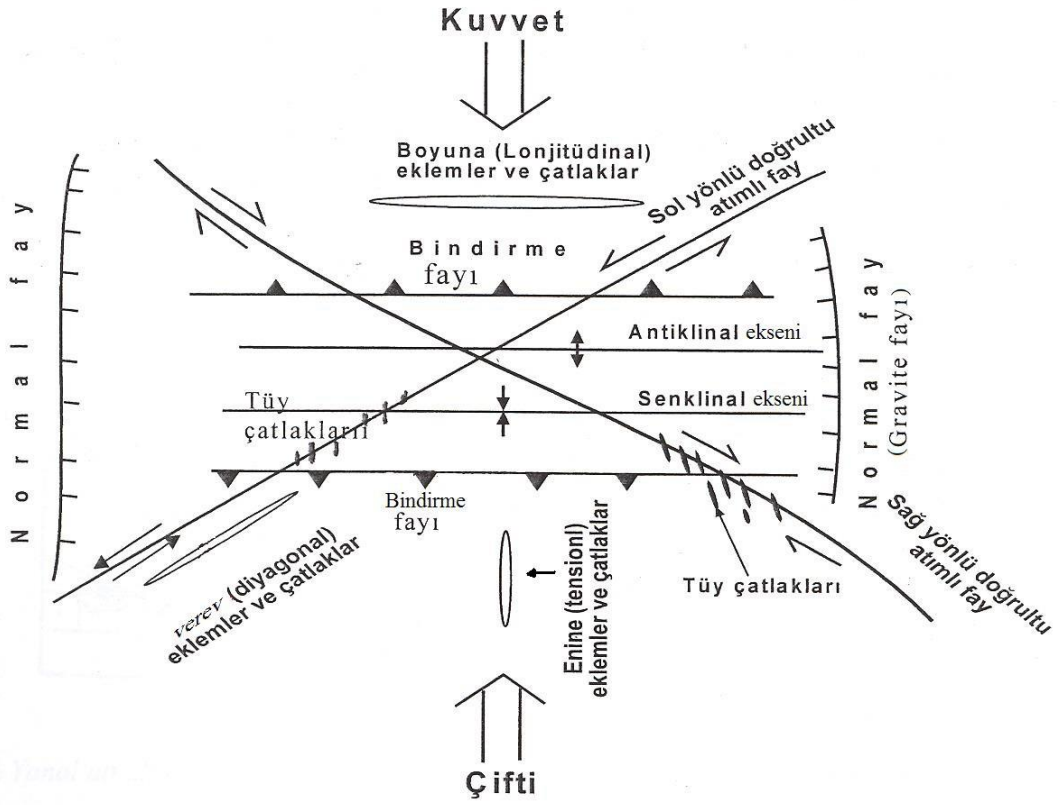


Şekil 15. Fay türleri ve fayları oluşturan kuvvetlerle ilişkileri ve kutupları (Davidson ve diğerleri, 1997).



Şekil 16. Değişik faylarda gerilme yönleri ve kayma yüzeyleri.
A : Gravite fayı, B : Bindirme fayı, C ve D: Doğrultu atımlı faylar, P_1 : en büyük, P_2 : orta ve P_3 : en küçük gerilme (Anderson, 1955; Hills, 1963).

Yukarıda sunulan çeşitli yapısal unsurların, bu unsurları oluşturan kuvvetlerle ilişkileri ayrı ayrı sunulmuştur. Bu ilişkiler, yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bir kuvvet çiftinin denetiminde gelişmesi halinde, toplu olarak Şekil 17'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 17. Bir kuvvet çifti ve bu kuvvet çiftine bağlı olarak gelişen yapısal unsurların genel Görünümü (Yılmaz 2009).

FAYLARIN TANIMLANMASI VE ÇEVRESEL AÇIDAN ÖNEMİ

Tüm yapısal unsurların gerçekleştirilecek faaliyetlere olası etkileri açısından irdelenmesinde yarar vardır. Bu unsurlar, genel olarak, mühendislik ve jeoteknik yönüyle ***süreksizlikler*** olarak tanımlanır. Süreksizlikler arazide ayrıntılı bir şekilde izlenmeli ve haritalanmalıdır. Böyle bir çaba, süreksizlikleri, süreksizlikleri oluşturan kuvvetlerle ve süreksizliklerin öngörülen yapılarla ilişkilerinin anlamlandırmasını kolaylaştıracaktır.

Özellikle fayların arazideki göstergeleri bellidir. Örneğin, topografyadaki ani değişiklikler, katmanların düzenli olmayan sıralanışı, farklı yaşlarda olan katmanların aynı düzeyde ve yan yana bulunması, kaynakların dizilimi, mineralizasyon zonları, çeşitli deprem odakları, kataklastik breş ve milonit zonları, akarsuların ani büklüm yaptığı yerler, kayaların yüzeyinde görülen kayma çizikleri ve kertikli yüzeyler (slickensides) başlıca fay göstergeleridir.

KAYNAKLAR

Anderson, E.M., 1955. The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain, 3rd ed., Edinburg: Oliver and Boyd.

Badgley, P.C., 1965. Structural and tectonics principles. Harper and Row, New York: John Weatherhill, Tokyo.

Billings, M.P., 1954. Structural Geology, Second Edition, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, Inc., USA, 514 s.

Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.
Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997, Exploring Earth: A introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.
Hills, E.S., 1963. Elements of Structural Geology. Methuen Co. Ltd. London.
Holmes, A., 1965. Principles of physical geology: T. Nelson, London.
https://www.facebook.com/100554662422908/photos/a.122843610194013/122843426860698/ (Erişim: 27 Kasım 2021).
Karaman, E., 2006, Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, 3. Baskı, Devran Matbaacılık, Necatibey Cad. 31/D, Ankara.
Ketin, İ., 1977, Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.
Ketin, İ. ve Canıtez, N.İ 1972. Yapısal Jeoloji, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 508 s.
Price, N.J., 1966. Fault and joint development in brittle and semibrittle rocks. Pergamon press, Oxford.
Willis, B., 1934. Geological structures. McGraw-Hill, New York, USA.
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Bölüm 6. LEVHA TEKTONİĞİ

GENEL BİLGİLER

1960'lı yıllardan itibaren önemli bir gelişme gösteren Levha Tektoniği kuramı, yerin tüm doğal süreçlerini bir bütünsellik içinde açıklama olanağını vermiştir. Sedimantolojik, magmatik, metamorfik ve yapısal süreçlerin doğası ve özellikleri kavrandıkça ve bu süreçlerin kökensel ilişkileri aydınlandıkça, çeşitli jeolojik olguları önceden kestirebilme olanağı da gelişir. Jeoloji mühendisliğinin günümüzde ulaştığı düzey, yeterli verileri derlenen bir alanın jeodinamik evrimini kolaylıkla açıklayabilmektedir. Hiçbir jeolojik olgunun keyfi olarak yorumlanamayacağı, yapılacak her yorumun yöreye özgü jeolojik verilere uyumlu olması gerektiği anlaşılmıştır.

Levha tektoniği kuramı, Yer'in tüm yüzeyini oluşturan, ve ***litosfer*** adı verilen bir dış katmana sahip olduğu, bu dış katmanın üzerinde yer aldığı üst mantonun üst düzeyi ile birlikte, çeşitli özelliklere sahip levhalara (parçalara) ayrıldığı, levhaların sınırları boyunca yaklaştırıcı, uzaklaştırıcı yada yanal atımlı olmak üzere devindiği, ve levhaların yeğin bir burulma (torsional) berkliğine (rigidite) sahip olduklarına ilişkin varsayımlardan yola çıkarak tüm jeolojik olguları açıklamaya çalışır.

Dünyayı oluşturan başlıca levhalar ve levhaların sınırlarına ilişkin nitelikler gözetildiğinde, Atlantik ortası sırtın uzaklaştırıcı, Pasifik levhasının batıda yaklaştırıcı, doğuda ise uzaklaştırıcı nitelikte olduğu, uzaklaştırıcı ya da yaklaştırıcı levha kenarlarını birbirine bağlayan sınırların ise kimi yerlerde yanal atımlı olarak devindiği kabul edilmektedir.

LEVHA TEKTONİĞİ KURAMINDAN ÖNCEKİ VARSAYIMLAR

Yerbilimciler, 19.yüzyılda ve 20.yüzyılın başlarında çeşitli jeolojik olayları irdelemişlerdir. Ne var ki çoğu kez doğada birbirine benzeyen jeolojik olaylar ve yapılar değişik biçimlerde yorumlanmış ve dolayısıyla birbirinden farklı varsayımlar (hipotezler) ve kuramlar geliştirilmiştir. Kuramlar arasındaki farklılıklar, kuramları ortaya koyan bilginlerin olaylara farklı açıdan bakmalarından ve değerlendirmelerinden ileri gelmektedir. Bu bilginler, kuramlarını, zihinlerini en çok yoğunlaştırdıkları olaylara göre yapılandırmışlardır.

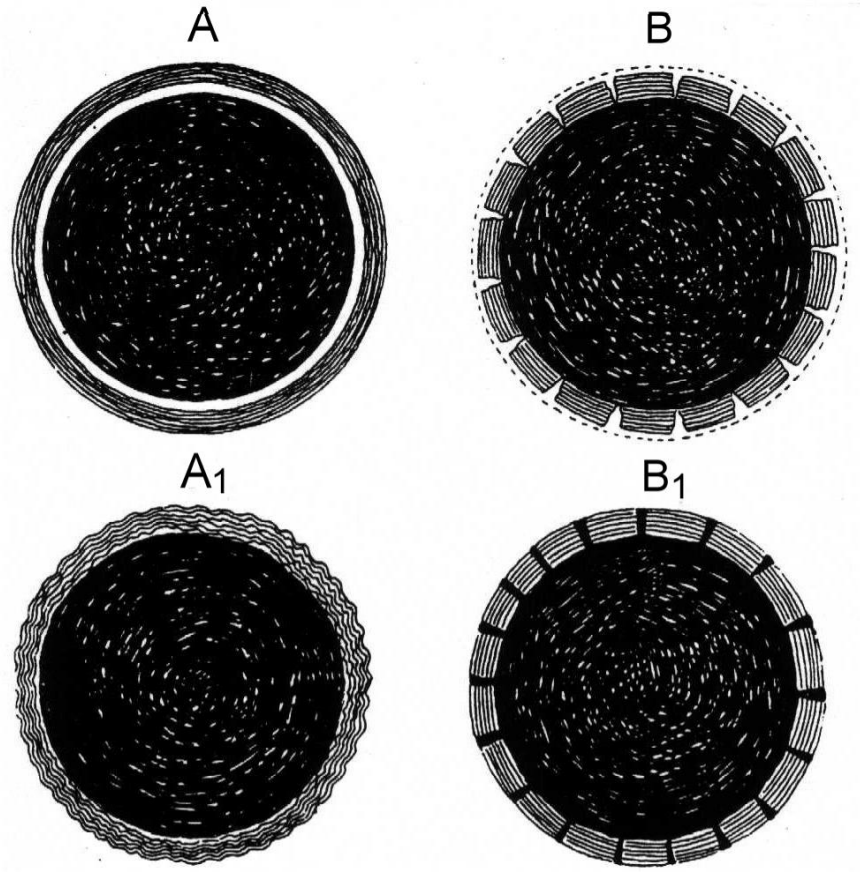
Her kuramın, ancak belirli bir olayı ya da olaylar topluluğunu açıklayan yönleri vardır. Ancak önceki kuramlar, doğada tüm jeolojik olguları kökensel bir çerçevede birlikte açıklama yetisine sahip değildiler. Aşağıda bazı kuramlar öz olarak sunulmuştur. Bu kuramların bir bölümü görüş olarak birbirini tamamlarken, bir bölümü de tümüyle karşıt görüşleri ifade etmektedirler.

Büzülme-buruşma (contraction) kuramı

Büzülme-buruşma kuramının ilk temelleri, 17. Yy'da atılmış ve etkileri 20. Yy'ın başlarına kadar sürmüştür. Bu kurama göre başlangıçta Dünya ergimiş-sıcak bir küre durumunda idi. Ancak daha sonra Dünya sürekli olarak soğumuş yani ısı kaybetmiş ve dolayısıyla hacmi de giderek küçülmüştür.

Öncelikle Yer'in dış kısmı, yani katı olan kabuğu oluşmuştur. Ne var ki yerin iç kısmı tüm jeoloji tarihi boyunca soğumaya ve büzülmeye devam etmiştir. Böylece soğumuş ve katılaşmış olan kabuk kısmı, soğumasını ve büzülmesini sürdüren iç kesime zamanla bol gelmeye başlamış ve ona uyum sağlamak üzere buruşup-kırışmak, kırılıp-çökmek zorunda kalmıştır (Şekil 1). Bu olay tıpkı kurumakta olan bir portakalın kabuğunun buruşmasına benzer.

Yer içinin büzülmesi, hacminin küçülmesi daha çok alt manto bölgesindeki maddelerin zamanla daha yoğun ve sıkı maddeler haline dönüşmelerinden ileri gelmektedir. Yerkabuğunun yeryüzündeki bölümünün ortalama yoğunluğu 2.65gr/cm^3 iken derinlere doğru yoğunluğunun giderek arttığı bilinmektedir. Dolayısıyla derinlere doğru basıncın artması ve yer çekiminin de yeryuvarının giderek hacminin küçülmesine etkileri olabilir.

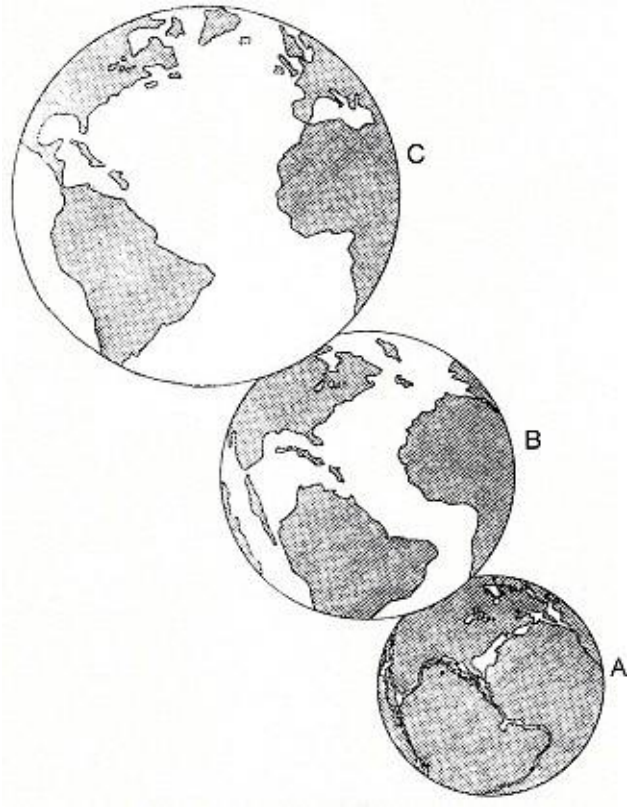


Şekil 1. Büzülme(kontraksiyon)-buruşma kuramına göre, yer içinin dış kısmına nazaran daha çok büzülmesi nedeniyle, dış kısımla iç kısım arasında bir boşluğun meydana gelmesi(A) ve dış kısmın tümüyle kıvrılması- buruşması suretiyle iç kısma uyum sağlaması (A_1).
Ampferer'e göre, yerin dış kısmının iç kısma nazaran daha hızlı soğuması ve daha çok büzülmesi nedeniyle, bu kesimde yarık ve çatlakların oluşması (B) ve bunların içlerinin zamanla alttan yükselen mağma tarafından doldurulması (B_1) (Ampferer, 1928).

Ne var ki yerkabuğunun buruşması, portakal kabuğunun buruşmasından farklıdır. Öyle olsaydı, benzer nitelikte ve yoğunlukta sıradağlar oluşurdu. Ayrıca büzülme ve buruşma ile kabuk altında kayda değer bir boşluk oluşmamaktadır. Kıta ve okyanusların kabukları çok farklı bileşime sahiptirler. Diğer taraftan dünyamızın en büyük grabenleri, büzülmeden çok gerilmelerin yada genişleme olaylarının sonucu olarak oluşmaktadırlar.

Genişleme-büyüme (expansion) kuramı

20.yy'ın başlarında temelleri atılan bu kuram, 1970'li yılların başlarına kadar çeşitli yönleriyle geliştirilmiştir. Bu kurama göre Yer başlangıçta bir toz bulutu halindeydi ve günümüze kadar gelen zaman içinde sıcaklığı sürekli olarak artmıştır. Yeryuvarı'nın hacminin büyümesi, esas itibarıyla yerin ısısal (thermic) genişlemesiyle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, Yer içi'nin yoğunluğu fazla olan yüksek basınç fazındaki maddelere dönüşmesi genişleme-büyüme kuramının alt yapısının oluşturur. Yani, başlangıçta katı maddelerden oluşan kıtalar o dönemdeki tüm yeryüzünü kaplamaktaydılar. Yerin o zamanki hacmi, şimdiki hacminden oldukça küçüktü. Ancak kıtaların parçalanıp, birbirinden uzaklaşması ve okyanusların oluşması sonucunda, yeryuvarı genişlemiş ve büyümüştür (Şekil 2). Ayrıca yerin hacmi sürekli olarak büyümeye devam edecektir. Ne var ki bu kuram ışığında kıvrımlanma için gerekli olan kıtaların yanal daralmalarını yani sıradağların oluşumunu açıklamak güçtür.



Şekil 2. Genişleme-büyüme kuramı'na göre, yeryüzünün büyümesi. Üstteki resim: geniş okyanus yüzeyleri içeren bugünkü durumu; ortadaki resim: geçiş evresini ve alttaki resim: Genişleme-büyüme kuramının başlangıç evresini yansıtmaktadır; Genişleme çatlakları boyunca gelecekteki kıtaların kenarları belirginleşmiştir. Bu evrede okyanuslar henüz mevcut değildi ve yeryüzü tek bir büyük kara parçasından oluşmaktadır (Schmidt-Thome, 1972).

Yükselip-alçalma kabarıp-çukurlaşma (ossillation) kuramı

Bu kurama göre yer içindeki magmanın farklılaşması (diferansiyasyonu) nedeniyle yer değiştirmesi ve bozulan dengenin yeniden sağlanabilmesi için yerkabuğu yükselip alçalmakta ya da kabarıp çukurlaşmakta, başka bir ifade ile ossilasyon (ossilation) meydana gelmektedir. Magmanın farklılaşması da magmanın yoğunluk ve faz farklılığından kaynaklanmaktadır.

Bu kurama göre tüm tektonik yapılar, dikey olarak gelişen yükselme ve alçalmalarla açıklanabilir. Ossilasyon kuramı, dağ oluşumunda tektonik olaylarla, magmatik olaylar arasında bir bağıntı olabileceğine işaret etmektedir. Öte yandan yerçekiminin de dikey devinimlerde önemli bir işlevi olduğu yadsınamaz. Ayrıca binlerce km yatay hareketlere sahne olmuş karmaşık naplı yapıların oluşumunu, sadece yükselip alçalma ya da dikey devinimlerle açıklamak olası değildir.

Konveksiyon akıntıları kuramı

Ampferer (1928) tarafından temeli atılan ve diğer bilginler tarafından geliştirilen konveksiyon akıntıları kuramı, yer içinde ve kabuğun altında, üst mantoda gelişen ısı değişimine dayanmaktadır. Yerin içi ile yeryüzünün sıcaklıkları arasındaki ısı farkı yerin manto kesiminde termal konveksiyon akıntılarını oluşturmaktadır. Aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya doğru cereyan eden akıntılar, termik farklılık ya da yerçekimi etkisiyle ve ortaya çıkan sürtünme dolayısıyla yerkabuğunun devinmesine yol açmaktadırlar. Bu devinim, havzaların açılmasına ya da açılmış olan havzaların

kapanmasına neden olduğu kabul edilmektedir. Ancak mantoda gelişen konveksiyon akıntılarını günümüzdeki teknolojilerle izleme olanağı yoktur.

Kıtaların kayması kuramı

Alman meteorolog Alfred Wegener'in 1912'de ortaya koyduğu ve dönemin tanınmış jeofizikçileri tarafından benimsenen ve geliştirilen kıtaların kayması (drifting) kuramına göre kıtalar, yoğunlukları kendilerinkinden daha fazla olan ağır maddeler üzerinde yüzerek kaymaktadırlar (Canıtez,1983). İzostazi ilkesine göre de yoğunluğu 2,7 olan katı **Sial** bloklarının, tabandan daha yoğun (2,8-3) olan plastik **Sima** üzerinde pasif olarak yüzmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi Sial, ayrıca silisyum ve alüminyumca zengin ve yoğunluğu az olan kıta kabuğunu, Sima ise silisyum ve magnezyumca zengin ve yoğunluğu yüksek olan okyanus kabuğunu temsil eder.

Wegener'e göre yerin kendi ekseni etrafındaki dönmesi ya da rotasyonu, kıtaların kayması için gerekli olan kuvvetin kaynağını oluşturmakta, Güneş ve Ay'ın Yer üzerindeki çekim etkileri de, dolaylı olarak kıtaların kaymalarını etkilemektedir.

Daha önceki zamanlarda tek bir kıta (Pangea) halinde bulunan kara kütlesi Paleozoyik, Mezozoyik, Senozoyik dönemlerinde kıtalara bölünmüş ve kıtalar zamanla birbirinden uzaklaşmışlardır. Atlas Okyanusu ve Hint Okyanusu bu sürece koşut olarak oluşmuş ve büyümüşlerdir. Bu kuram, Atlas Okyanusu'nun iki tarafındaki kıtaların belirgin olan coğrafi ve jeolojik benzerliklerini, Paleocoğrafik, Paleomagnetik ve Paleoklimatik olaylardaki uyumluluklarını kolaylıkla açıklayabilmektedir.

Konveksiyon akıntıları ve ***kıtaların kayması*** kuramlarından esinlenerek levha tektoniği kuramı ortaya konulmuştur. Ancak levha tektoniğinde kıtalar değil, levhalar devinim halindedir. ***Levha tektoniği'***nde kıtaların konumu, üst kısımları donmuş bir deniz içinde sıkışıp kalan vapurlara benzer.

LEVHA TEKTONİĞİ'NİN TARİHİ

Tektonik, yerkabuğunun yapısını ve bu yapıyı oluşturan süreçleri irdeleyen jeolojinin önemli bir ilgi alanıdır. Levha tektoniği, sadece yeryüzünün arazi çalışmaları verilerinden yararlanarak oluşturulmuş bir kuram değildir. Bu kuram, aynı zamanda fizik, kimya, manyetizma, gravite ve sismoloji gibi alanlarda varılan sonuçları temel jeolojik çalışmalarla birlikte değerlendirerek yerin jeodinamik evrimi aydınlatma girişimidir.

Özellikle 2.Dünya Savaşı sırasında denizaltı savaşları için geliştirilen batimetrik haritalar, deniz tabanlarından alınan çökel örnekler irdelenerek yerin okyanusların altında kalan bölümleri ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Böylece okyanus ortası sırtların yapısı ve yitim zonlarını karakterize eden derin deniz hendeklerinin konumları anlaşılmıştır.

1940'lı yılların sonuna doğru, derin deniz hendeklerinden manto içerisine doğru eğimli deprem zonlarının aslında büyük bindirme kuşaklarını temsil ettiği ve bindirme düzlemlerinin Pasifik okyanusunu çevreleyen kıtaların altına daldığı ortaya konuldu. Stille (1955) ise kıtaların altına doğru eğimli deprem zonlarının hemen üstlerinde çeşitli volkanların varlığına dikkat çekerek ve bunlar arasında kökensel bir ilişki olması gerektiğini vurguladı.

Hess (1960) mantoda konveksiyon akımlarının geliştiğini, bu akımların yukarıda tanımlanan derin deniz hendekleri (yani yitim zonları) boyunca birbirine doğru, ancak okyanus ortası sırtların altında ise birbirinden uzaklaşacak biçimde hareket ettiğini ileri sürdü. Dietz ve Holden (1970) okyanus ortası sırtlarda gelişen mekanizmaya deniz tabanı yayılması (sea-floor spreading) adını verdi.

Kıtaların devinimi de bu konveksiyon akımlarının sürekli devinimi, yani kıtaların bir taraftan birbirinden uzaklaşması, diğer tarafta yakınsaması biçiminde yorumlanmıştır. Öte yandan Hess dönemin bu geçerli varsayımlarından esinlenip, kıtaların yani Sial'in, üzerinde yer aldığı Sima ile beraber hareket ettiğini kabul etmekteydi.

Deniz tabanı yayılmasının yayılma eksenine dik yönde ve bilateral simetrik olarak okyanus kabuğunu ürettiği varsayılarak jeomanyetik kutuplardaki terslenmeler ile yayılma ekseni arasındaki ilişkiler de irdelemiştir. Okyanus tabanlarının üst katmanları bol oranda ferro-magnezyum içeren bazaltlardan oluşur. Yayılma ekseninde sıvı halde bulunan bazalt lavları içerisindeki mineraller lavların püskürdüğü andaki jeomanyetik alanın etkisinde belli bir yönde dizilirler.

Okyanus tabanı yayılması devam ettikçe, yayılma merkezinden uzaklaşan bazaltların, aktığı andaki jeomanyetik alanın yönünün kaydını da taşır. Buna göre, jeomanyetik alan terslenmelerinin yayılma ekseninin iki yanında yer aldığı ve yayılma eksenine koşut uzanan ters ve normal yönde manyetize olmuş şeritlerle temsil edildiği belirlenmiştir.

Wilson (1965) okyanus ortası sırtlar ile derin deniz hendeklerine ilişkin sistemlerin aniden son bulduğuna ve bu gibi yerlerde devinimin büyük yanal atılımlı faylarla, başka bir deyişle dönüşüm (transform) faylarıyla gerçekleştiğini ortaya koydu. Böylece kıtaların hareketini sağlayan üç tür devinim, yani uzaklaşma, yakınsama ve yanal devinim biçimleri tanımlanmıştır.

Wilson (1965) tüm sırtları ve hendekleri birbirine bağlayan Yer üzerindeki "hareketli kuşakları" ilk kez tanımlayarak, bu kuşaklar boyunca hareket eden Sial ve Sima'dan oluşan litosfer parçalarına "***levha***" adını verdi. Böylece levha tektoniği tüm öğeleriyle ortaya çıkmış oldu. Ancak levha, yalnızca kıta kabuğunu temsil etmez. Kıta kabuğu ile bu kabuğun üzerinde yer aldığı üst mantonun üst kesimi birlikte, levhanın dikey kesitini oluşturur.

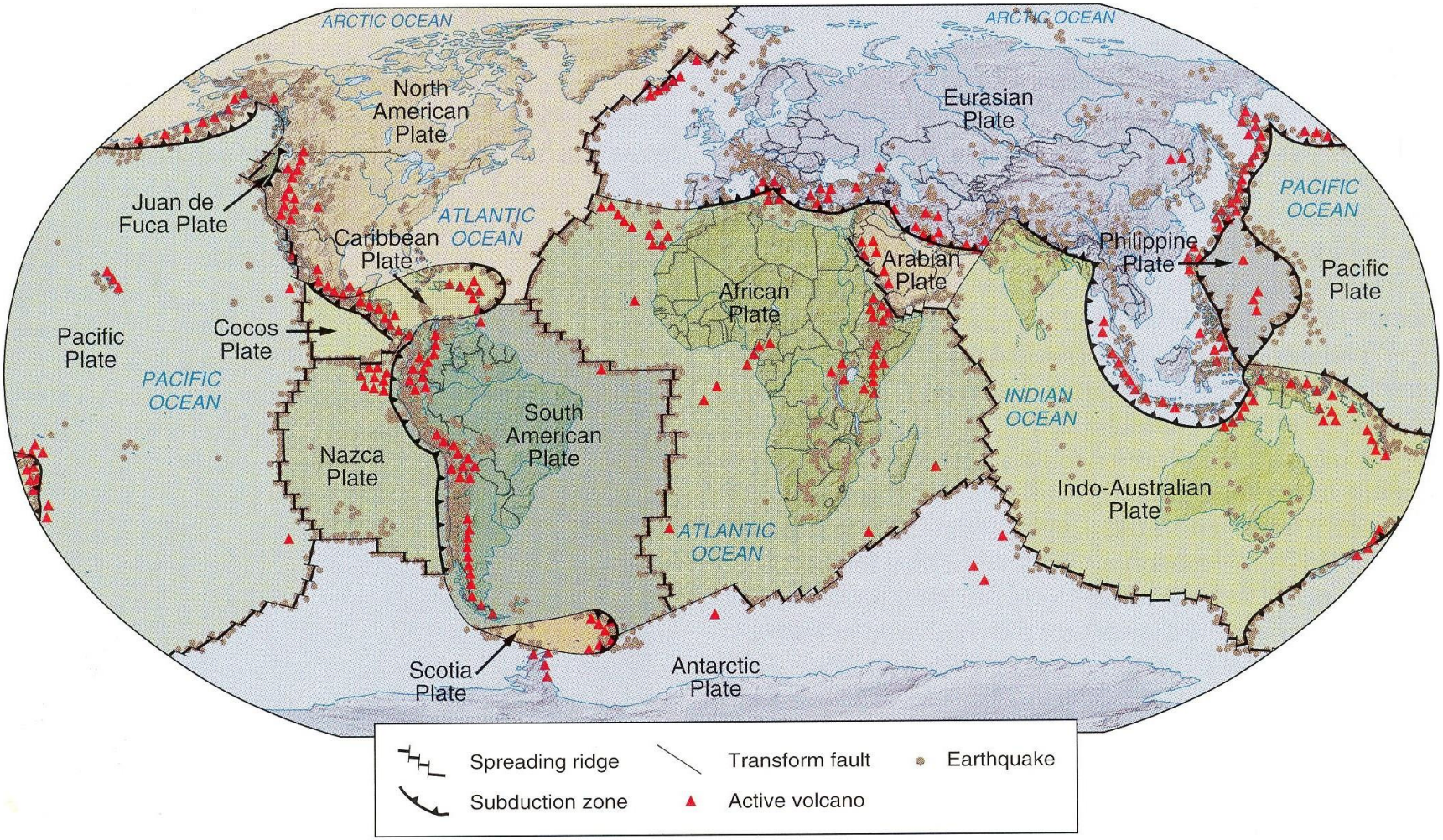
Levha sınırlarından derlenen sismik verilerle tüm levhaların birbirlerine göre yaptıkları hareketlerin hız ve yönleri belirlenip, tüm levhaların hareket hızlarının toplamının sıfır olduğu, yani levhaların üretimiyle tüketiminin eşit olduğu, başka bir deyişle yerin alanının korunduğu anlaşılmıştır.

1969 yılında Mc Kenzie levha tektoniğinin son önemli öğesini oluşturan "***üçlü eklem sorunu***" nu ortaya koyup ileriki sayfalarda belirtildiği gibi çözdükten sonra, levha tektoniği kuramı tutarlı ve tamamlanmış bir sistem haline gelmiştir.

1970'li yıllardan itibaren, geçmişte yaşanmış jeolojik olayların da levha tektoniği ilkelerine dayalı olarak geliştiğini savunan pek çok yeni yaklaşımlar ortaya koyulmuştur. Böylece çeşitli orojenik kuşakların evrimi, geçmişte flora ve faunanın dağılım biçimleri ve ekolojik döngüler gibi konular da anlaşılmıştır. Yer'in günümüzde tanımlanmış olan levha kenarlarının sınırları ve türleri Şekil 3'de görülmektedir.

Buna göre, levhaların üç tür kenarı olduğu, bunların da sıra ile yayılma sırtı (spreading ridge), yitim zonları (subduction zone) ve transform faylar (transform fault) olduğu açıkça görülmektedir. Depremlerin (earthquake) ve aktif volkanların (active volcano) dağılımı ile levha sınırları arasında da yakın bir ilişki olduğu kabul edilebilir.

Geçmişte var olan kıtalarla, günümüzdeki kıtaların birbiri ile örtüşmediği de Şekil 3'de açıkça görülmektedir. Örneğin ülkemizin, geçmişte kuzeyde Avrasya, güneyde Afrika ve Arap levhalarını temsil eden Gondwana Land'in arasında yer alan bir okyanus ile temsil edildiği ve iki kıtanın çarpışması ile şekillenen bir alanda yer aldığı söylenebilir.



Şekil 3. Yer'i oluşturan levhaların ve levha sınırlarının dağılımı (Davidson ve diğerleri, 1997). Spreading ridge = Yayılma sırtı, Subduction zone = Yitim zonu; Transform fault= Dönüşüm fayı, Active volcano= Diri volkan yerleri, Earthquake = Deprem odak yerleri

LEVHA SINIRLARININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Levha tektoniği kuramı irdelendiğinde, başlangıçta Wegener döneminde kıtaların devinimi, kıtaları oluşturan Sial'in devinimi biçiminde, oysa Wilson ve sonrasında kıtaların devinimi yerine levhaların devinimi öngörülmüştür. Burada kıta ile levha arasındaki farkı bir kez daha vurgulamakta yarar vardır.

Kıta, günümüzde en azından okyanus düzeyi üzerinde somut olarak izlenebilen ve Sial'dan oluşan katı bir yapıdır. Yerkabuğu'nun Sial'dan oluşan bu katı bölümü ile daha derinde ve ağırlıklı olarak elastik halde Sima'dan oluşan bölümü arasında bir süreksizlik yer alır. Bu süreksizlik, ***Mohoroviç*** ya da kısaca ***Moho süreksizliği*** olarak tanımlanmıştır.

Levha ise yatay olarak okyanus düzeyi üstünde kalan kıtasal Sial ile okyanusun tabanını oluşturan Sima'dan yapılı ve ayrıca dikey olarak, yerin katı bölümünü oluşturan yerkabuğu ile birlikte üst mantonun üst kesimini de temsil eden bir yapıdır. Yani ***levha'nın kıtadan farkı, levhanın sima ile beraber Sial'i ve üst mantonun üst kesimini kapsamasıdır***. Moho süreksizliği ise gerek kıtasal gerekse okyanusal olan kabuğun katı bölümü ile altta ağırlıklı olarak plastik olan bölümü arasında yer almakta ve okyanuslarda 8-10 km, kıtalarda ise 35-70 km kadar derine kadar inmektedir. Levhaların devinimini oluşturan termal konveksiyon akımları ise üst manto'nun alt kesimi ile üst kesimi arasında yani, üst manto'nun içinde gelişmekte, kıtalar da pasif yolcular olarak üst manto'nun üst kesimi ile beraber devinmektedir.

Levhaların sınırları da irdelendiğinde bu sınırların üç temel yapıda oldukları görülür.

1-Levhaların uzaklaşan kenarları (Gerilme ve yayılma bölgeleri)
2-Levhaların yakınsayan kenarları (Sıkışma ve dalma-batma bölgeleri)
3-Levhaların yanal devinen kenarları (Dönüşüm fayları)

Levha sınırları, yeryüzünden, üst mantoya kadar derine inen bir yapıdadırlar. Her levha, uzaklaşan, yakınsayan ya da yanal devinen kenarlara sahip olup levha kenarları da sürekli bir evrim geçirmektedir. Levha kenarlarının buluştukları yerler ise "eklem" olarak tanımlanmakta, iki tür levha kenarının buluştukları yerlere "***ikili eklem***", üç levha sınırlarının buluştukları yereler ise "***üçlü eklem***" denilmektedir. Üçlü eklemlerin evrimleri, levha kinematiğinin en tartışmalı ve kritik konularından birini oluşturur.

Üçlü eklem" duraylı" ve "duraysız" olarak iki gruba ayrılılar. Duraylı üçlü eklemler zaman içinde geometrilerini değiştirmeyen, duraysız olanlar ise sadece bir an var olabilen ve zamanla geometrilerini değiştirmek zorunda olan yapılardır. Levhalar ve levha kenarları ile birlikte evrim geçirmektedir. Bu çerçevede, levha kenarlarının ve geometrilerinin tüm jeolojik zamanlar boyunca değişime uğradığı söylenebilir.

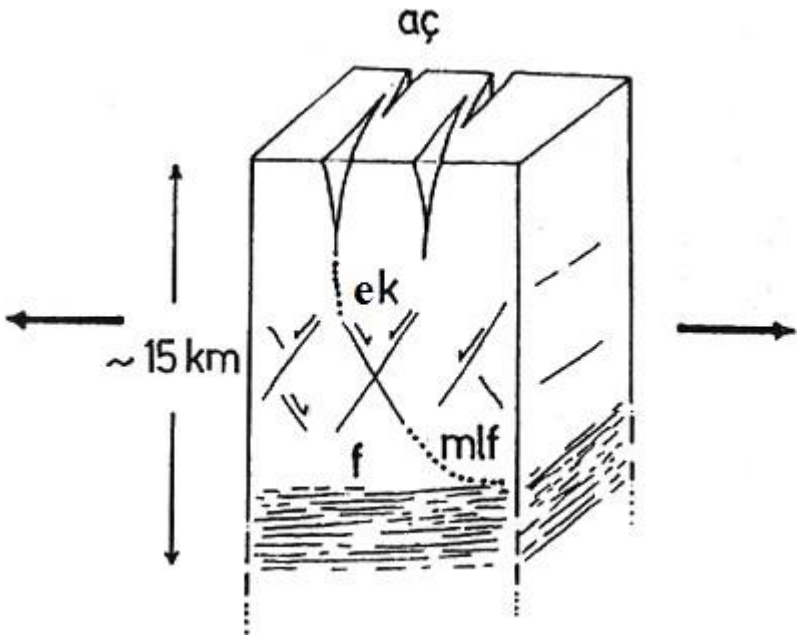
Levhaların uzaklaşan kenarları

Bu kenarlar, levhaların kıtasal gerilme alanları ve yayılma merkezleri ile temsil edilmektedir. Kıtasal gerilme alanları, kıtasal kabuk ve litosferin çekme(uzama) deformasyonunun etkisiyle uzayıp inceldiği ve nihayet kimi yerlerde koptuğu yerlerdir. Yayılma merkezleri ise deniz tabanı yayılmasının geliştiği mutlaka gerilmeyi yansıtmayan uzaklaşma sınırlarıdır.

Kıtasal gerilme alanları

Bu tür alanlar, kıtasal kabuk ve litosferin henüz kopmadığı durumlarda levha kenarlarını temsil etmezler. Impaktojenler, başarısız riftler, rift yıldızları ya da rift kümeleri kıtasal gerilme alanlarına örnek olarak verilebilir. Gerilme rejiminin egemen olduğu ortamlarda en büyük çekme gerilmesi yatay, basınç gerilmesi ise dikey konumdadır.

Kıtasal gerilme alanlarında ***normal faylar*** oluşur. Litosferin alt düzeylerinde sünümlü (ductile) deformasyonun başladığı yerlerde bu tür faylar geniş ve sünümlü kesme zonları (shear zones) haline dönüşürler. Kabuğun üst kısımlarında ise gerilmeye dik yönde uzanan ***açılma çatlakları***, daha derine doğru sıra ile ***ikiz kesme yapıları*** (conjugate shears) ve sünümlü deformasyon alanına ulaşıldığında ***listrik normal fayların*** nihai kurtulma düzeyleri (decollement düzeyi) oluşur (Şekil 4). Jeofizik yöntemlerle varılan sonuçlara göre yerkabuğu, kıtasal gerilme alanlarında daha incedir.



Şekil 4. Artan derinlikle faylanmanın doğasında meydana gelecek değişiklikler nedeniyle listrik fayların oluşumu (aç; açılma çatlakları, ek; eşlenik kesme yapıları) (Canıtez,1983).

Dünya'da kıtasal gerilme alanlarına Almanya'daki Ren Grabeni, Norveç'teki Oslo Grabeni ve Doğu Afrika Rifti örnek olarak verilebilir. Bu tür bölgelerde alkali bazalt dizileri ya da K'ca zengin ve sanidin ile labrador içeren şoşonitik dizileri temsil eden volkanitler oluşturmuştur.

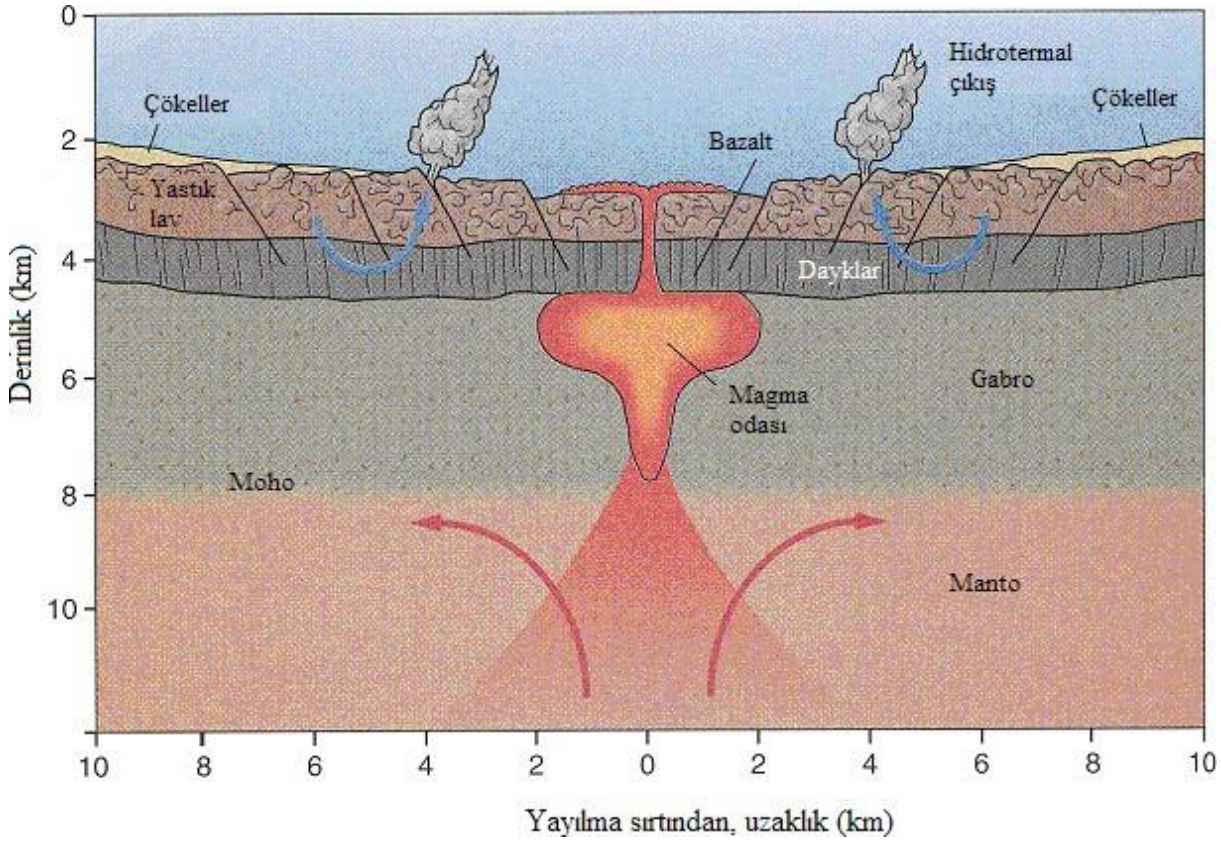
Kıtasal bir kabuk içerisinde gelişen kıtasal gerilme alanlarında ilk oluşan çökeller doğal olarak karasal ve gölsel, riftleşmenin deniz altında gelişmesi halinde ise bu çökeller sığ denizel bir ortamı yansıtırlar. Eğer volkanizma çökelime eşlik etmişse bu volkanik ara katkıların da alkali bazalt, şoşonitik ya da toleyitik bazalt nitelikli olmaları beklenir. Çökellerin bir bölümü de evaporit kökenli olabilir. Gerilme alanında açılma geliştikçe karasal ve sığ denizel çökeller yanal ve dikey olarak açık şelf ve kıta yamacı çökellerine geçerler. Okyanuslaşmaya ulaşmayan dar ve uzun çökme alanlarına alakojen (aulacogen) adı verilir. Günümüzde alakojene örnek verilebilir alanlar, Keweenawan rifti ve Kuzey Denizi'dir. Afar (Etiopya) alakojeninde 25 milyon yıldan beri bir riftleşme sözkonusudur.

Yayılma merkezleri

Bu tür alanlar, uzaklaşan levha kenarlarını temsil ederler. Levha sınırları boyunca levhalar kendini yeniler ve yenilenen bölümler, yayılma merkezlerine dik bir yönde ve eşit hızlarda uzaklaşırlar. Okyanus ortası sırtlar, yay ardı havzalar ya da okyanuslaşma evresine ulaşmış riftler yayılma merkezlerine örnek olarak verilebilir. Bu tür alanlar, okyanusal kabuğun oluştuğu yerlerdir.

Yayılma merkezlerinde en büyük gerilme dikey konumdadır. Böylece yeni oluşan kabuk yükselmektedir. Yatay gerilme ise dikey gerilmeye göre daha küçüktür. Yayılma merkezlerine yakından

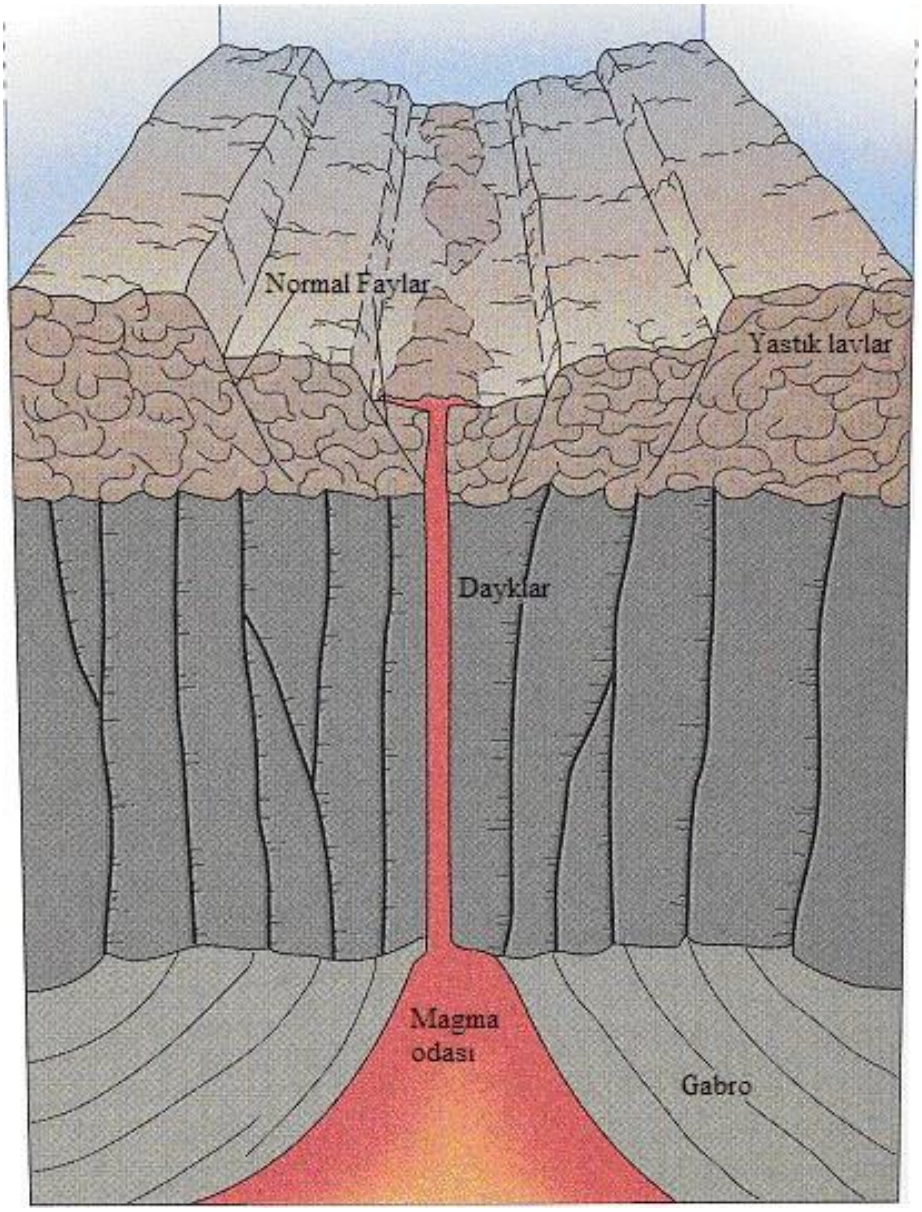
bakıldığında hemen tümünün normal faylanma ve volkanik yapılarla temsil edildiği görülmektedir. Özellikle yayılma merkezlerinin ekseni volkanik faaliyeti karakterize eder. Kıtasal riftlerde varolan kabuk, çekme geriliminin güdümünde uzayıp incelmektedir. Oysa yayılma merkezlerinde eksen boyunca sürekli yeni malzeme eklendiği için levha kenarları yavaş, orta ya da hızlı bir biçimde uzaklaşmaktadır. Bu gibi yerlerde varolan kabuğun uzayıp incelmesi diye bir sorun yoktur. Yavaş yayılan merkezlerin iki yakasında içe bakan normal faylar, hızlı yayılan merkezlerde ise ters fay görünümünü sunan faylar gelişmektedir. Okyanus kabuğunun yapısı ve yayılma merkezlerinin varsayılan derin yapılar, Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Okyanus ortası sırtlardan geçen enine kesit (Davidson ve diğerleri, 1997).

Okyanusal yerkabuğu, jeofizik yöntemlerle varılan sonuçlara göre kıtasal kabuktan daha ince olup yaklaşık 8-10 km kadar olabilir. Alttan Moho ile sınırlanan okyanusal kabuk en çok 11 km kadar kalınlığa ulaşabilir. Okyanus ortası sırtların yakın çevresinde yerkabuğunun yapısı ise Şekil 6'da sunulmuştur.

Dünya'da yayılma merkezlerine Atlantik ortası sırt, Japon Kenar Denizi ve Kızıldeniz örnek olarak verilebilir. Bu tür bölgelerde ofiyolit dizisi olarak tanımlanan bazik ve ultra bazik türde magmatik kayalar oluşmaktadır. Ofiyolitli dizi, alttan üste doğru, ultramasif tektonik, kümülatlar, dayk kompleksi ve yastık yapılı toleyitik lavlardan yapılıdır.



Şekil 6. Okyanus ortası sırtlar çevresinde yerkabuğu yapısının görünümü (Davidson ve diğerleri, 1997).

Yayılma merkezlerinde egemen olan yüksek sıcaklık ve düşük basınç koşulları ofiyolitli dizinin başkalaşıma(metamorfizmaya) uğramasına neden olurlar. Başkalaşım, ofiyolitli diziyi oluşturan kaya türlerinin biçim, doku, yapı unsurları ve mineralojik özelliklerini değiştiren etkiler yapar. Amfibolitik ve eklojit fasiyesleri burada oluşurlar. Yayılma merkezlerinde oluşan çökelleri, diri okyanus sırtları, pasif sırtlar, denizaltı tepeleri, okyanus platoları, okyanus havzaları ve pasif kıta kenarı olmak üzere altı ortamda incelenebilirler.

Diri okyanus sırtlarında ağırlıklı olarak mafik ve ultramafik kayalar oluşur. Bu kayalara, Fe ve Mn bakımından zengin killer eşlik eder. Killerin üzerinde globijerin, pteropod ve nannofosil gibi karbonat, radyolaria, diyatom ve sünger gibi silisli organizma kavkılarını içeren tümüyle pelajik olan çökeller oluşur. Pasif sırtlarda ise yer yer paralel ve boşluklu uyumsuzlukların yer aldığı, altta lagüner-sığ denizel, üstte ise pelajik çökeller izlenir. Denizaltı tepelerinde de sığ denizelden derin denizele kadar değişen çökellere rastlanır.

Denizaltı tepelerinin okyanus yüzeyine yaklaştıkları yerlerde bazen atol tipi resifler de gelişirler.

Okyanus platoları, okyanusal kabuğun üzerinde ve okyanuslarının su bölümünün tabanında yer alan plato biçimli yükseltilerle temsil edilmektedir. Bu ortamlarda nanofosilli ve foraminiferli karbonatlar, çörtler ve volkano-tortul istifler izlenmektedir.

Okyanus havzaları ise açık denizel (abisal) düzlük ve tepelerin yer aldığı kesim olarak bilinir ve karbonatlar, silisli çamurlar, kırmızı kil ve türbidit çökelleri ile karakterize olurlar.

Pasif kıta kenarlarında kıyıya yakın bölümde kırıntılı çökeller oluşur. Kıyıdan uzaklaştıkça daha ince taneli çökeller ve çamurlar birikirler. Karadan malzemenin gelemediği durumlarda biyolojik yada fiziko-kimyasal kökenli karbonatlar da çökelebilir. Kıta yamaçlarında kimi yerlerde olistostromal nitelikte bloklu çökeller oluşur. Türbidlit akıntılarıyla kıta yamaçlarından daha derinlere doğru taşınan malzeme kıta eteklerinde çok büyük boyutlu denizaltı yelpazelerini meydana getirirler. Günümüzde bilinen en büyük denizaltı türbidit yelpazesi, Bengal Körfezi içerisinde yer alan Bengal Yelpazesi'dir.

Levhaların yakınsayan kenarları

Bu kenarlar, levhaların dalma-batma bölgeleri ve kıta-yay ya da kıta-kıta çarpışma bölgeleridir. ***Dalma-batma bölgeleri***, kabuğun tüketilmekte olduğu bir evreyi, ***çarpışma bölgeleri*** ise kabuğun tümüyle tüketildiği ve iki levhanın burun buruna geldiği ve sıkışmanın devam ettiği dağ kuşaklarını temsil etmektedir.

Dalma batma bölgeleri

Bu tür alanlar, yerkabuğunun okyanusal mantoya daldığı yerlerdir. Burada okyanusal kabuğun, mantoya batması ya da yitimi olayı vardır. Bu zonlar, hendek, yay-hendek arası, yay ve yay-ardı olmak üzere dört havza türü ile temsil edilirler (Şekil 7).

Dalma batma bölgelerinde yaya paralel, bindirme fayları ve yayı kesen yanal atımlı fay sistemleri oluşur. Burada basınç gerilmesi (yani sıkışma) yatay düzlemde egemendir. Çekme gerilmesi ise dikey konumdadır.

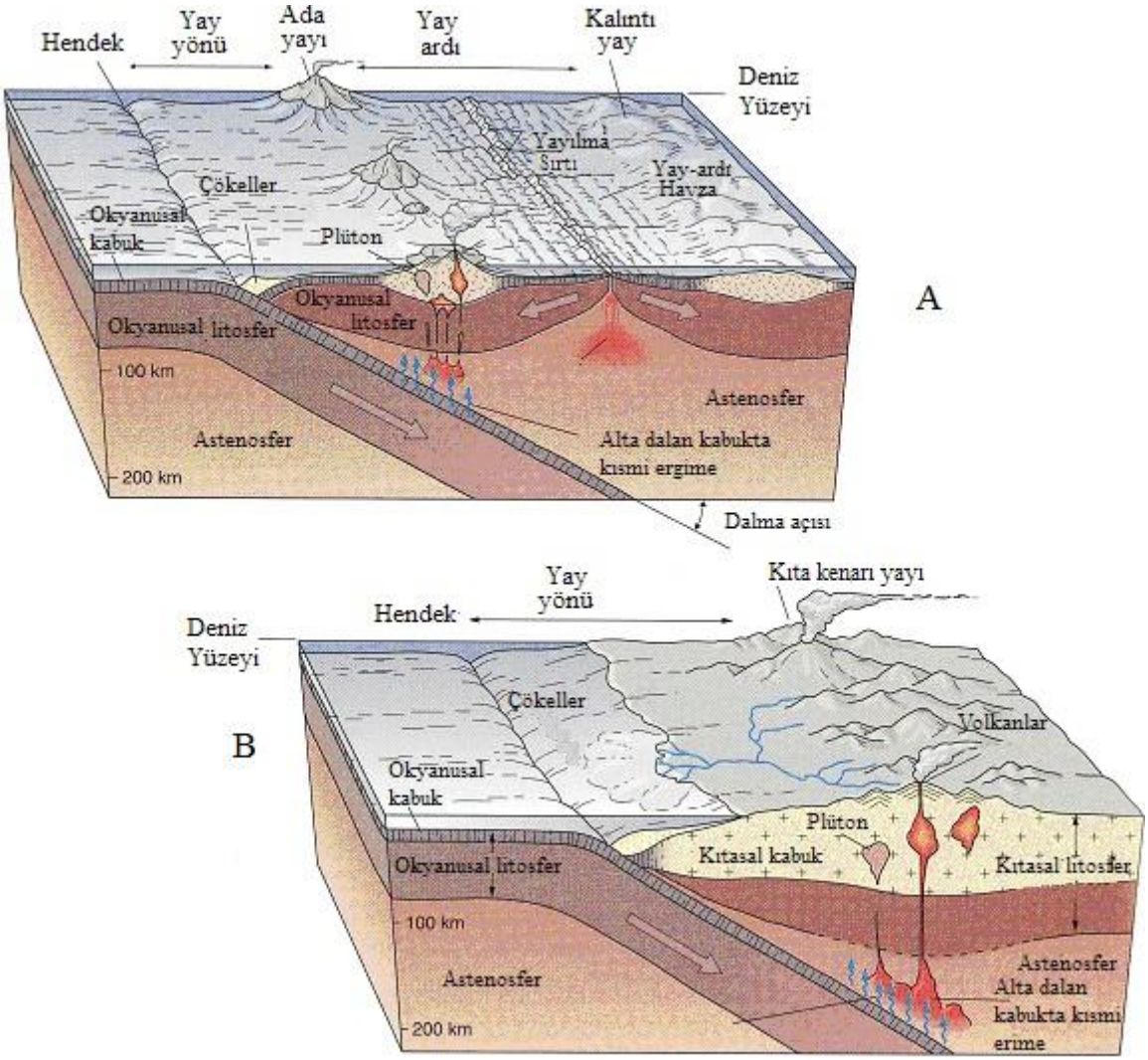
Deprem odaklarının yitim bölgelerindeki dizilimi, sismik yansıma verileri, gravite anomaliler ve jeomorfolojik veriler gözetilerek dalma-batma zonlarının geometrileri belirlenmiştir. Mantoya dalan litosfer boyunca dizilen deprem odaklarının oluşturduğu Benioff zonları ve bu zonların üzerinde gelişen yay magmatizması dalma-batma bölgelerini, diğer bir deyişle yitim zonlarını karakterize eder.

Dalma –batma bölgelerinin yayları, sıkışmalı, nötr ya da gerilmeli türde olabilirler. Sıkışmalı yaylarda asidik magmatizma ve tektonik erozyon egemendir. Nötr yaylarda andezitik bir magmatizma ve yığışım prizmaları gelişmektedir. Gerilmeli yaylarda ise toleyitik ve bazaltik bir volkanizma ve gerilmenin güdümünde bir tektonizma meydana gelmektedir. Öte yandan ada yaylarının gelişmelerinde erken evrede toleyitik dizilerin, daha olgun evrede kalk-alkelen dizilerin, son evrede ise şoşonitik dizilerin oluştuğu ileri sürülmektedir. Bu dizilerden şoşonitik diziler diğer dizilere göre daha yüksek K, Ba, Rb ve Sr 'na sahip olup K_2O/Na_2O oranları ise 1'den yüksektir.

Ayrıca yitim zonlarında ısı akımı ve sıcaklık dağılımına ilişkin modeller gözden geçirildiğinde, iki farklı tipte metamorfizmanın varlığı dikkat çeker. Bunlar dalan litosferde yüksek basınç ve düşük sıcaklık (YB/DS) koşullarında gelişen metamorfizma ile dalan litosferin üzerinde düşük basınç ve yüksek sıcaklık (DB/YS) koşullarında gelişen metamorfizmadır. Metamorfik kuşaklardan okyanusa yakın olanı jadeit, glokofan gibi YB/DS minerallerini, daha iç tarafta olanı andalusit, sillimanit gibi DB/YS minerallerini kapsar. Çift metamorfik kuşaklar olarak adlandırılan bu yapının yay sistemi ile yada yitim zonunun geometrisi ile ilişkisi vardır.

Günümüz karışık (melanj) ve kırıntılı derin deniz çökelleri hendek bölgesinde, volkano-kırıntılı türbiditler yay- önü havzalarda, lav ve volkano-kırıntılı ardalanma yay bölgesinde, kıta kenarlarında

türemiş terrijen kırıntılı çökellerden, karbonatlara ve okyanus tabanlarında izlenebilir çökellere kadar geniş bir yelpazeyi temsil eden topluluk ise yay-ardı havzalarda oluşur.

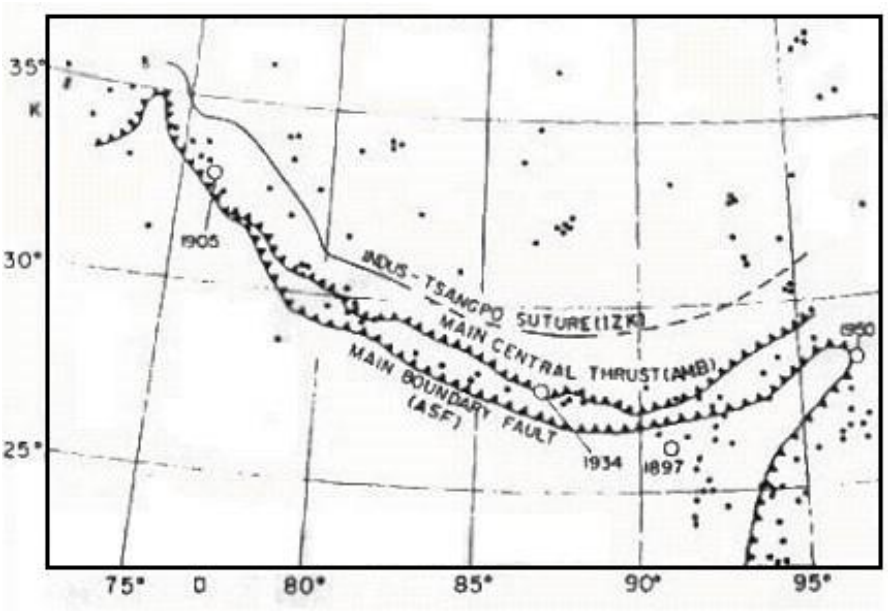


Şekil 7. Yitim zonu, levhaların yakınsayan kenarları (Davidson ve diğerleri, 1997).
A, iki okyanusal litosferin yakınsaması, B, okyanusal litosfer ile kıtasal litosferin yakınsaması.

Çarpışma bölgeleri

Kıtasal kabuğa sahip iki levhanın aralarındaki okyanusal kabuğun dalma-batma yoluyla (yitim) tükenmesi ya da tümüyle kaybolması sonucu burun buruna yani temas haline gelmeleri kıta-kıta çarpışması olarak yorumlanır. İki kıta kabuğu, burun buruna geldikten sonra kıta kabuğunun yoğunluğu mantodan daha az olduğu için mantoya dalamadığından çarpışma kuşağı yamularak yükselmeye başlar. Böylece dağ kuşakları meydana gelir. Kıta kabuğu belli bir kalınlığa ulaştıktan sonra, kabuğun alt kısımlarında kısmi ergime koşullarında yüksek K içeren granitlerle, onların yüzeydeki türevleri olan riyolitler oluşur.

Alp-Himalaya Dağ Kuşağı, bilinen en tipik çarpışma bölgelerinden biridir (Şekil 8). Bu dağ kuşağının, geçmişte, kuzeyde yer alan Avrasya kıtası ile güneyde yer alan Gondowana-land kıtasının yakınsaması ve sonunda çarpışması nedeniyle oluştuğu kabul edilmektedir. Ural dağ kuşağı ve Apalaş dağ kuşağı gibi diğer dağ kuşakları da eski çarpışma bölgeleri olarak yorumlanmaktadır.



Şekil 8. Himalayalar'da izlenen önemli çarpışma sonrası yapılar ve yörede oluşan sığ deprem yerleri noktalarla gösterilmiştir (Molnar ve diğerleri, 1976).

Ayrıca, okyanusal çukurlar, kıta içi yanardağlar, kıvrımlı bindirme yapılarının oluştuğu tüm sıradağlar ve kıta içi yükselimler (platolar) iki ayrı levhanın yakınsaması ve sonunda çarpışması sonucu meydana gelebilen jeolojik yapılardır.

Sismoloji, depremsellik, ısı akısı değerlendirmeleri, gravite, manyetik ve elektrik gibi jeofizik disiplinlerin yardımıyla diğer jeolojik yapılar gibi çarpışma bölgelerinin geometrik konumları ortaya konulabilir. Bu verilerin yardımıyla Alp-Himalaya Dağ Kuşağı'nın belirlenmiş olan önemli yapıları Şekil 8'de görülmektedir. Ancak Jeofizik verilerin yardımıyla, yüzeyde izlenebilen temel jeolojik yapıların yerin altındaki konumları da değerlendirilmelidir. Jeolojik ve Jeofizik verilerin birlikte değerlendirilmediği durumlarda, önemli yanlışlıklar yapılabilir.

Çarpışma bölgelerinde alkalen ve kalk-alkalen volkanizmanın ürünleri belirlenmiştir. Sıkışmanın yanı sıra yeni magmatik ürünlerin çarpışma bölgelerine eklenmesi sonucu, bu bölgelerde kabuk kalınlaşması olmaktadır. Kabuk kalınlaşmasının varlığı, negatif Bouguer Anomalileri değerlerinden de anlaşılmaktadır.

Ayrıca zeolit, prehnit, pumpelleit-glokofan şist, yeşil şist-amfibolit fasiyes dizilerinde metamorfizmaya uğramış kayalar, çarpışma bölgelerinde izlenebilir. Ne var ki kıta-kıta çarpışmasının düşük dereceli bölgesel metamorfizmaya yol açtığı görüşü daha çok benimsenmektedir.

Bilindiği gibi kıta kenarları ve adayayı kuşakları morfoloji olarak düzensizdirler. Dolayısıyla çarpışan kıtasal levhalar arasında, önceki okyanus havzalarının kalıntıları korunabilir. Bunlara ***kalıntı okyanus havzaları*** adı verilir. Çarpışma ilerledikçe yükselen dağ kuşakları arasında ve çevrelerinde de yeni havzalar gelişir. Bunlar çoğunlukla kıtasal kabuk üzerinde yer alırlar. Söz konusu havzalar eğer dalan levha üzerinde meydana gelmişlerse "***periferal havza***", üzerleyen levha üzerinde meydana bulunuyorlarsa "***retro-ark havza***" olarak adlandırılırlar. Çarpışma olayına bağlı olarak kıtasal levhalar üzerinde gelişen bu havzalara bir bütün olarak geç orojenik havzalar denir.

Kalıntı okyanus havzalarında, çarpışmanın olduğu bölgelerden önemli miktarda gereç taşınması sonucu büyük boyutlu deltalar ve önlerinde denizaltı türbidit yelpazeleri gelişir. Bu tür havzalara Bengal Körfezi ve Doğu Akdeniz örnek olarak verilebilir.

Çarpışma ilerledikçe kalıntı havzaları da giderek kapanır ve çökel istif, pasif kıta kenarlarına ait kıta eteği çökelleriyle birlikte sıyrılıp naplar halinde dalan levhanın kıta kenarı üzerine yerleşebilir.

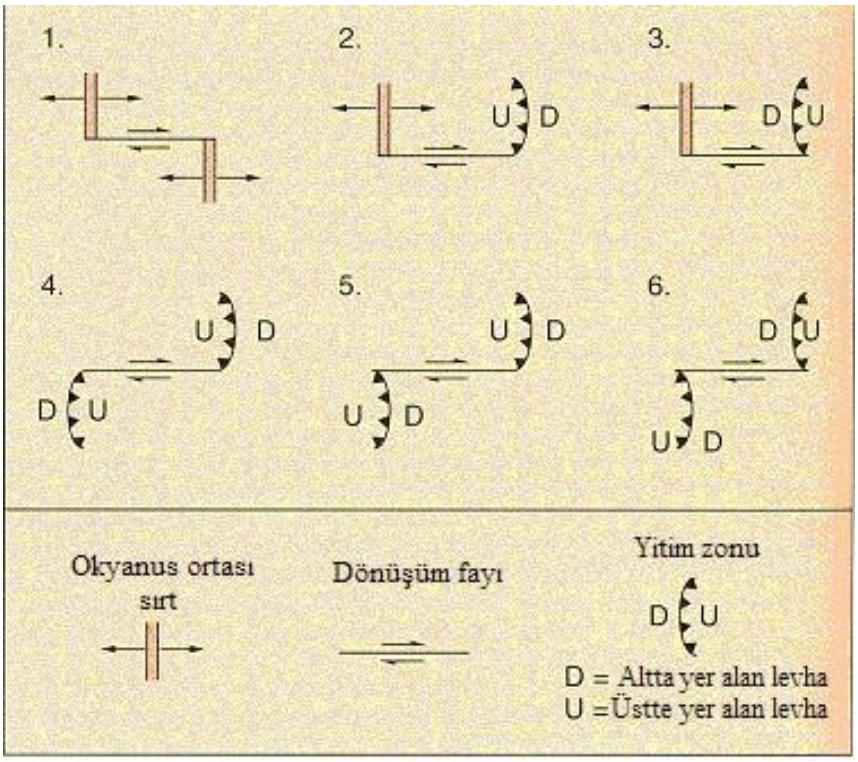
Geç orojenik havzalar ise genellikle molas ve sığ denizel çökellerle temsil edilir. Ancak ofiyolit ya da ofiyolitli karışık (melanj) dan oluşan naplar, daha genç karasal kırıntılı kayaların üzerinde yer alması halinde, bu karasal istifin bir periferal havza topluluğu olabileceğini söylemek de mümkündür. Geç orojenik havzalara Himalayaların güneyindeki Hindistan Kıtası içinde yer alan havzalar ve Basra Körfezi örnek olarak verilebilir. Bu tür havzalarda, kıtanın olduğu kesimde alüvyon ve delta çökelleri, okyanusun olduğu kesimde ise karbonat ve evaporitler çökelir.

Çarpışma kuşaklarında, bazen bu kuşaklara büyük açıyla uzanan rift yapıları (impaktojenler) gelişir. Bu yapılar, geometrik konum yönüyle alakojenlere benzerler. Ancak alakojenlerin gelişim açısından çarpışma olayı ile ilişkileri yoktur.

Levhaların yanal devinen kenarları (Dönüşüm fayları)

Dönüşüm (transform) fayları, tüm kabuğunu dikey olarak kesen ve herhangi bir levhanın devinim biçimini yanal atıma dönüştürüp başka bir devinim biçimine bağlayan levha sınırlarıdır. Her dönüşüm fayı, gerilme ile olan ilişkileri dışında, bir yanal atımlı fay görünümündedir.

Genel olarak dönüşüm fayları boyunca iki levha, birbirlerine sürtünerek, dönüşüm fayının uzanımına koşut olarak ve birbirlerine göre ters yönde devinirler. Şekil 9'da Wilson (1965) tarafından tanımlanan altı tür dönüşüm fayı görülmektedir.

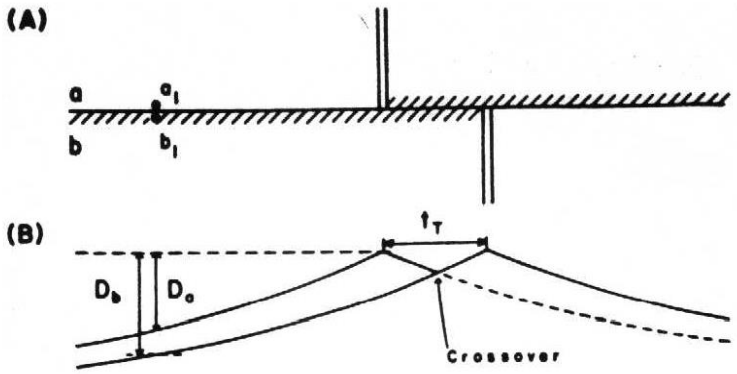


Şekil 9. Altı tür transform fay (Wilson, 1965; Davidson ve diğerleri, 1997).

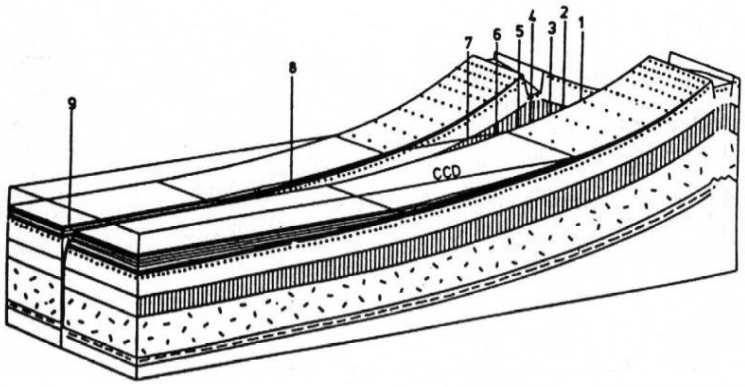
Levha tektoniğinde bir yere bir levha sınırı çizmenin tüm levhaların genel mozayiğini etkileyebileceğini ve yerel keyfi levha sınırları türetmenin olanaksız olduğunu söyleyebiliriz. Böylece

önerilen her varsayımın kolayca denetlenebileceği açıktır. Zaten levha tektoniğinin en önemli özelliği de evrensel ve denetlenebilir olmasıdır.

Dönüşüm fayları arasında davranışları en iyi incelenmiş olan tür, okyanusal kabukta gelişmiş olan sırt-sırt dönüşüm faylarıdır. Şekil 10 ve 11'de sıra ile bir sırt-sırt dönüşüm fayının bazı kesitleri ve blok diyagramı görülmektedir. Böyle bir fay boyunca oluşan kayatürü topluluğu da Şekil 12'de sunulmuştur.

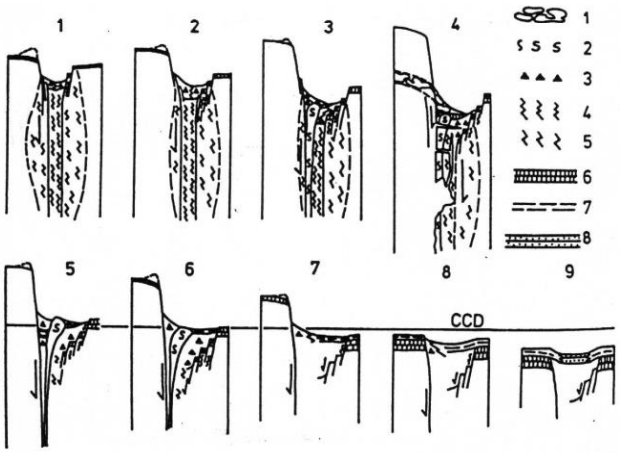


Şekil 10. A –Sırt sırt tipi bir transform fay (her iki yanı taranmış tek çizgi) ve bunun transform olmayan uzantılarını oluşturan kırık zonları (tek yanları taranmış cizgiler). B- Aynı fayın kesiti (Crossover = boyun noktası) (De Long ve diğerleri, 1977).



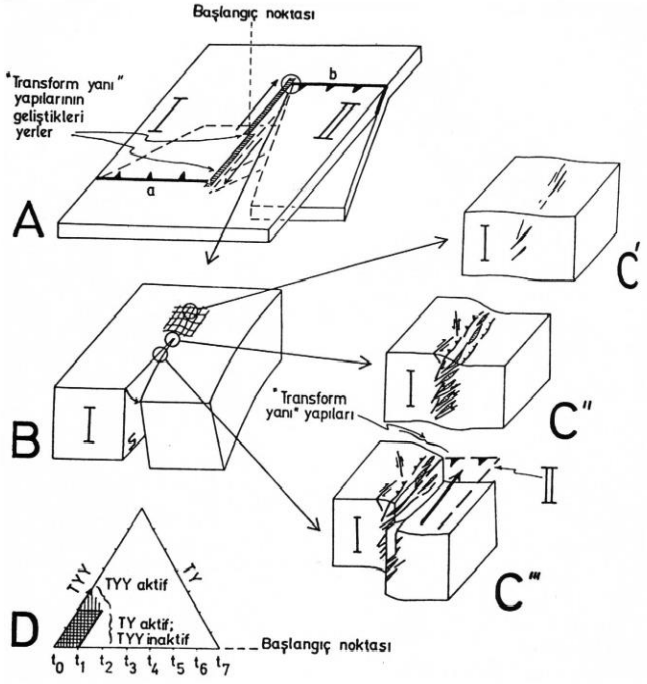
Şekil 11. Sırt sırt tipi bir transform fayı ve bunun transform olmayan uzantısını teşkil eden kırık zonunu gösteren blok diyagram (De Long ve diğerlerinden, 1979).

Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı gibi yayılma merkezlerinin ötesinde uzanan ve dönüşüm fayının devamıymış gibi görünen tek tarafı taranmış çizgiler, tümüyle levha içi kırık zonlarını temsil etmektedirler. Sırt- sırt türü dönüşüm fayları ise iki tarafı taranmış bölümde ve enine kesitte ise birer tepe üzerinde yer almaktadırlar.

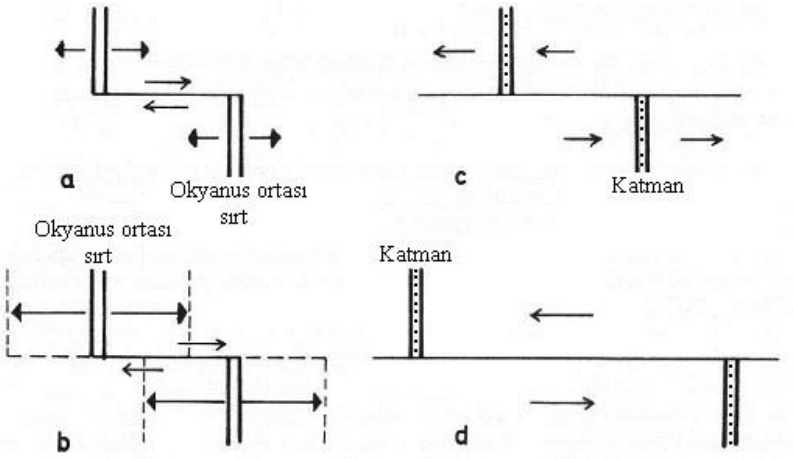


Şekil 12. Transform fay ve kırık zonundan jeolojik kesitler, kesitlerin yerleri Şekil, 11'de belirtilmiştir Açıklama: 1- Yastık lav, 2- Serpantin 3- Döküntü breşi, 4- Yanal atım deformasyonu, 5- Düşey atım deformasyonu, 6- Karbonat, 7-Çört/Lütit, 8-Kıt'a kenarından taşınan türbiditler.

Dönüşüm fayları boyunca, diğer yanal atımlı faylar boyunca gelişmeyen bazı yapı türleri, örneğin "transform yanı yapılar" (TYY) meydana gelmektedir (Şekil 13). Bu yapılar, dönüşüm fayı oluşmadan meydana gelir, açılma çatlakları, normal faylar, bindirme fayları ve yanal atımlı faylarla temsil edilir ve dönüşüm fayı oluştuktan sonra, bu fayın bir kenarı üzerinde pasif olarak devinirler. Dönüşüm faylarının levha içi yanal atımlı faylardan farkı ise, bu fayların yanal hareketinin, yanal atımlı fay hareketlerine göre ters yönde olmasıdır (Şekil 14).



Şekil 13. 'Transform yanı' yapılarının gelişme evreleri (Canıtez,1983).



Şekil 14. Dönüşüm faylarıyla (a,b) doğrultu atımlı faylar (c, d) arasındaki farkları gösterir tasarımlar (Wilson, 1965).
a: Yayılmakta olan iki sırtı birbirine bağlayan sağ yönlü Dönüşüm fayı
b: Dönüşüm fayının (a) bir süre hareketten sonraki durumu. Bu hareket sırt parçaları arasındaki görünür atımı değiştirmemiştir.
c: Doğrultu atımlı- sol yönlü fay, sırt parçalarını aynı yönde birbirinden uzaklaştırmıştır.
d: Doğrultu atımlı fayın (c) bir süre hareketten sonraki durumu. Burada atım büyümüştür

Dönüşüm fay havzalarında depolanan çökeller, hızlı gelişim ve çökelme nedeniyle kısa mesafelerde yanal ve dikey fasiyes değişimleri gösterirler. Kalınlıkları oldukça değişkendir. Bu havzalarda çeşitli fasiyeslere rastlanır. Özellikle alüviyal yelpaze kırıntıları ve breşler karakteristiktir. Kara üzerinde yer alan dönüşüm fay havzalarında başlangıçta gölsel koşullar egemendir. Havza kenarlarında alüviyal yelpazeler yer alır. Bir ya da iki ucunda ise havza, akarsularla beslenir.

Denizel bölgelerde dönüşüm fayları boyunca pelajik ortamdan, sığ denizel ve karasal kadar değişim gösteren fasiyesler gelişir. Bu gibi yerlerde bazı türbidit ve karbonat fasiyesleri de oluşabilir. Ayrıca kimi yerlerde, ultrabazik ve bazik magmatik kayalardan türemiş denizel yelpaze breşleri ve ofikalsitlerle temsil edilen fasiyesler gelişmektedir.

LEVHA TEKTONİĞİ'NİN BAZI YANSIMALARI

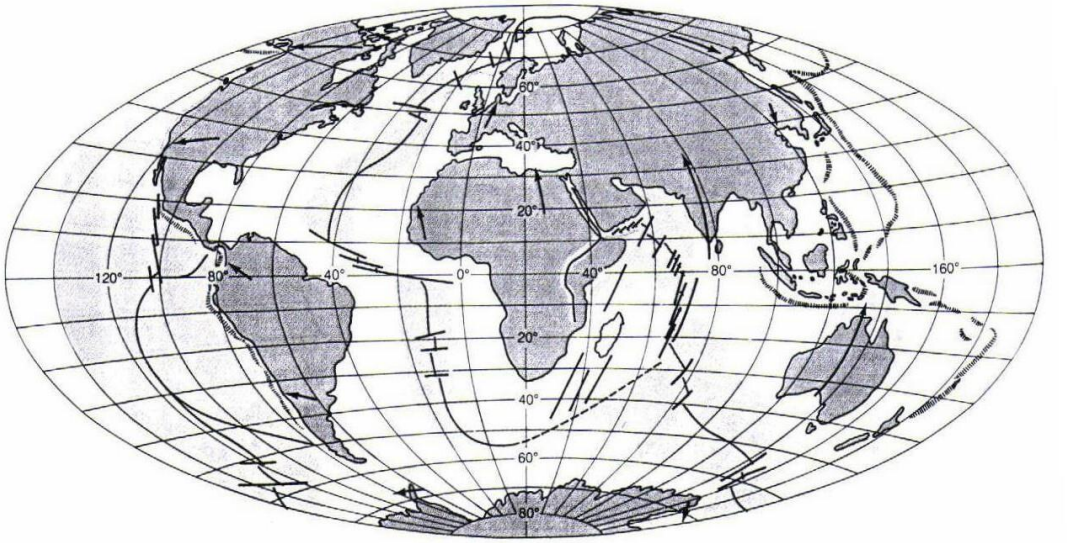
Yaklaşık elli yıl önce, Yer'e dair kıtalarının kalıcı olarak durağan olduğu inancından çok farklı bir büyük değişim yaşandı. Bu değişim, Levha Tektoniği Kuramı olarak tanımlanan ve üzerinde yaşadığımız gezegenin tüm jeolojik süreçlerini kapsamlı bir şekilde kavramaya yansıyan bir zemin sağlamıştır. Dağ oluşumu, magmatizma, metamorfizma, havza oluşumu, çeşitli doğal kaynakların nasıl geliştiğine ilişkin pek çok ayrıntı, bu kuramın ışığında yeniden tanımlanmıştır.

Levha tektoniği kuramı, her şeyden evvel Yer'in Jeodinamik evriminin yeniden sorgulanmasını sağlamıştır. Bu kuram, yer tarihinin başlangıcında tek bir kıta (Pangea) ve tek bir okyanusun (Pantalassa) varlığını öngörmektedir. Daha sonra bu tek kıtanın parçalanması ve daha küçük yeni kıtaların (ya da kıtacıkların) oluşumu gerçekleşmiştir. Yeni kıtaların arasında ise yeni okyanuslar açılmıştır. Ayrıntıda çeşitli varsayımlar arasında bazı farklılıklar var ise de kıtaların zaman içinde devindiği ve değişime uğradıkları genel olarak kabul edilmektedir. Örneğin, Dietz-Holden (1970) ve Heron (2016) tarafından tasarlanan varsayıma göre, Günümüz'deki kıta sınırlarıyla süper kıta Pangea'yı yansıtan bir harita Şekil 15'de, Günümüz'deki durumu ise Şekil 16'da sunulmuştur. Bu şekillerden, kıtaların zaman içinde konumlarının ne kadar değiştiği irdelenebilir.

Günümüzde, levhaların devinimi, levhaların birbirinden uzaklaşması, yakınsaması ve yanal devinimi şeklinde betimlenmiştir. Levhaların parçalanıp birbirinden uzaklaşması, bir tarafta havza oluşumuna yol açarken, daha ileri bir evrede bazik ve ultrabazik magmatizma yoluyla yeni bir kabuk oluşturmaktadır.

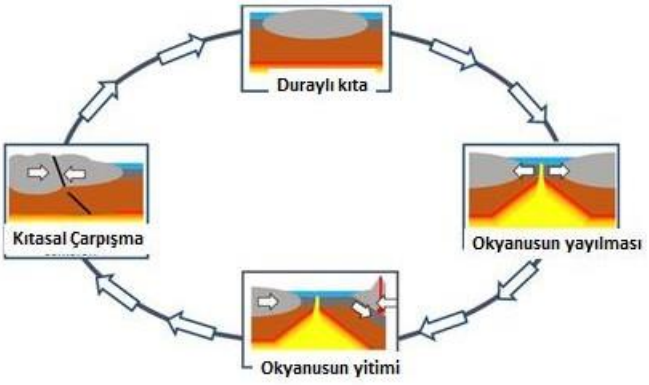
Levhaların yakınsaması sırasında, yoğunluğu yüksek olan levha kenarının diğer levhanın altına dalıp-batması yoluyla tükenmesine ve asidik bir magmatizmaya yol açmaktadır. Böylece açılmış olan havzalar giderek kapanmaktadır. Yani bir tarafta yeni kabuk üretilirken, diğer tarafta üretilmiş olan kabuk tüketilmektedir. Doğal olarak, Yer'in bugünkü konumunu koruması için üretilen kabuk ile tüketilen kabuğun eşit olması beklenir.

Şekil 15. Günümüzdeki kıta sınırlarıyla birlikte süper kıta Pangea'yı yansıtan bir harita. Kieff, CC BY-SA (Heron, 2016'dan).



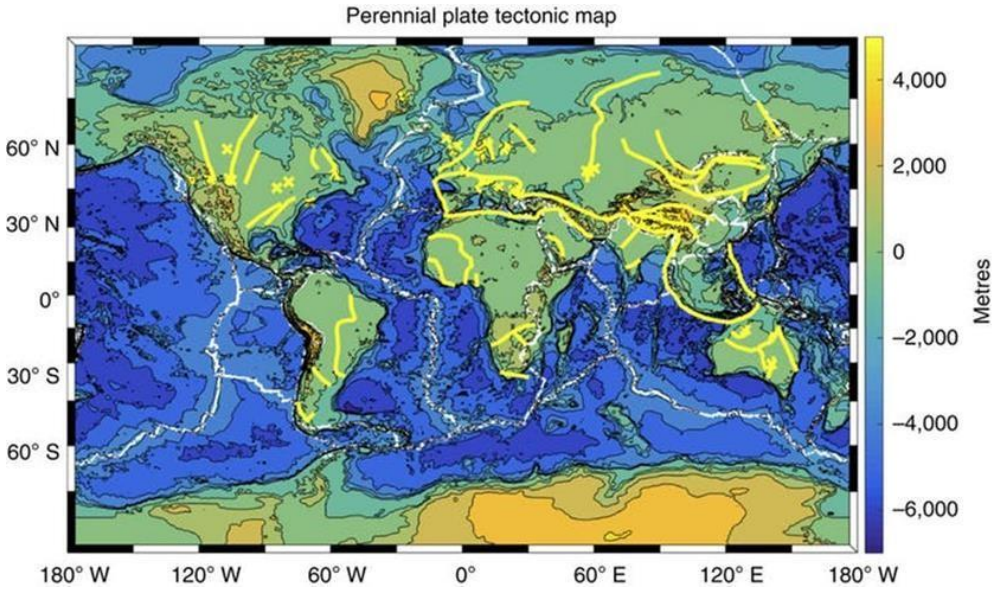
Şekil 16. Günümüzdeki kıtaların görünümü (Dıetz-Holden, 1970; Pres ve Siever, 1974).

Ne var ki yapılan değerlendirmelere göre üretilen kabuk tüketilen kabuktan biraz daha fazladır. Eğer bu varsayım doğru ise yer kabuğunun gelecekteki jeolojik süreçler boyunca giderek kalınlaşacağı



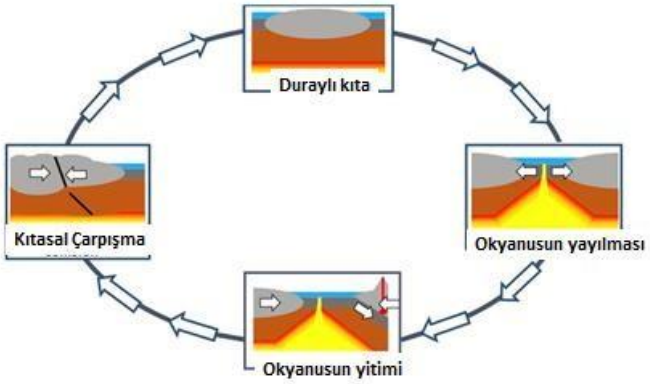
irecektir. Yakınsama ve uzaklaşma

emsil eden bölgelere de yansıyabilir. e olmamasına karşın, yeryüzündeki alan bu yapılar, yeniden etkin hale abilirler. Levha tektoniği güdümünde sınırları (Beyaz çizgiler) ve kabuğun e Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil, 17. Levha tektoniği güdümünde gelişen eski levha sınırlarıyla (Sarı çizgiler), Günümüz'deki levha sınırları (Beyaz çizgiler). Kabuğun altındaki anormal kalıntıların olduğu bölgeler sarı çarpı işaretleri ile sunulmuştur (Heron, 2016).

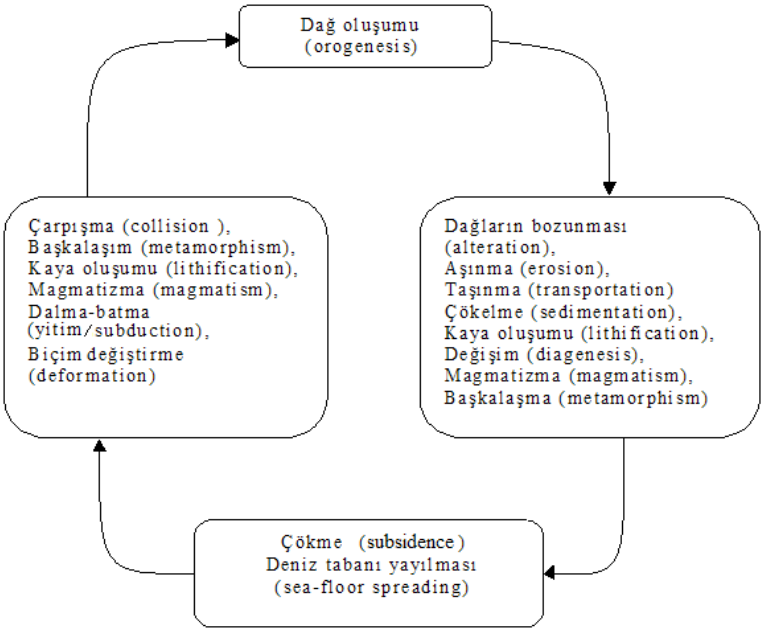
Yalınlaştırılmış 'Wilson Döngüsü'nde duraylı kıtaların, önce kırılmaya uğrayarak okyanusların oluştuğu, zamanla kıtaların yitime uğradığı ve yitimin ileri evrelerinde kıta-kıta çarpışmalarının oluştuğu, bu gelişmenin de bir döngü ile devam etmekte olduğu ifade edilmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Yalınlaştırılmış 'Wilson Döngüsü' (Heron, 2016'dan).

Levhaların yukarıda özetlenen devinimi, elbette bir döngü olarak da tanımlanabilir. Bu döngünün "Temel Jeolojik Döngü" olarak adlandırılması yeğlenmelidir. Aşağıda sunulacak olan diğer

doğal ekolojik döngüler de Temel Jeolojik Döngü olarak tanımlanan döngünün güdümünde şekillenmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. Temel jeoloji döngü

Yer'in çeşitli dağ kuşaklarında gelişmiş olan doğal kaynaklar da levha tektoniği kuramı ilkeleri çerçevesinde oluşmuştur. Örneğin krom yatakları, uzaklaşan levha kenarlarında, bakır, kurşun, çinko gibi metal yatakları yakınsayan levha kenarlarında gelişmiştir. Diğer kil, zeolit, mermer, ponza gibi sanayi hammaddeleri ise havza oluşumunun çeşitli evrelerinde oluşmuşlardır. Petrol, kimi denizel havzalarda bol oranda organik madde birikimi ve organik gereç bakımından zengin çökellerin ısıl bozunması (alterasyon) sonucu oluşmaktadırlar. Organik metamorfizma olarak da adlandırılan bu bozunmayı etkileyen pek çok değişken (parametre) bulunmakla birlikte, bu gelişmenin Yer'in zaman/sıcaklık tarihinin bir işlevi olarak meydana geldiği ileri sürülmektedir.

Günümüzde petrol, gelişimini tamamladığı antiklinal, senklinal yada faylar tarafından denetlenen yapısal kapanların belirlenmesiyle bulunabilmektedir.

Doğal afetler; örneğin deprem, heyelan, çığ yanardağlar, sel ve taşkınlar, tsunami, harikanlar birer yer sürecidir. Bu yer süreçlerinin bir bölümünün levha tektoniği kuramındaki yeri tanımlanabilmektedir. Örneğin depremlerin, levha sınırlarını temsil eden diri faylar boyunca biriken enerjinin boşalmasıyla oluştuğu ve bu enerjinin de üst mantoda gelişen termal konveksiyın akımlarından beslendiği anlaşılmıştır.

Heyelan ve çığların levha tektoniği kuramında öngörülen levhaların deviniminde önemli bir işleve sahip yerçekimi ile ilişkileri ortaya konulmuştur. Yanardağların oluşumu ise tümüyle levha tektoniği kuramı ile açıklanabilmektedir. Sel ve taşkınlar, tsunami ve harikanlar ise atmosferik birer süreç olmakla beraber, yerin günümüzdeki morfolojisinden bağımsız değildirler. Sonuç olarak levha tektoniği kuramının, doğal afetlerin oluşum biçimlerinin anlaşılmasına katkıda bulunduğu söylenebilir. Dolayısıyla bu afetlerden korunma yöntemlerinin de gelişmesine de katkı sağlamıştır.

Levha tektoniği kuramı çerçevesinde havzaların oluşumu kolaylıkla açıklanabilmektedir. Havza oluşumu, Temel Jeolojik Döngü'nün sadece bir evresini temsil etmektedir. Ne var ki havza oluşumuna koşut olarak havzaya can veren flora ve fauna da gelişmekte ve bu topluluklar havza gelişimine koşut

olarak bir evrim geçirmektedirler. Her ne kadar güneş enerjisinin yanı sıra, Yer'in konumundan ve diğer özelliklerinden kaynaklanan değişkenlerin (parametrelerin) yaşam üzerinde önemli katkıları olmakta ise de, Levha hareketlerinin de yaşamın evrimindeki katkıları yadsınamaz.

Dolayısıyla su, karbon, kükürt, fosfat ve diğer döngüler olarak tanımlanan ekolojik döngülerin de Temel Jeolojik Döngü'den bağımsız olarak gelişmedikleri ve olasılıkla Temel Jeolojik Döngü'nün güdümünde geliştikleri söylenebilir. Sonuç olarak Levha Tektoniği Kuramı yalnızca Yer'i tanımamızı kolaylaştırmamış, aynı zamanda doğadaki yaşamın ayrıntılarının anlaşılmasına ve insan yaşamının kolaylaştırılmasına da dolaylı katkı sağlamıştır.

Wilson'dan yaklaşık 50 yıl sonra, Yer'e dair her hareketin Dünya'mızda kalıcı bir anı bırakabileceğini düşünmeye başladık. Levha Tektoniği'nin işleyişi değişirse, yeryüzündeki yaşam da çok farklı olacaktır. Değişen manto sıcaklığı, litosferin iç kısmının geri kalanıyla etkileşimini, bu da levha tektoniğinin işleyişini etkileyebilir. Ya da mantodaki kıta büyüklüğünde kimyasal kalıntılar, göreceli olarak duraylı durumlarından sıyrılarak, devinebilir ve bu da derin rezervuarlarından süper volkanlara doğal kirlilik yaratan malzemeleri salıvermelerine neden olabilir (Heron, 2016).

Yer'in başlangıcını anlamadan, Yer'e dair gelecekte ne ile karşılaşabileceğimizi kestirmek mümkün değildir. Ancak, geçmişte yaşanmış sırları keşfederek, levha tektoniğine dair gelecekteki yansımaları tahmin edebiliriz. Yer'in milyarlarca yıl önceki durumu hakkında daha fazla şey öğrenmek için, öncelikle AY'ın daha ayrıntılı keşfedilmesi gerekmektedir. Bu konuda öncelikli sorulardan biri de: Yaşamın gelişmesi için bir gezegenin levha tektoniğine gereksinimi var mı?

KAYNAKLAR

Ampferer, O., 1928. Beitrage zur Auflösung der Mechanik der Alpen. Jahrb. Geol. Bundesanstalt, Band 78, Heft 3-4, Wien.

Benioff, H., 1954, Orogenesis and deep crustal structure: additional evidence from seismology: Geol. Society of America Bull., 65, 385-400.

Bot, M.P.H., 1982, The interior of the Earth: its structure, constitution and evolution, Eward Arnold Ltd. (2. baskı), London.

Canıtez, N., 1983, Levha Tektoniği, TUBİTAK-İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji-Jeofizik Lisansüstü Yaz Okulu Ders Notları, İstanbul, 798s.

Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.

De Long, S.E., Dewey, J.F. ve Fox, P.J., 1977, Displacement history of oceanic fructure zones: Geology, 5, 199-202

Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997, Exploring Earth: A introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.

Dewey, J.F., 1972, Plate tectonics: Scientific American Bull., 226, 56-66.

Dewey, J.F., 1975, Finite plate evolution: Some implications for the evolution of rock masses at plate margins: Amer. Jour. Sci., 275-A, 260-284.

Dewey, J.F. ve Kidd, W.S.F., 1977 Geometry of plate accretion: Geol. Soc. America Bull., 88, 960-968.

Dietz, R.S. ve Holden, J.C., 1970, The break up of Pangea, Scientific American Bull.

Heron, P., 2016, Plate tectonics: new findings fill out the 50-year-old theory that explains Earth's landmasses (https://theconversation.com/plate-tectonics-new-findings-fill-out-the-50-year-old-theory-that-explains-earths-landmasses-55424 (17 Ekim 2018, saat 16.10).

Hess, H.H., 1962, History of Ocean Basins: Petrologic Studies: A volume to honor, A.F. Buddington, Geol. Soc. America, 599-620.

Hong, Ye, Zhang Wen-Yu, Yu Zhi-Shui ve Xia Qin, 1981, The seismicity and recent crustal movement in the Himalayan region, In proceedings of symposium on Qinghai-Xiang (Tibet) plateau, Academia Sinica, 65-80.

Kidd, R.G.W., 1977, A model for the process of formation of the upper oceanic crust: Geophysics J.R. Astr. Soc., 50, 149-183.

Kusznir, N.J. ve Bot, M.H.P., 1976, A thermal study of oceanic crust: Geophysics J.R. Astr. Soc., 47, 83-95.
Le Pichon, X., 1968, Sea-floor spreading and continerntal drift: Jour.Geophysics Res., 73, 3661-3697.
Mc Kenzie, D.P. ve Morgan, W.J., 1969, Evolution of triple junctions: Nature, 224, 125-133.
Mc Kenzie, D.P. ve Parker, R.L., 1967, The North Pacific: an example of tectonics on a sphere: Nature, 216, 1276-1280.
Molnar, P., Chen, W.P., Fitch, T.J., Topponier, P., Wars, W.E.K. ve Wu, F.T., 1967, Structure and tectonics of the Himalayas: a brief summary of relevant geophysical observations, Coll. Int. CNRS, No.268, Ecol. et. Geol. de Himalaya: 269-294.
Pres, F. ve Siever, R., 1974, Earth, W.H. Freeman and Company, USA, 945s.
Schmidt-Thome, P., 1972, Lehrbuch der Allgemeinen Geologie, Band II, Tektonik, F.Enke Stuttgart.
Stille, H., 1955, Recent deformation of the earth crust in the light of those of earlier epochs: Geol. Soc. America Spec. Pub., 62, 171-191.
Wilson, J.T., 1965, A new class of faults and their bearing on continental drift: Nature, 207, 343-347.

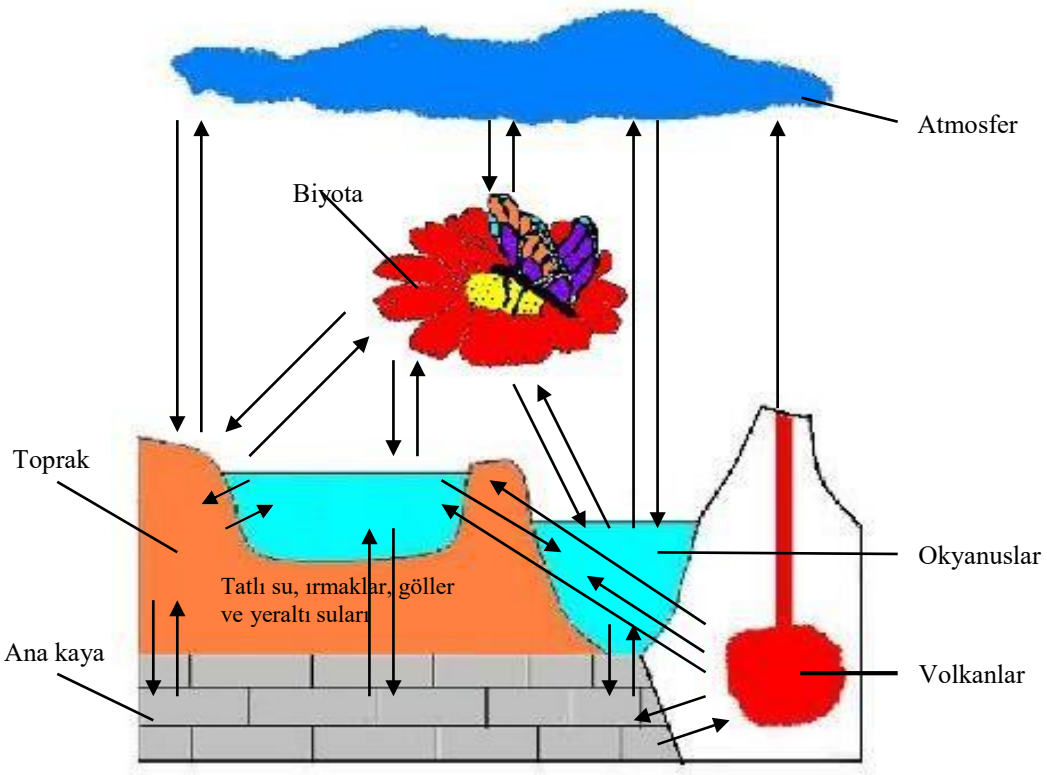
Bölüm 7. BİYOJEOKİMYASAL DÖNGÜLER

GENEL BİLGİLER

Her gün farkında bile olmadan binlerce kimyasal maddeye maruz kalıyoruz. Gün boyunca bu maddeler, derimizin gözeneklerinden vücudumuza sızmakta, solunum yolu ile ciğerlerimize dolmakta ve yiyecekler aracılığıyla sindirim sistemimize girmektedir. Gece boyunca halı, perde ve yastıklardan yayılan yapay kimyasal maddeleri de solumaktayız. Aldığımız bu maddelerin etkileşimi, sağlığımızın genel çerçevesini belirlemektedir. Bu çerçeve de biyojeokimyanın bilime katkıları sayesinde anlaşılmaktadır.

Biyojeokimya terimi, ilk kez Rus yerbilimci Vladimir Ivanovıch Vernadsky (1863-1945) tarafından kullanılmıştır (Oldrody, 2003). Vernadsky, biyojeokimya çalışmalarına 1916'da başladı ve görüşlerini ilk kez Geokhimiya (1924) ve The Biosphere (1926) adlı kitaplarında ortaya koyduktan sonra 1944 ve 1945 yıllarında yayımlandı. **Biyojeokimya**, jeolojik bir ortamı temsil eden kimyasallarla biyota arasındaki ilişkileri inceleyen bir ilgi alanı olarak kabul edilmektedir.

Biyojeokimyasal döngü ise jeolojik ortam, kimyasal elemanlar ve biyota arasında işleyen bir döngüdür (Şekil 1). Vernadsky'e göre, oksijen içeren bir atmosferin doğmasının kaynağında bile canlılar vardır. Canlıların ürettiği oksijenin ürünü olan ozon kalkanı da biyosferi koruyan bir katmanı temsil etmektedir. Dolayısıyla oksijen, azot, karbon ve kükürt gibi çeşitli elementlerin yeryüzünde ve biyosferde sürüp giden döngüleri ayrıntılı olarak incelenmelidir.



Şekil 1. Genelleştirilmiş biyojeokimyasal döngü. Yer'in tüm bölümleri arasında kimyasal elementlerin ve bileşiklerin akışı görülmektedir. Bu döngülerin çoğunda biyota önemli bir rol oynar. Yerin içini temsil eden gereçler, yanardağlar aracılığıyla yüzeye çıkar. Atmosfer, biyota ve okyanuslarda yer alan çeşitli bileşikler ve elementler nedeniyle değişime uğrar. Kayalarda topraklarda ve okyanuslar arasında gereçlerin akışı genellikle yavaş olmaktadır (Botkin ve Keller, 1995).

Besin maddeleri de, yeryüzünde biyolojik ve biyolojik olmayan evrelerden geçerek sürekli bir döngü oluştururlar. Bu bölümde biyojeokimyasal döngüler ve ilgili süreçleri içeren aşağıdaki hususlara açıklık getirilecektir:

- Büyük biyojeokimyasal döngülerin anlamı ve döngülerin birbirini etkilemesi,
- Çevremizdeki gereçlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri etkilemesi,
- Döngülerin alt bölümleri arasında gereçlerin akışını denetleyen biyojeokimyasal döngülerin hidrosfer, litosfer, atmosfer ve litosferdeki yansımaları,
- Çevremizdeki döngülerde bazı kimyasal elementlerin biyolojik etkinlikleri yenilemesi, bazı elementlerin ise uzun zaman aralığında jeolojik süreçler yoluyla çevreye geri dönmesi,
- Yeryüzündeki yaşamın hava, su ve topraktaki kimyasal döngüleri değiştirmesi,

Yer, dinamik ve evrim geçiren bir sistemdir. Bu sistemde gereçlerin devinimi ve depolanması tüm fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri etkiler. Yer'in nitelikleri anlaşılırsa, çevredeki gereçlerin devinimi ve depolanmasının nasıl birbirini etkilediği hakkında temel bilgiler de sağlanabilir.

En basit biçimiyle ***biyojeokimyasal döngü,*** Yer'in atmosferinde, hidrosferinde (ırmaklar, göller, okyanuslar), litosferinde (kayalar, topraklar ve çökeller) ve biyosferinde yer alan elementlerin devinimi ve döngüsüdür. Tüm döngüler, jeolojik, hidrolojik ve biyolojik süreçlerle doğrudan ilişkilidir. Biyojeokimyasal döngülerdeki rezervuarlar yerin en büyük birimleridir. Atmosfer, okyanusların dibindeki çökeller, kayalar ve topraklar, kayalarda yaşayan tüm bitki örtüsü başlıca büyük bölümlerdir. Şekil 1'de görülen genelleştirilmiş biyojeokimyasal döngüde, oklar gereçlerin bir ortamdan diğer bir ortama akışını göstermektedir.

Çeşitli alanlar (Rezervuarlar) arasındaki akışı denetleyen faktörler, çevre açısından bilimsel olarak belirlenmelidir. Bu özellikle, biyojeokimyasal döngülerin anlaşılması yönüyle önemlidir. Birim zamanda, (saniye, dakika, gün) bir rezervuardan diğer rezervuara geçen gereçlerin miktarı ***akış miktarı (flux)*** olarak tanımlanır. Bazı süreçler, çok hızlı çalışır. Okyanustan atmosfere buharlaşma böyle bir süreçtir. Volkanik patlama gibi bazı süreçler büyük oranda gerecin atmosfere, okyanuslara ve kıtalara hızlı bir şekilde akışına neden olabilir. Topraktan kayalara olan devinim ise çok yavaş olmaktadır.

Biyojeokimyasal döngüleri anlamak için de bir bütçe oluşturulabilir. Bu bütçe içinde sistemin bileşenleri ve tanımlanmaları ile rezervuarlar arasında gereçlerin akış miktarı ve oranı belirlenmelidir. Gereçlerin bir göl ya da rezervuarda ortalama alıkonma zamanı hesaplanabilir. Dolayısıyla gereçlerin bir biojeokimyasal döngüde alıkonma süreleri de belirlenebilir. Örneğin bir göl 3 milyon m^3 su içeriyorsa ve günde gölden su çıkışı toplam 3000 m^3 ise gölde suyun ortalama alıkonma süresi 3 milyon m^3/3000 m^3/gün'dür. Bu da 1000 gün'e, yani yaklaşık 2.7 yıl'a karşılık gelir.

Biyojeokimyasal döngülerin anlaşılması için pek çok ayrıntılı çalışmalar gerekmektedir. Birkaç havza arasındaki gereçlerin akışı bilinebilir. Tüm gereçlerin akışı bir denge içerisinde olmaktadır. Ancak havzalar arasında gereçlerin akış miktarları tam olarak bilinmemektedir. Biyojeokimyasal döngülerdeki elementlerin çoğu yaşam için gerekli olup, bunlarla ilgili değerlendirme Çizelge 1'den izlenebilir. Bu elementler 3 gruba ayrılabilirler:

1. **Makro besinler:** Organik bileşiklerin büyük bir bölümünü oluştururlar. Bunlar, karbon, hidrojen, oksijen, fosfor, azot ve kükürttür.

2. **Diğer bol oranda olan besinler:** Bunlar da yaşam için gerekli olan besinler olup, başlıca potasyum, kalsiyum, demir ve magnezyumdur.

Çizelge 1. Elementlerin periyodik çizelgesi. Doğada bol olan elementler, pembe; daha az görülenler, mavi; iz elementler, sarı ve asal gazlar gri renktedir. Yeşil renkte olanlar asıl iz elementler olup kırmızı olanlar ise zehirli elementlerdir (Selinus, 2005).

$_{1}H$																$_{2}He$
$_{3}Li$	$_{4}Be$											$_{5}B$	$_{6}C$	$_{7}N$	$_{8}O$	$_{9}F$	$_{10}Ne$
$_{11}Na$	$_{12}Mg$											$_{13}Al$	$_{14}Si$	$_{15}P$	$_{16}S$	$_{17}Cl$	$_{18}Ar$
$_{19}K$	$_{20}Ca$	$_{21}Sc$	$_{22}Ti$	$_{23}V$	$_{24}Cr$	$_{25}Mn$	$_{26}Fe$	$_{27}Co$	$_{28}Ni$	$_{29}Cu$	$_{30}Zn$	$_{32}Ga$	$_{32}Ge$	$_{33}As$	$_{34}Se$	$_{36}Br$	$_{36}Kr$
$_{37}Rb$	$_{38}Sr$	$_{39}Y$	$_{40}Zr$	$_{41}Nb$	$_{42}Mo$	$_{43}Tc$	$_{44}Ru$	$_{45}Rh$	$_{46}Pd$	$_{47}Ag$	$_{48}Cd$	$_{49}In$	$_{50}Sn$	$_{51}Sb$	$_{52}Te$	$_{53}I$	$_{54}Xe$
$_{55}Cs$	$_{56}Ba$	57-71	$_{72}Hf$	$_{73}Ta$	$_{74}W$	$_{75}Re$	$_{76}Os$	$_{77}Ir$	$_{78}Pt$	$_{79}Au$	$_{80}Hg$	$_{81}Tl$	$_{82}Pb$	$_{83}Bi$	$_{84}Po$	$_{85}At$	$_{86}Rn$
$_{87}Fr$	$_{88}Ra$	89-103	$_{104}Db$	$_{105}Jo$	$_{106}Rf$	$_{107}Bh$	$_{108}Hn$	$_{109}Mt$	110	111							
		$_{57}La$	$_{58}Ce$	$_{59}Pr$	$_{60}Nd$	$_{61}Pm$	$_{62}Sm$	$_{63}Eu$	$_{64}Gd$	$_{65}Tb$	$_{66}Dy$	$_{67}Ho$	$_{68}Er$	$_{69}Tm$	$_{70}Yb$	$_{71}Lu$	
		$_{89}Ac$	$_{90}Th$	$_{91}Pa$	$_{92}U$	$_{93}Np$	$_{94}Pu$	$_{95}Am$	$_{96}Cm$	$_{97}Bk$	$_{98}Cf$	$_{99}Es$	$_{100}Fm$	$_{101}Md$	$_{102}No$	$_{108}Lr$	

3. **Mikro besinler (iz elementler):** En azından bazı organizmalar için çok az oranda gereksinim duyulan besinler olup, yeşil bitkiler tarafından kullanılan bor, bazı enzimlerde kullanılan bakır ve azot bakterileri tarafından kullanılan mobilden gibi iz elementlerdir.

Çoğu zaman biyojeokimyasal döngülerde yer alan kimyasal elementler (Çizelge 1), yaşam için yararlı ya da zararlı olabilir. Örneğin; selenyum ve arsenik toksik metallerdir.

- Bazı kimyasal elementler çok hızlı dönüşür ve biyolojik faaliyetler için hazır hale gelir. Oksijen ve azot bunlar arasındadır. Diğerleri ise daha durağan formlar olup, dönüşümleri jeolojik süreçler boyunca yavaş olur. Fosfor da yavaş işleyen bir döngüde yer alır.
- Atmosferdeki biyojeokimyasal döngülerde elementlerin alıkonma süreleri sınırlı olup, elementler çok hızlı işleyen bir döngüye eğilimlidir. Fakat fosfor, atmosferik evrede yer almadan taşınarak derin okyanus çökellerine katılır ve döngüye yeniden girmesi oldukça yavaştır.
- Yaşam evrim geçirdikçe yeryüzündeki biyota hava, su ve toprak arasında özellikle O_2 ve C döngüleri ile büyük ölçüde değişime uğrar. Bu döngüler, gezegenimizin fiziksel değişimini etkilemektedir.
- Döngüleri denetleyen süreçlerin devam etmesi yeryüzündeki yaşamın uzun süre devam etmesinin de özüdür.
- Çağdaş teknolojilerin üretimi sürecinde doğal biyolojik döngülere göre hava, su ve toprak arasında oksijen, kükürt ve karbon gibi kimyasal elementlerin akışı daha fazla olmaktadır. Bu faaliyetler, toplum için yararlı olsa bile büyük tehlikeler de oluştururlar. Çevredeki yaşam, bu faaliyetlerden olumlu ya da olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Dolayısıyla teknolojilerden ileri gelen tehlikeler de vurgulanmalıdır.

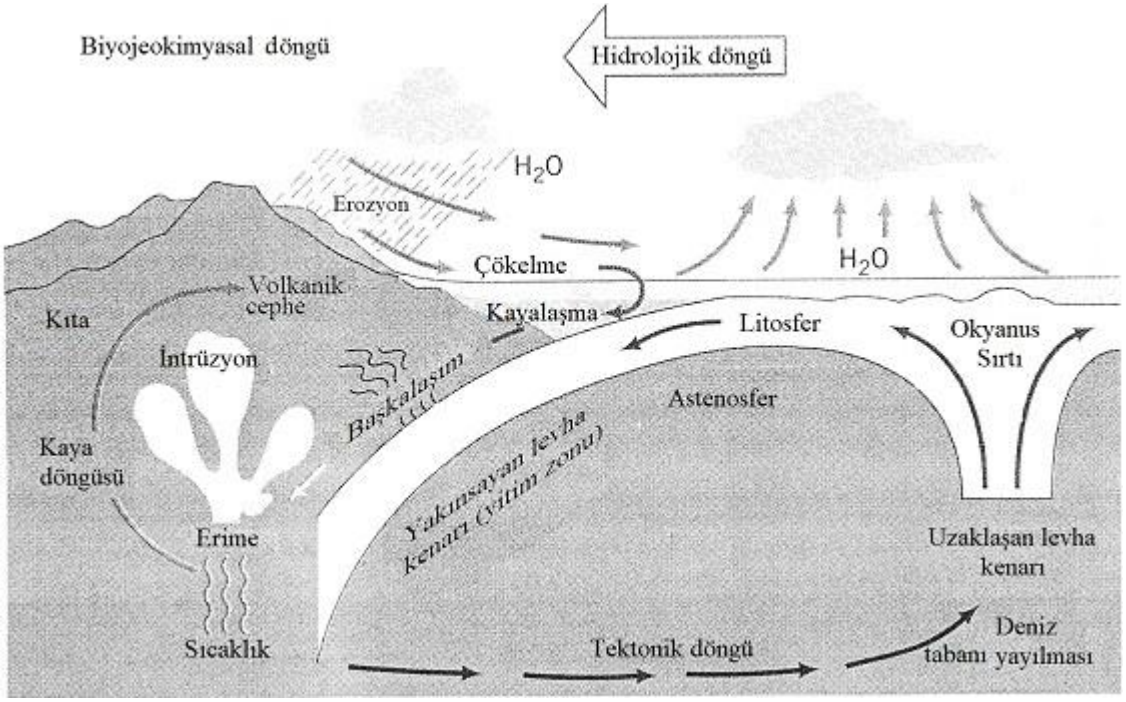
Biyojeokimyasal döngüleri anlamak için, önce jeolojik döngüler (tektonik, hidrolojik ve kaya döngüleri), daha sonra ise karbon, karbon-silikat, azot, fosfor ve kükürt döngüleri sunulacaktır.

TEMEL JEOLOJİK DÖNGÜ

4,6 milyar yıllık Dünya'nın jeolojik tarihi boyunca yeryüzüne yakın gereçler sürekli olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerle oluşmuş yada yok olmuştur. Yerin oluşumu ve bozunması için sorumlu olan tüm süreçler, topluca **temel jeolojik döngü** olarak tanımlanır (Şekil 2). Bu döngüye ilişkin temel bilgiler, Levha Tektoniği bölümünde sunulmuştur. Temel jeolojik döngü genel olarak aşağıdaki alt döngülerden oluşur:

- Tektonik döngü
- Hidrolojik döngü
- Kaya döngüsü
- Biyojeokimyasal döngü

Dolayısıyla temel jeolojik döngünün anlaşılması, karmaşık çevremizi doğru bir biçimde değerlendirme açısından oldukça önemlidir. Bu da fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin anlaşılmasını sağlar. Yer'le ilgili süreçler ve özellikleri (kıtaların konumu, dağ dizilerinin yeri, su, toprak ve kayaların doğası) çevresel sorunların değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Yani, çevremizde gelişen arazi kullanımı, atık uzaklaştırma, besin zinciri ve biyolojik çeşitlilikle ilgili değerlendirmeler kolaylaşır. Kayaların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri öncelikle anlaşılmalıdır. Bu bilgiler, kirliliğin niteliğini, boyutlarını ve çevreye nasıl zarar verdiğine ilişkin sorunları anlamamıza katkı sağlar.



Şekil 2. Temel jeolojik döngü ve alt döngüleri: Tektonik, Kaya, Hidrolojik ve Biyojeokimyasal döngüler (Botkin ve Keller, 1995).

Tektonik döngü

Tektonik döngü, yerin üst manto kesimindeki tranveksiyon akımlarının güdümünde yer kabuğunun oluşumuna ve yok olmasına neden olan devinimi tanımlayan bir döngüdür. Yer, çeşitli levhalardan oluşur. Levhalar birbirine göre hareket halindedir. Levha tektoniği kuramına göre kıtalar levha sınırları boyunca hareket eder (2,15 cm/yıl). Zamanla kimi yerlerde okyanuslar açılır, kimi yerde okyanuslar kapanır. Kapanma sırasında kıta-kıta çarpışmaları gerçekleşir ve dağ kuşakları oluşur. Yer tarihi boyunca, kıtaların devinimi yaşamı büyük ölçüde etkilemiştir. Kıtaların milyonlarca yıllık sürede devinimi, yeni türlerin evrimine de yol açmıştır.

Levhalar arası sınırlar, jeolojik olarak aktif bölgelerdir. Çoğu volkanik faaliyetler ve depremler levha sınırları boyunca oluşur. Üç tür levha sınırı bilinmektedir: Birbirinden uzaklaşan ya da yakınsayan levha kenarları ve dönüşüm fayları.

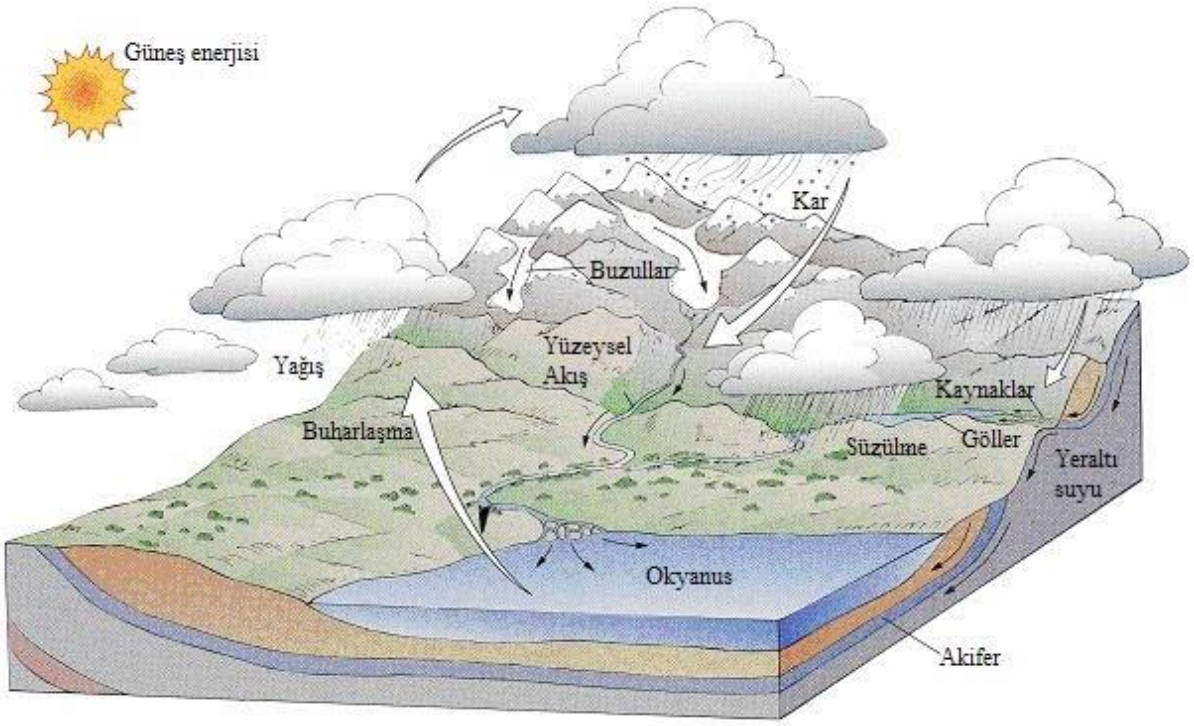
Uzaklaşan levha kenarı, yeni okyanusların oluştuğu deniz tabanı yayılması olarak bilinen süreçlerin geliştiği yeni litosferin oluştuğu ve levhaların birbirinden uzaklaştığı yerleri temsil ederler.

Yakınsayan levha kenarı (yitim zonu), levhaların birbirine doğru hareket ettiği, yani levhalardan birinin diğerinin altına daldığı yerlerde oluşur. Yakınsamanın son evresinde, Güney Amerika'daki And Dağları ve Güney Avrupa'daki Himalayalar ve Asya'daki Alp Dağları gibi çizgisel dağ sistemleri oluşur.

Dönüşüm fayı sınırları, levhaların birbirine göre yanal devindiği yerleri temsil eder. Bu tür bir sınıra en iyi örnek Kaliforniya'daki San Andreas Dönüşüm Fayı'dır. Bu fay, Kuzey Amerika ile Pasifik Levhası'nın arasında yer alır. Pasifik Levhası kuzeye, Kuzey Amerika Levhası ise fay boyunca güneye doğru hareket eder. Bu devinim yılda yaklaşık 5 cm'dir. Buna göre, San Fransisco, San Fransisco'nun 500 km kadar güneyinde olan Los Angeles şehrine doğru hareket ediyor. Eğer bu devinim devam ederse iki şehir 10 milyon yıl sonra karşı karşıya gelir.

Hidrolojik döngü

Bu döngü, okyanuslardaki suyun güneş enerjisi ile buharlaşması ve buharlaşan suların tekrar yüzey ve yeraltı sularına dönüşü ile temsil edilen bir döngüdür. Hidrolojik döngü sayesinde yaklaşık tüm su kaynakları yenilenmektedir (Şekil 3). Toplam suyun yaklaşık % 97'si okyanuslarda yer almakta, %1'i ise atmosferde su buharı halindedir (Çizelge 2). Bununla beraber hidrolojik döngünün tatlı su evresi yerin atmosferine bağlıdır.



Şekil 3. Hidrolojik döngü (Davidson ve diğerleri, 1997).

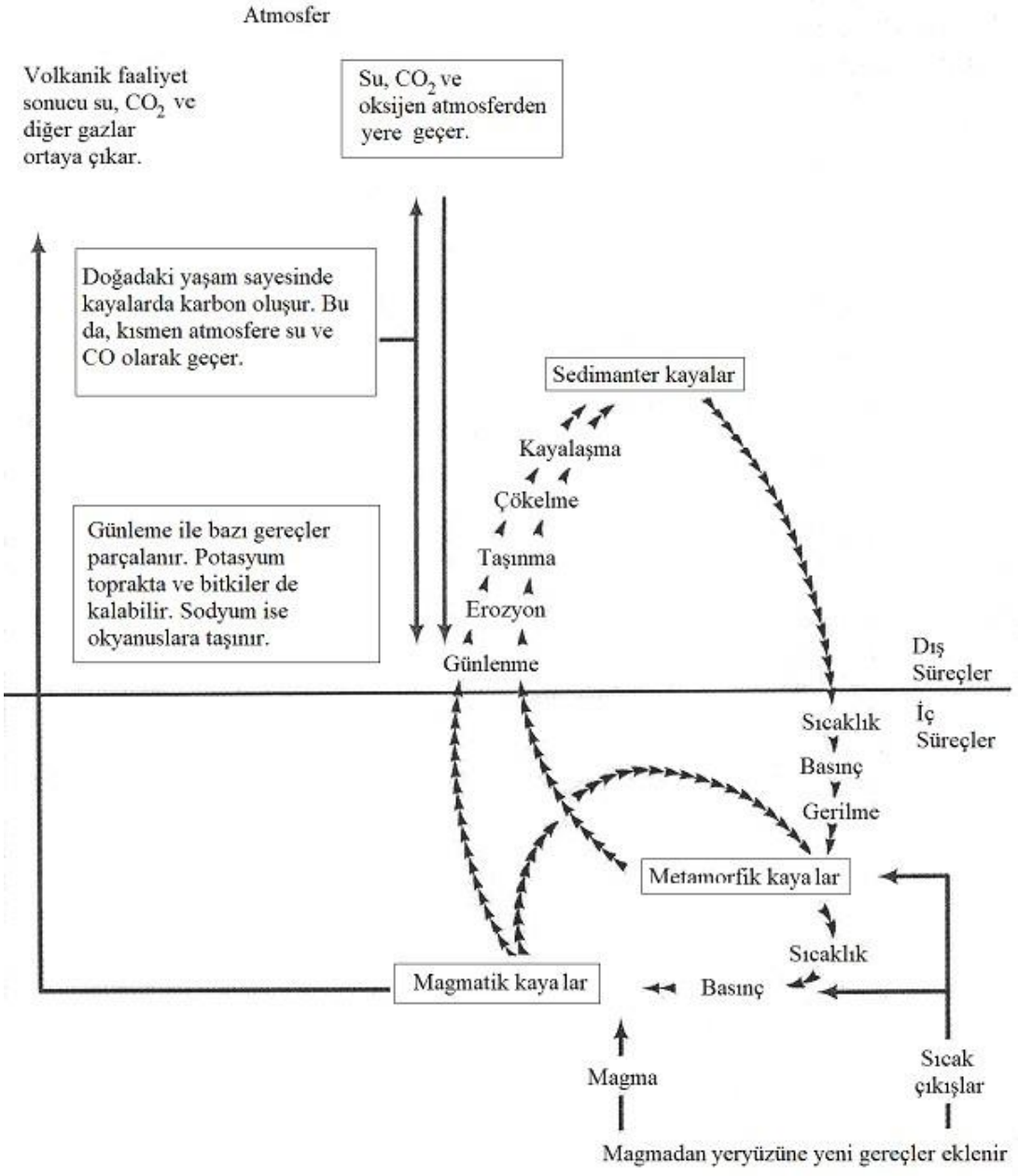
Çizelge 2. Dünya'nın su dağılımı (US Geological Survey'in verilerine göre).

Yer	Su hacmi (m^3)	Toplam suyun yüzdesi
Okyanuslar	1 230 000 000	97.2
Atmosfer	12 700	0.001
Akarsular	1 200	0.0001
Yeraltı suyu (sığ derinliğe kadar)	4 000 000	0.31
Havzalar (tatlı su)	123 000	0.009
Buz sapkaları ve buzullar	28 600 000	2.15

Hidrolojik döngüdeki suyun küçük bir bölümü aktiftir. Bu da su kaynaklarımızın sağlanmasında kayaların taşınması ve çökelmesinde yeryüzündeki derelerin aşınmasında ve kimi elementlerin akışında çok önemli rol oynar. Hidrolojik döngüyü irdeleyip, su kaynaklarının kullanımına ve daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmak mümkündür.

Kaya döngüsü

Kaya döngüsü, kayaları ve toprağı oluşturan süreçleri içermektedir. Bu döngü bir yönüyle tektonik döngü ve hidrolojik döngüye bağlı olarak çalışır. Şekil 4'te görüldüğü gibi 3 tür kaya vardır. Bunlar magmatik, çökel ve metamorfik kayalardır. Bu kayalar çeşitli süreçlerle birbirine dönüşürler. Tektonik döngü, kaya döngüsünü tetikler. Bu döngü sonucu magmatik kayaların ergimiş magmadan yeryüzüne yanardağlar aracılığıyla çıkması ya da yerin derinliklerine gömülerek magmaya dönüşmesi mümkündür. Yeryüzündeki kayalar ise fiziksel olarak parçalanır ve taşınabilir. Çökel kayaların parçalanma, donma ve çözünme olayları ile meydana gelir. Ayrıca kırıntılar, CO_2, organik gereç ve suyun varlığı halinde genel olarak çözünüp taşınır. Tüm kırıntılı kayalar, rüzgâr, su ve buzullar aracılığıyla taşınabilir.



Şekil 4. Doğadaki yaşam ile Yer ve atmosfer arasında çeşitli gereçlerin akışına ilişkin süreçler ve kaya döngüsü (Birchfiel ve diğerleri, 1982).

Çökeller ve kimyasal maddeler okyanusal havzalarda birikir. Böylece çökel kayalar oluşur. Bu çökeller, yeteri kadar derinliğe (genel olarak 10-100 km) gömüldüğünde, sıcaklık ve basınç altında değişime uğrar ve metamorfik kayalar oluşur. Metamorfik kayalar da tekrar ergir ve magmatik kayalara dönüşebilir. Bu döngünün ayrıntıları Şekil 5'te sunulmuştur. Kaya döngüsünde karbonun devreye girmesi sonucunda çoğu $CaCO_3$'tan oluşan kireçtaşı biyolojik olarak da oluşur. Biyolojik oluşum, petrol ve doğalgaz gibi kaynakları oluşturur.

Kaya ve minerallerin dönüşümü, kaya döngüsünde son derece önemlidir. Bu döngü, daha çok kayalardan yararlanma açısından önemlidir. Örneğin kireçtaşıyla evlerimizi, yollarımızı ve diğer yapıları inşa edebiliriz. Ayrıca yaşam, kayaların özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Kaya döngüsü, kimi kaynakların kullanımını da yönlendirebilir.

KİMYASAL YA DA EKOLOJİK DÖNGÜLER

Temel jeolojik döngüyü ve özellikle biyojeokimyasal döngüyü yönlendiren süreçlerin güdümünde çeşitli elementlerin ya da kimi elementlerin oluşturduğu bileşiklerin de yer aldığı döngüler sürmektedir. Bunların başında karbon, karbonat-silikat, azot ve fosfor döngüleri gelir. Genel olarak kimyasal ya da ekolojik döngüler olarak adlandırılan bu döngüler, biyojeokimyasal döngü ile iç içe gelişmektedir.

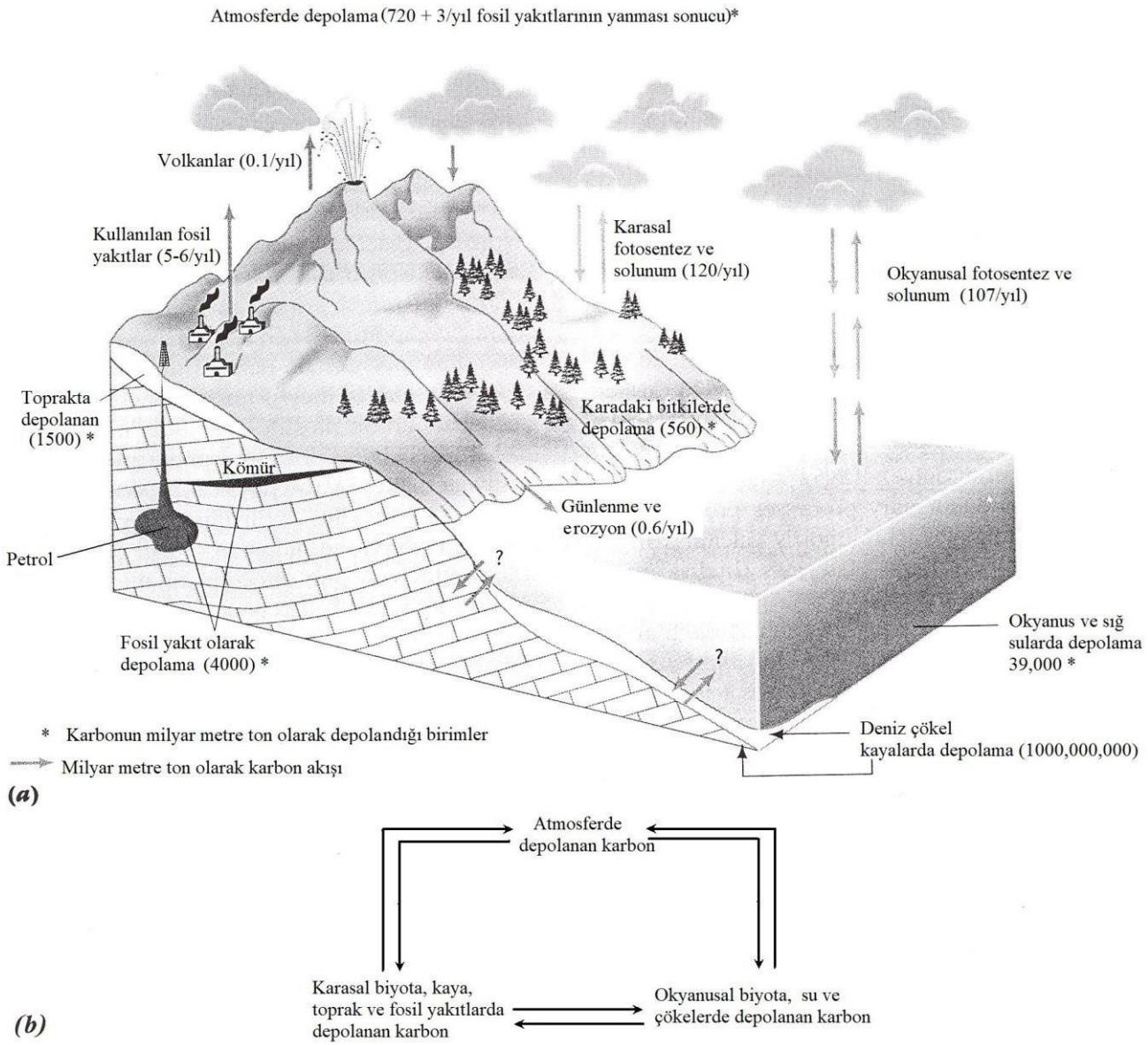
Karbon döngüsü

Karbon canlı dokuları oluşturan başlıca elementlerden biridir. Yaşam büyük organik moleküllerin varlığına bağlıdır. Büyük organik moleküllerin yapısında ise karbon mutlaka bulunur. Karbon, kömürden petrole ve kromozomların genetik süreçlerinde önemli rol oynayan DNA'ya (Deoksiribonükleikasit) kadar tüm organik gereçlerin yapısında bulunur. Organik karbon terimi, canlılar tarafından oluşturulan ve canlıların bünyesinde bulunan karbonu temsil etmektedir. Organik yaşamda karbonun önemi yeteri kadar vurgulanmamıştır. Oysa karbon, organik çevrenin temel çerçevesini oluşturur.

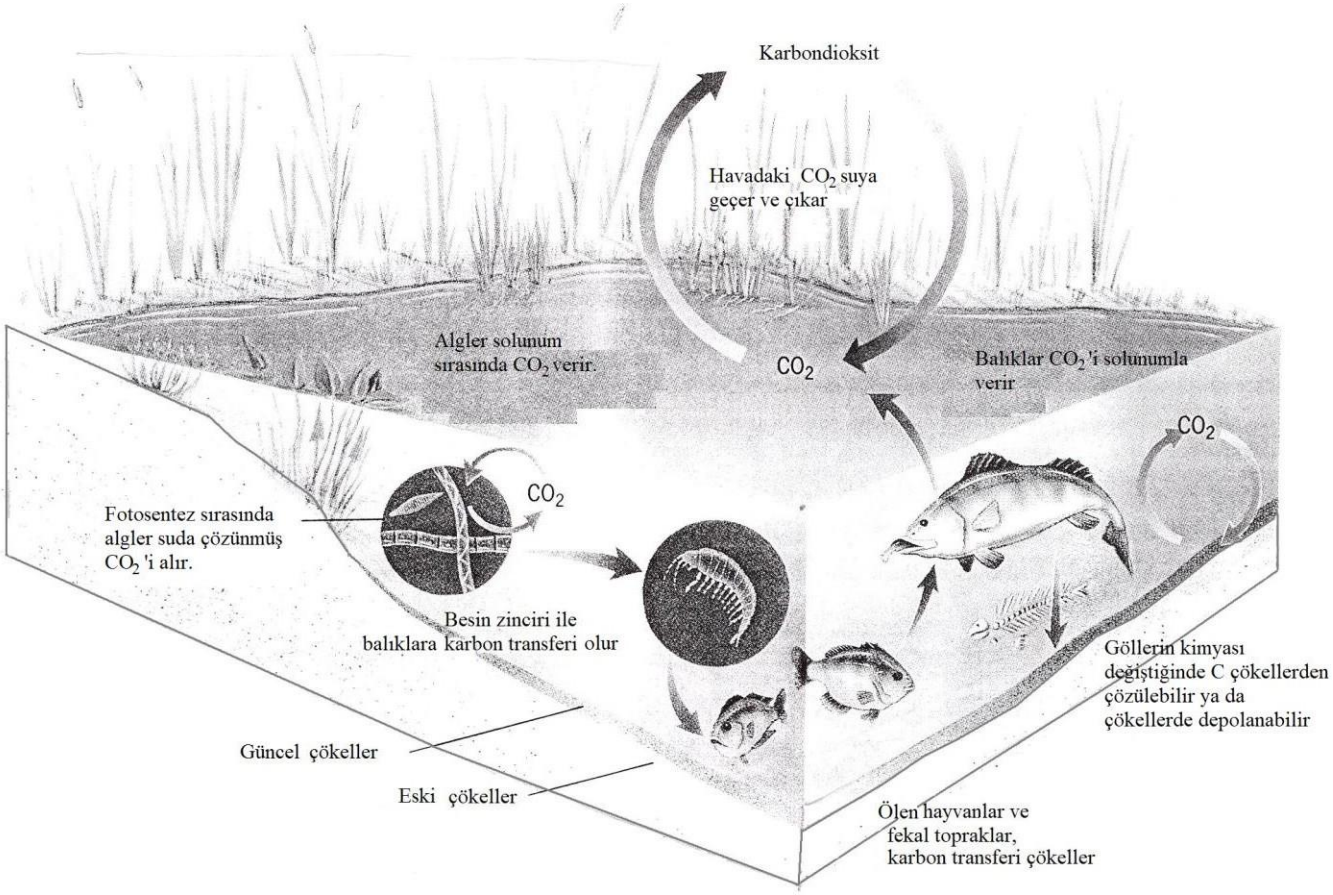
Saf karbon, grafit, elmas ve çeşitli büyük moleküllerde (C-60) inorganik gereç olarak bulunur. C molekülleri biçim açısından bir futbol topuna benzer. Bunlar biyomühendislik ve biyotıpta önemli yer tutan atomları taşıyabilmektedir.

Karbon (ağırlık yönüyle) % 0,032 oranında yer kabuğunda bulunur. Dolayısıyla yer kabuğunda bol olan elementlerden biri değildir. Genel olarak diğer elementlerle kıyaslandığında 14. sırada bulunur. Örneğin O_2 % 45,2, S % 29,5, Al % 8, Fe % 5,8, Ca % 5,19 ve Mg % 2,8 oranında yer kabuğunda bulunmaktadır. Karbon kimyasal ve biyolojik olarak O_2 ve hidrojen döngüleri ile birlikte çalışır ve bunlarla birlikte yaşam için gerekli olan bileşikleri meydana getirir. C, H ve O_2'ni içeren biyokimyasal döngüler, C döngüsü olarak tanımlanmaktadır. Karbon döngüsünün gaz fazı Şekil 5'te görülmektedir.

Karbon, atmosferde genel olarak CO_2 ile temsil edilir ve daha az oranda da metanın (CH_4) bileşiminde yer alır. Karbon döngüsünün bazı bölümleri biyolojik faaliyetlere bağlı değildir yani inorganiktir. CO_2 suda çözülebilir. Dolayısıyla fiziksel süreçlerle (yayılma-difüzyon) okyanuslarla ve tatlı sularla atmosfer arasında değişime uğramaktadır (Şekil 6).



Şekil 5. (a) Genelleştirilmiş karbon döngüsü, (b) Karbonun deviniminin döngüsel yapısı (Lambert, 1987'den kısmen değiştirilerek).



Şekil 6. İdealleştirilmiş karbon döngüsü diyagramı (Botkin ve Keller, 1995).

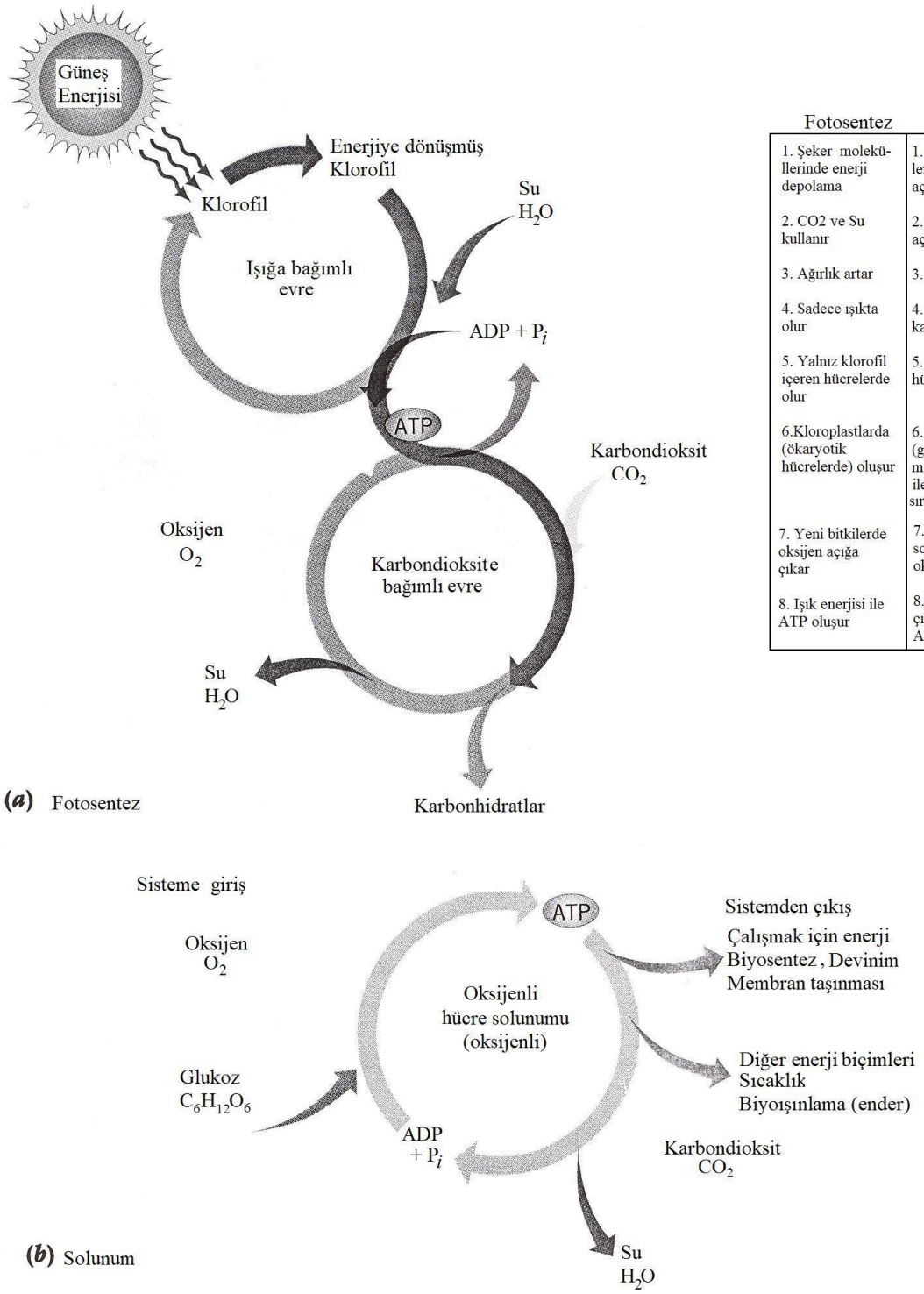
Dış enerji ile ya da canlı sistemlerinin yetersizliği nedeniyle CO_2 gazının yayılması iki doğrultuda hareket halindedir. Atmosferdeki CO_2 ile çözünmüş olan CO_2 arasında bir denge vardır. CO_2 su içinde çözündüğünde (yağmur suyu gibi suda) H_2CO_3 oluşur. Bu da yer yüzeyine yakın kayalarda günlenme açısından önemlidir.

Fotosentez ve solunum süreçlerinin şematik görünümü Şekil 7'de görülmektedir. CO_2 biyolojik döngülere ***fotosentez*** yoluyla girer. Güneş enerjisini kullanan canlı organizmalar yoluyla CO_2 ve şekerlerin sentezi gerçekleşir. Böylece C, H ve O_2 hep birlikte organik bileşikleri oluştururlar. Bu sürecin kimyasal yazılımı aşağıdadır:

$$6CO_2 + 6H_2O _____ C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Alınan CO_2 oranı, fotosentez yapan bitkilerin sayısına ve büyümesine bağlı olarak artar. Bu da atmosferde CO_2 derişiminin artmasına yol açar. Canlı dokulardaki karbonun çoğu ağaçsı bitkilerde depolanmaktadır.

Yaşayan hayvanlar ve insan ***solunum*** yoluyla karbonu, yani CO_2'i atmosfere bırakır. Organik bileşikler ise ayrışarak gaz halindeki CO_2'i meydana getirirler.



Fotosentez	Solunum
1. Şeker moleküllerinde enerji depolama	1. Şeker moleküllerinden enerji açığa çıkar
2. CO2 ve Su kullanır	2. CO2 ve Su açığa çıkar
3. Ağırlık artar	3. Ağırlık azalır
4. Sadece ışıkta olur	4. Işıkta ve karanlıkta olur
5. Yalnız klorofil içeren hücrelerde olur	5. Tüm hücrelerde olur
6.Kloroplastlarda (ökaryotik hücrelerde) oluşur	6. Stoplazma (glikoz) ve mitokondria (hava ile solunum) sırasında oluşur.
7. Yeni bitkilerde oksijen açığa çıkar	7. Hava ile solunumda oksijen kullanılır.
8. Işık enerjisi ile ATP oluşur	8. Şekerden açığa çıkan enerji ile ATP oluşur

Şekil 7. (a) Fotosentez ve (b) Solunum süreçlerinin şematik görünümü. ADP ve ATP bileşikleri, hücre metabolizması ve enerji depolama için gereklidirler (Saigo ve Saigo, 1983).

Örneğin, hayvanlar ve insanlar solunum yapar. Alınan hava ciğerlerden geçtikten sonra kana geçer ve gene solunum yoluyla CO_2'i geri verir. Dolayısıyla CO_2 atmosfere tekrar geri döner. Canlı dokular öldüğünde organik maddenin bir bölümü önce toprağa ve daha sonra taşınarak derin deniz çökellerine katılır. Diğer organik maddeler bakteri, mantar ve diğer organizmalar tarafından kullanılır. Böylece karbon atmosfere metan (CH_4) ve CO_2 olarak geri döner.

Karadaki organik gereçler, okyanuslara jeolojik süreçler yoluyla taşınır. Taşınma da akarsuların ve rüzgârın önemli rolü vardır. Organik gereçlerin bazıları depolanır ve sonunda kayalara dönüşür. Böylece karbon kaya döngüsüne katılır. Kaya döngüsünde karbonun alıkonma süresi yüzlerce yıl sürebilir.

Öz olarak, karbon karada ve okyanuslarda fotosentez yoluyla güneş ışığının da yardımıyla bitkiler tarafından özümsenir. Yaşayan canlılar karbonu bünyesine aldıktan sonra kendi özelinde DNA'ya dönüştürür. Organizma öldüğünde karbonun çoğu oksitlenir ve diğer organizmalar tarafından kullanılır. Böylece karbon döngüsü de tamamlanır. Karbonun bir bölümü de jeolojik zamanlar boyunca hidrokarbonlara dönüşür. Kömür ve petrol yataklarını meydana getirir.

Önemli oranda üretime uygun yerler, özellikle karbonun da depolandığı ve kömür kaynaklarının çökeldiği bataklıklardır. Organik gereçler (bitkiler) katmanlar arasında değişime uğrayarak kömüre dönüşür. Bu gibi yerler, 290-360 milyon yıl evvel yani Karbonifer döneminde çok boldu. Günümüzde kömürü çıkarıp yaktığımızda bir zamanlar dinozorların DNA'sında CO_2 biçiminde bulunan karbon ortaya çıkar. Günümüzde bu karbon kalın bağırsaklarımızdaki bir hücrede glikojen olarak işlem görür.

Yeryüzünde (litosferde) depolanan tüm karbon, özellikle karbonat olarak çökel kayalarda bulunur (Şekil 5). Denizel organizmaların kabukları organizmaların deniz suyundan sağladığı $CaCO_3$'tan oluşur. Organizmalar öldüğünde kabuk çözünüp denizel çökellere katılır. Sonunda, kaya döngüsünde çökel bir kaya oluşur. Bu süreç, milyonlarca yılı boyunca Yer'in ilk atmosferindeki CO_2'i uzaklaştırmış ve tektonik döngünün yardımıyla kayalarda depolamıştır.

Karbon döngüsünde ikinci büyük rezervuar okyanuslardır. Okyanuslarda yer alan çökellerdeki karbon ve çözünmüş karbon oranı, atmosferdeki oranının yaklaşık 55 katıdır. Karada bulunan karbon miktarı atmosferdeki miktarın iki katıdır. Karalardaki bitkilerde bulunan karbon ise yaklaşık atmosferdekine eşittir. CO_2'nun ortalama alıkonma süresi toprakta yaklaşık 20-30 yılıdır. Atmosferde 3 yıl, okyanuslarda ise 1500 yıldır (Botkin ve Keller,1995).

Atmosfer ile kara bitkileri arsındaki CO_2 döngüsü büyük bir akışı temsil eder. Bu da yaklaşık olarak atmosferdeki yıllık olarak fotosentez ve solunum ile alınan toplam karbon miktarının % 15'idir (Şekil 5). Gerçekten de bitkilerin solunum yoluyla ve kömür ile petrolün yakılması sonucu atmosfere verilen tüm karbon miktarını hesap etmek oldukça güçtür. Şekil 6'da fosil yakıtların yılda atmosfere 5-6 birim karbon bıraktığı ve ancak bunun 3 biriminin ölçülebildiği görülmektedir.

Şu anda 2-3 birim C'nun nereye gittiği tartışılmaktadır. Bu konuda çalışan bazı uzmanların görüşüne göre karbonun çoğunun okyanusal sistemlere katıldığı yönündedir. Karbon bütçesinin değerlendirilmesi ile ilgili bilgi yetersizliği denizel, karasal ve atmosferik süreçler ile ilgili bilgi eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Yer süreçleri küresel çevredeki karbon depolanmasını, transferini çeşitli havzalardaki toplam karbon ölçümünü güçleştirmektedir. Karbon döngüsü, incelenmesi gereken önemli bir alandır. Çünkü karbon küresel ısınmada ve küresel iklim araştırmalarında önemli bir unsurdur. Bu konunun daha iyi anlaşılması için karbon-silikat döngüsüyle şekillenen karbon ile tektonik döngüler arasındaki etkileşimlerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekir.

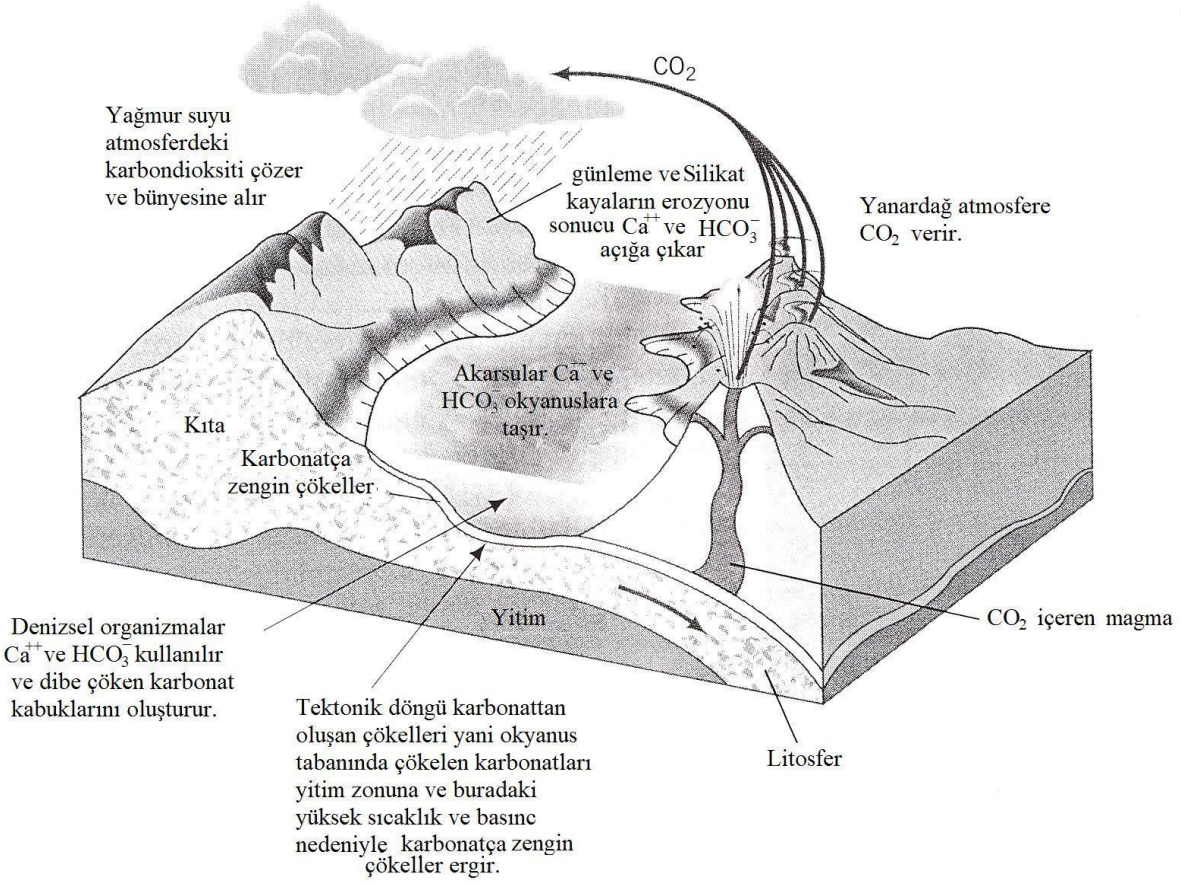
Karbonat-silikat döngüsü

Karbonat-silikat döngüsü çevre açısından önemli olan karmaşık biyojeokimyasal döngülerden biridir. Bu döngü, katı yer kabuğu ile atmosfer arasında gelişen CO_2'in yaklaşık % 80'inin işleme girdiği bir döngüdür. Bunun jeolojik önemi, yarım milyar yıllık bir zaman aralığındaki sürekliliğinden kaynaklanır.

Şekil 8'da genelleştirilmiş bir karbonat-silikat döngüsü görülmektedir. Döngü sol üst köşede atmosferdeki CO_2'in yağmur sularında çözülmesi ile başlar. Bu çözülmede zayıf bir asit olan karbonik asitin (H_2CO_3) oluşumuna yol açar. Zayıf olan bu asit çözelti yeraltı ve yerüstü su sistemlerine göç ederek silikatça zengin kayaların erozyonuna ve günlenmesine neden olmaktadır. Silikat mineralleri yer kabuğundaki kaya oluşturan minerallerin en yaygın olanlarıdır.

Diğer ürünler arasında günlenme ve erozyonun sonucunda Ca^{++} ve HCO_3 iyonlarının serbest kalıp yeraltı ve yüzey suları aracılığıyla okyanuslara kadar ulaşır. Ca^{++} ve HCO_3 iyonları akarsularda çözünmüş olan ve denize ulaşan gereçlerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır.

Günlenme, erozyon, çökel kayaların oluşumu, tektonik süreçler sonucu meydana gelen yükselme ile birlikte yeryüzünde oldukça değişken bir topografya oluşturur. Arizona'daki Colorado Irmağı'nın büyük kanyonu, çökel kayaların büyük ölçüde oyulması sonucu ortaya çıkmış görkemli bir yapıdır. Çin'deki olağanüstü güzel kule tipi karstik yapı da kireçtaşı ile kireçtaşının etrafındaki kayaların günlenme ve erozyon farkından ortaya çıkmış bir yapıdır.



Şekil 8. Karbonat-silikat döngüsü (Kasting ve diğerleri, 1988'den kısmen değiştirilerek).

Okyanuslardaki küçük yüzen denizel organizmalar, Ca ve HCO_3 kullanıp, sonuç olarak karbonatik kabuklarını geliştirirler. Planktonik organizmalar öldüğünde kabukları denizin dibine çökelir ve karbonatça zengin çökelleri oluştururlar. Karbonatça zengin çökeller daha sonra küresel tektonik döngünün bir parçası olarak, sıcaklık ve basıncın yüksek olduğu yitim zonlarında değişime uğrarlar. Bu magmanın oluşumu, CO_2'in volkanlar aracılığıyla yüzeye ve atmosfere çıkmasını sağlar. Atmosferden tekrar karbonat-silikatlar yağmur sularına ve sonuçta tekrar döngüye katılırlar.

Karbonat-silikat döngüsünün atmosferdeki sıcaklığı denetleyen negatif geri bildirim mekanizmalarını harekete geçirdiğine inanılmaktadır. Örneğin, eğer iklimsel bir değişim okyanusların yüzeyindeki sıcaklığı arttırmaya neden oluyorsa, bu da suyun atmosfere doğru buharlaşma oranını artırır. Böylece yağış miktarı artar. Yağış artarken silikatça zengin kayaların erozyonu ve günlenme miktarı artar. Böylece Ca ve HCO_3'ların denize doğru akışı da artar. Denizel organizmalar da deniz suyundaki Ca ve HCO_3'ı kullanır. Organizmalar öldüğünde denizel çökellerle birlikte depolanır. Bu faaliyetlerin sonucunda atmosferik ortamdaki CO_2 döngüsü tamamlanır. Sonuç olarak, yer yüzeyindeki enerji denetlenir ve atmosfer soğur. Bu da negatif geri bildirimin son halkasını tamamlar.

Azot döngüsü

Çevresel sorunlara yol açan önemli ve karmaşık döngülerden biridir. Önemli makro besinlerden biri olan azot tüm canlıların yapısında, özellikle proteinlerin ve aminoasitlerin bileşiminde bulunan önemli bir elementtir. Azot atmosferde moleküler bir formda (N_2), amonyak (NH_3) halinde ya da azot oksitlerin bileşiminde yer alır. Başka bir deyişle atmosferdeki azot, moleküler azot (N_2), oksitlenmiş azot (N_2O, NO ve NO_2) ve hidrojen-azot bileşikleri (NH, NH_3, HNO_3, HNO_2) biçimde yer alır.

Hidrojen, oksijen ve karbonun tersine azot küçük inorganik bileşiklerde bulunur ve daha az aktiftir. Çoğu organizmalar moleküler azotu doğrudan kullanamaz. Çünkü iki azot atomunu birleştiren bağı koparmak için çok büyük bir enerjiye gereksinim vardır. Azot atomları birbirinden ayrıldıktan sonra amonyak, nitrat iyonları ya da aminoasitlere katılabilirler. Bu süreç, ***azotun bağlanması*** olarak tanımlanır. Azotun bağlanması ile ilgili iki temel süreç vardır:

- Yıldırım düşmesi
- Yaşam

Ancak azotun bağlanmasında biyolojik etkinlikler önemlidir.

Azot döngüsü Şekil 9'da görülmektedir. Bitkilerin moleküler azotu amonyak ya da nitrat ve nitrat gibi diğer azot bileşiklerine dönüştürmesi birkaç şekilde olmaktadır. Örneğin siyanobakteria prokaryotların bir üyesi olup, hücrenin çekirdeğini çevreleyen örtüde ilksel olarak meydana gelir. Bu nedenle azotun diğer bitkilere ve ilksel organizmalara aktarımında önemli rolü vardır.

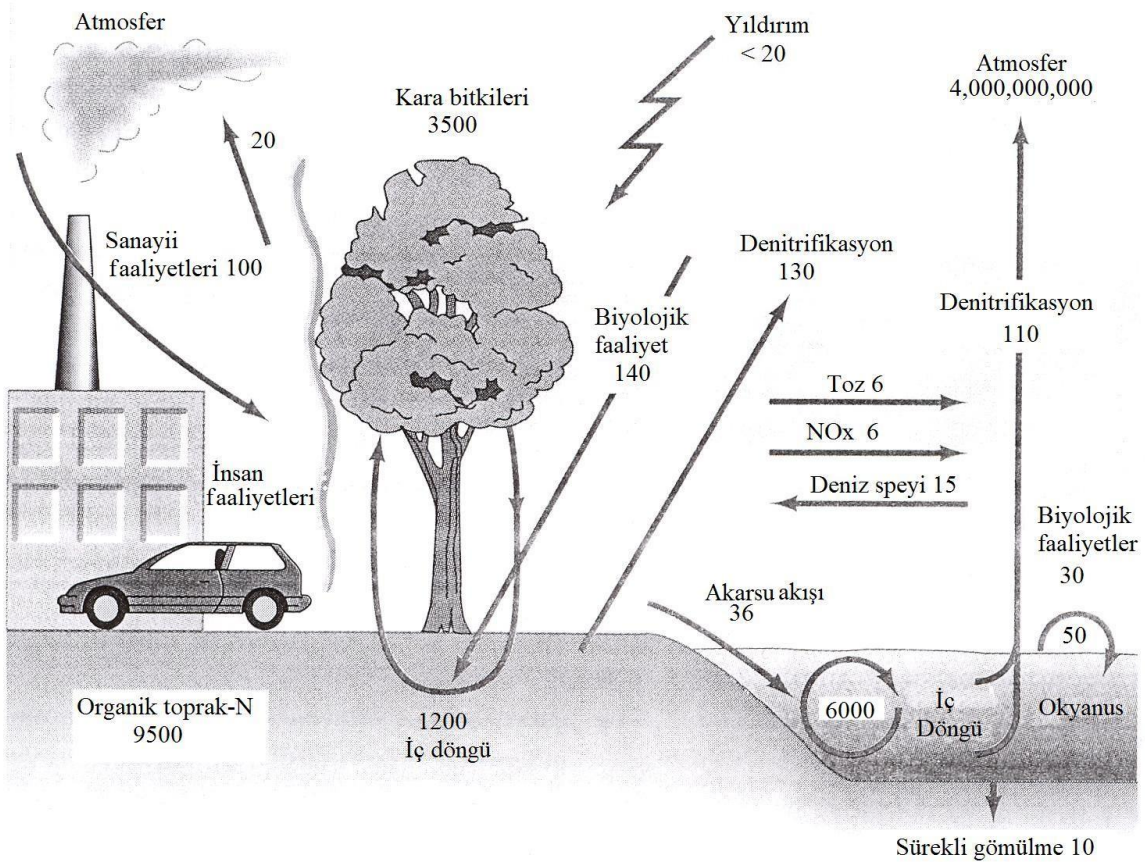
Ökaryotlar, başlıca kızılağaç, yonca, çeşitli çiçekli bitkiler ve özellikle baklagiller ailesini kapsar. Bu bitkilerin köklerindeki yumrular azot bağlayan bakterileri destekler ve azotun amonyağa katılmasını sağlar. Akasya ağaçları, Afrika'da oldukça önemli olup, bazı ***sembiyotik ilişkileri*** oluştururlar. Bu ağaçlar, ayrıca çevredeki bakterilerin gelişmesine ve karbonat hidratların oluşmasına katkı sağlarlar.

Ürünlerde, azotun azlığı tarım topraklarında yetişen bitkilerin gelişmesini etkiler. Örneğin, azotu bağlayan soya fasulyesi mısırla dönüşümlü olarak ekilebilir. Çünkü soya fasulyesi mısır için gerekli olan azotu toprağa verir. Mısır gibi ürünler için toprakta azotun varlığı önemlidir. Azotlu topraklar, halkın gıda konusundaki gereksinimlerinin karşılanmasına katkıda bulunur. Sonuç olarak, soya fasulyesindeki azot bağlayan bakterilerin desteklenmesi ve bunların genlerinin mısıra aktarımı konusunda pek çok biyoteknik araştırmalar vardır. Genetik mühendisliğinin bir kolu olarak gelişen ve bir organizmadan alınan genlerin diğer bir organizmaya aktarılması ile ilgili teknolojik çalışmalar devam etmektedir.

Azotu bağlı olan bakteriler de inek, geyik, zürafa ve geviş getiren memeliler gibi hayvanların midelerinde ***sembiyoz*** (ortak yaşam) alanları bulmaktadır. Bakteriler, geviş getiren hayvanların azot gereksinimlerini karşılarlar. Bu da yeşil bitkilerde proteinlerin oluşmasını sağlar. Geviş getiren hayvanlar da bakteriler için gıda sağlarlar.

Amonyak (NH_3) bakterilerin ayrışmasıyla atmosfere ulaşır. Amonyak suda çözülebilir ve böylece amonyum sülfat ve amonyum nitrat tuzları şeklinde okyanuslara ulaşır.

Eğer bakteri sadece azotu bağlarsa moleküler azot atmosferden oldukça yavaş bir süreçle uzaklaştırılacaktır. Fakat bakteriler ***denitrifikasyon*** yoluyla bağlı azotun moleküler azot halinde tekrar atmosfere ulaşmasını sağlarlar. Buna göre azotun atmosfere katılması ya da uzaklaştırılması bakteri faaliyetleri tarafından denetlenmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Genel azot döngüsü. Azotun yıllık akış miktarı, 10^{12} gr N_2'un katları olarak sayılarla gösterilmiştir. Sanayide bağlanan azotun, doğal ve biyolojik faaliyetlerle bağlanan azota yaklaşık eşit olduğuna dikkat edelim (Söderlund ve Rosswall, 1982).

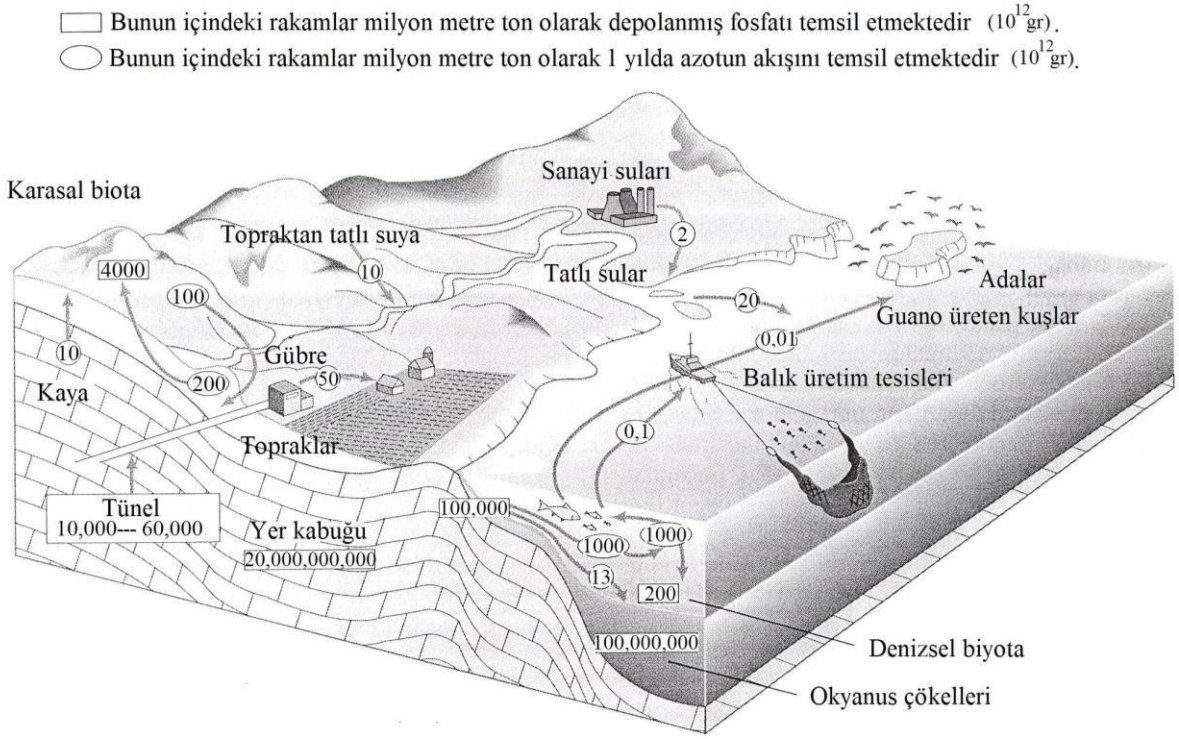
Azotun okyanuslarda bağlanması mavi bakteriler yardımıyla olmaktadır. Azotun okyanuslardaki büyük bir bölümü (% 95'i) çözünmüş iki atomlu azot (N_2) biçimindedir. Bu da çoğu denizel organizmalar tarafından kullanılmamaktadır. Bağlı azot (atomik azot) okyanuslardaki üretimde önemli bir besindir. Yani bağlı azot az oranda olup, bunun üretime katılması sınırlıdır. Bağlı azotun okyanuslardaki diğer önemli kaynağı ise tatlı sulardaki akıntılardır. İnsan faaliyetleri kıtalardaki bağlı azotun akışının artmasında ve okyanuslara taşınmasında önemli rol oynar. Bağlı azotun insan faaliyetleriyle okyanuslara ulaşması toplam doğal akışa yaklaşık eşittir.

Azot, gaz evresinde bir hayli duyarlıdır. Ayrıca azot, yeraltı sularının kirlenmesinde ve tarımdaki gübrelerde de önemli bir bileşendir. Sadece doğal kaynaklardan gübre elde edilebileceği sanılıyordu. Ancak 20. Yy başında bilim adamları bağlı azotu da kullanarak yapay gübre elde etmeyi başardılar. Sanayide kullanılan yapay gübre daha çok bağlı azot kullanılarak üretilmektedir.

Azot oksitler, azot ve oksijenin olduğu yerde, yüksek sıcaklıktaki bir kimyasal reaksiyonla (yanma) oluşur. Azot oksitler araçlardaki eksozlardan çıkmaktadır. Bu da benzinin doğal havada yüksek sıcaklıkta yanması sonucu olmaktadır. N_2O gibi azot oksitler de stratosferdeki ozonun parçalanmasında önemli rol oynar ve güçlü sera etkisi gösteren bir gaz türüdür. Azot bileşikleri günümüz insanları için hem bir nimet hem de bir zehir gibidir. Ancak azot, yaşam için gereklidir. Azotun bazı bileşikleri, yakıt ve patlayıcı maddelerin yapımında da kullanılır.

Fosfor döngüsü

Fosfor yaşam için gerekli olan elementlerden biri olup, bitkilerin büyümesi (özellikle sığ göllerdeki bitkiler) için önemli bir besindir. Genel fosfor döngüsü Şekil 10'da görülmektedir. Bir ortamda, fosfor fazla olursa çevresel sorunlara neden olabilir. Örneğin, fosforun kent ya da tarımsal alanlarda ve bir gölde çok olması, bu ortamda fotosentez yapan alglerin ve bakterilerin aşırı oranda artışına neden olur. Bu durum, gölde yaşayan diğer bitkilerin güneş ışınlarını alamamasına ve sonuçta ölmesine sebep olur. Yüzeydeki ya da su altındaki algler öldüğünde diğer bitkiler tarafından kullanılır. Böylece göl suyundaki çözünmüş O_2 daha çok kullanılacağı için sudaki O_2 düzeyi azalır ve göldeki balıklar ölebilir. Ölü ve ayrışmış bakteriler ve balıklar, dalgalar aracılığıyla gölün kıyısına ulaşır. Aşırı besin girdisi ile göl ekosistemine zarar veren bu süreç ***ötrofikasyon*** olarak tanımlanır.



Şekil 10. Genel fosfor döngüsü. Fosfat toprağa ve kara biyotasına jeolojik süreçlerle katılır. Bu jeolojik süreçler de kayanın yükselmesi ve erozyona uğrayan kayalar, kuşların oluşturduğu guano gübresi ve insanların atıkları. Yerkabuğu büyük oranda fosfat içeriyorsa da geleneksel tekniklerle bunun büyük bir bölümü işletilmektedir. Fosfat bunun için değerli bir kaynaktır. Depolanan fosfatın miktarı ve çeşitli kaynaklardan akışı derlenmiştir. Rakamlar yaklaşık değerlerdir (Delwiche ve Likens, 1977).

Fosfor, tüm canlılar için önemli bir besin maddesidir. Çünkü tarımsal gübrenin önemli bir bileşenidir ve insanlar için son derece önemli olan fosfatın da ana kaynağıdır. Fosfor döngüsünün önemli bir gaz evresi yoktur. Çünkü fosfor atmosferde küçük partiküller halinde bulunur. Karbon döngüsünün tersine fosfor döngüsü yavaş ve genel olarak karalardan okyanuslara doğrudur. Fosforun kaya döngüsüyle tekrar karaya dönmesi yüzlerce milyon yıl zaman aralığında olur.

Fosfor, kalsiyum (Ca), potasyum (K), magnezyum (Mg) ve demiri de (Fe) içine alan çeşitli mineraller halinde olup, topraktan canlılara geçer. Bu mineraller suda pek çözünmezler. Fakat fosfat topraktaki kayaların günlenmesiyle kolaylıkla çözünür. Karasal bir ekosistemde fosfor, çoğu bitkilerin çürümesiyle tekrar toprağa döner. Buna göre, fosforun bir bölümü kaçınılmaz olarak yitirilir ya da akarsular aracılığıyla okyanuslara taşınır. Böylece fosfor, karalardan okyanuslara doğru taşınıp çökelir.

Fosforun okyanuslardan karalara doğru dönüşü ise yavaş işleyen bir süreçtir. Fosforun okyanuslardan karaya dönüşündeki diğer bir unsur da Şili pelikanları gibi okyanuslarda beslenen kuşlar aracılığı ile olmaktadır. Bu kuşlar, okyanusların yüzeyindeki küçük balıklarla beslenir. Balıklar da azot ve fosfor içermektedir. Balık yiyen kuşlar genel olarak kıyılarda yaşar. Bunların yuvaları guano yönüyle zenginleşir ve uzun zaman aralığında büyük gübre yatakları meydana gelir.

Göreceli olarak kuru bir iklimde guano 40 m kadar kalınlığa ulaşan bir kaya kütlesi kadar katılaşır. 1800'lü yılların ortalarında yılda 9 milyon m/ton Guano-Peru adalarından Londra'ya taşınmıştır. Guano, biyolojik ve jeolojik süreçlere bağlı olarak gelişen değerli bir gübredir. Plankton balıklar ve kuşlar olmasaydı, fosfor okyanuslarda çok uzun zaman aralığında oluşmazdı. Dolayısıyla Dünya'nın fosfora dayalı tarım üretimi de büyük ölçüde düşerdi.

Fosfor gübresinin diğer önemli bir kaynağı denizel canlıları içeren çökel kayalardaki fosfatlardır. Dünya'daki en önemli fosfat yataklarından biri de Florida Tampa'nın 40 km doğusunda Bone Vadisi'ndeki yataktır. 10-15 milyon yıl evvel Bone Vadisi, denizel omurgasız canlıların yaşadığı ve öldüğü sığ denizel bir ortam halindeydi. Jeolojik süreçler yoluyla Bone Vadisi yükselerek günümüzdeki konumuna erişti. 1880-1990 yılları arasında fosfat yataklarının keşfi yörede büyük bir fosfat üretimine yol açtı. Bone Vadisi fosfatın, denizlerden karalara dönüşünün yavaş işlediği bir süreci temsil eder. Yöredeki fosfatlar, belli teknolojiler kullanılarak çıkarılmakta, taşınmakta ve yaygın olarak gübre halinde kullanılmaktadır.

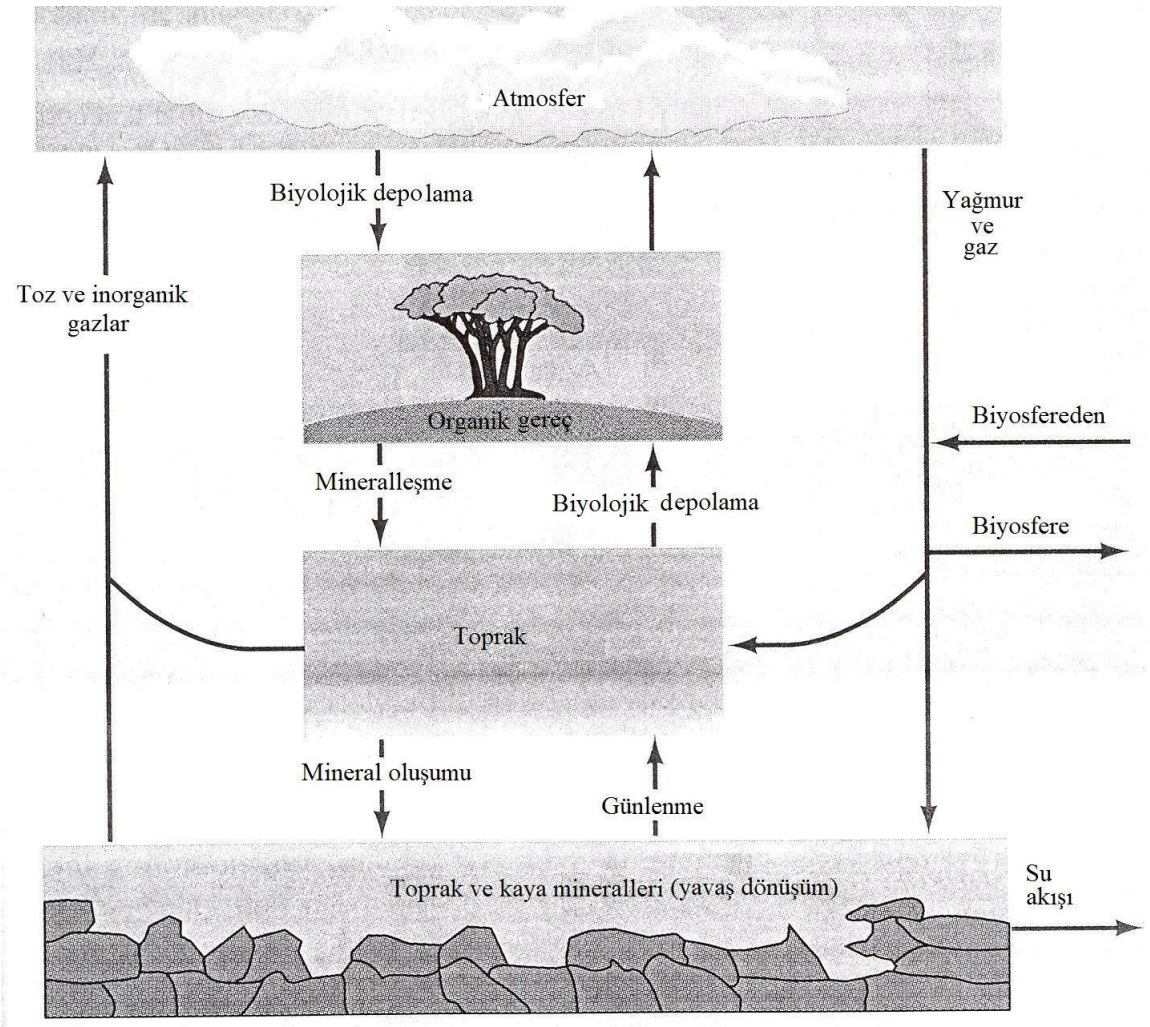
Fosfor döngüsü ile ilgili en önemli noktalardan birisi ise okyanuslardan karalara doğru işleyen taşınma sürecinin yavaş olmasıdır. Ancak fosfor, yaşam için önemli bir besindir. Fosforun bazı bileşikleri suda çözünmez. Dolayısıyla fosfor bazen güçlükle elde edilir. Bazı uzmanlar ABD'nin fosfor rezervlerinin 2,2 milyar metrik ton olduğunu, bunun da birkaç on yılda temel gereksinimleri karşılayacağına inanmaktadır. Buna göre, daha fazla fosfor için daha yüksek bir ücret ödemek gereklidir. Florida'da 8,1 milyar metrik ton fosfor olduğu ve bunun var olan yöntemlerle çıkarılabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca, başka yerlerde de büyük fosfat yatakları vardır. Ne var ki fosfat madenciliği, işletme evresinde çevrede olumsuz etkiler de yaratmaktadır. Örneğin, Bone Vadisi'nde büyük maden ocakları ve oluşan sulu çamur gölleri önemli boyutlarda bir kirlilik oluşturmaktadır (Botkin ve Keller, 1995). Fosfat gereksinimi ile fosfat işletmelerinin çevresel denetimi arasında bir denge kurmak çevre kirliliğinin denetimi açısında zorunludur.

EKOSİSTEME İLİŞKİN KİMYASAL DÖNGÜLERİN TEMEL NİTELİKLERİ

Çoğu faktörler, yaşamdaki çeşitliliği ve bolluğu sınırlayabilir. Enerji akışının verimliliği azalabilir ve organik gereçlerin üretimi sınırlanabilir. En önemli faktörlerden biri yaşam için gerekli olan kimyasal elementlerin varlığıdır. Eğer bazı kimyasal elementler yeterli oranda sağlanamazsa enerji akışı da yeterli ölçüde sağlanamaz. Diğer taraftan fosfat bileşiklerinde yer alan bazı elementlerin bolluğu ya da azlığı çevresel sorunlara yol açabilir. Bu element, döngülerinin incelenmesi çevresel sorunların

anlaşılmasında son derece önemli bir yer tutar. Genelleştirilmiş bir ekosistem mineral döngüsü ekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Genelleştirilmiş bir ekosistem mineral döngüsü. Kimyasal elementler bir ekosistemde ya da bir ekosistem ile biyosfer arasındaki etkileşimde döngüye karışır. Organizmalar, cansız çevrede elementleri değişime uğratır. Bazı elementler, atmosferden alınır ve tekrar atmosfere geri döner. Bazı elementler ise su, toprak ve çökeller arasında değişime uğrar. Ekosistemin bazı bölümleri, bir elementin depolanması için bir havza olarak düşünülebilir. Bu havzalar arasında elementlerin transferi çeşitli oranlarda gerçekleşir. Örneğin ormandaki toprak, değişimin hızlı olduğu etkin bir ortamı temsil eder. Ancak elementlerin akışı, diyagramın alt bölümünde görüldüğü gibi pek de aktif olmayan bir ortamda olmaktadır. Genellikle, elementlerin ekosistemde alıkonulduğu durumlarda yaşam yarar görür. Ancak, erozyon gibi jeolojik süreçlerin olduğu durumlarda elementlerin ekosistemden uzaklaşması durumunda yaşam da bundan zarar görür (Botkin ve Keller, 1995).

Kimyasal element kaybının olduğu bir ekosistem, var olan koşullarda yaşamı sağlıklı bir şekilde sürdüremeyebilir. Böyle bir ekosistemde element kayıpları hızlı bir şekilde de olabilir. Buna göre, tüm ekosistemler kimyasal element gereksinimlerini karşıladıkları zaman kendi kendilerini onarabilirler.

Bir ekosistemde kimyasal döngü girdilerle başlar ve dışarıdan sisteme olan akışlarla sürer. Karalarda ekosistemle olan girdiler atmosferdeki yağış ve tozlardan beslenir. Akarsular ve yeraltı suları ile karaya taşınır. Okyanuslar ve göller aynı atmosferik ve karasal girdileri paylaşır. Su akıntılarıyla girdiler çeşitli biçimlerde taşınır.

Kimyasal elementler, kendi içinde de bir döngü oluşturur. Döngü ekosistemden çevreye olan akışla (çıktı olarak) sonlanır. Karasal ekosistemde meydana gelen çıktılar önce çözünür, daha sonra akarsularla okyanuslara taşınır. Gazlar ise atmosfere geri döner. Kimyasal gereçler kayalara ya da toprağa dönüşür. Su ekosistemindeki çıktılar, atmosferde ve yer çekimi yönünde aşağı doğru akıntılarda belli bir kayba uğrar.

Her organizma belli bir oranda kimyasal elementlere gereksinim duyar. Bu elementler uygun kimyasal biçimlerde uygun zamanda ve organizma için kabul edilebilir oranlarda sağlanmalıdır. Kimyasal elementler döngüye girebilir ve yeniden kullanılabilir. Bu döngüler, az ya da çok ekosistem içinde çalışır. Buna göre çevredeki fiziksel ve kimyasal süreçleri, yüzeydeki kayaların aşınıp daha derin yerlerde depolanmasını kolaylaştırırlar. Zamanla bu işlem yavaşlarsa elementler de gereksinimi karşılayamayacak düzeye düşer. Arazi kullanım uygulamalarının çoğu, canlıların gereksinim duydukları elementleri depolama konusunda ekosistemlerin yeteneğini değiştirirler. Ağaç kesme, yol yapımı, toprağın işlenmesi ve diğer kullanımlar kimyasal elementlerin akışında bir kesintiye yol açarlar. Bu kayıp, erozyonla ilgili kaygıları da içeren ana nedenlerden biridir.

Kimyasal elementler, bir ekosistem içinde ya da bir ekosistem ile biyota arasındaki döngünün akışında yer alır. Ekosistemdeki kimyasal döngü, her elementin depolandığı havzaların çeşitli bölümleri ile birlikte bir sistem olarak göz önüne alınabilir. Elementler, depolandığı ortamlarda, farklı oranlarda bulunurlar.

Metallerin ve metal olmayan gereçlerin ekosistem döngüleri

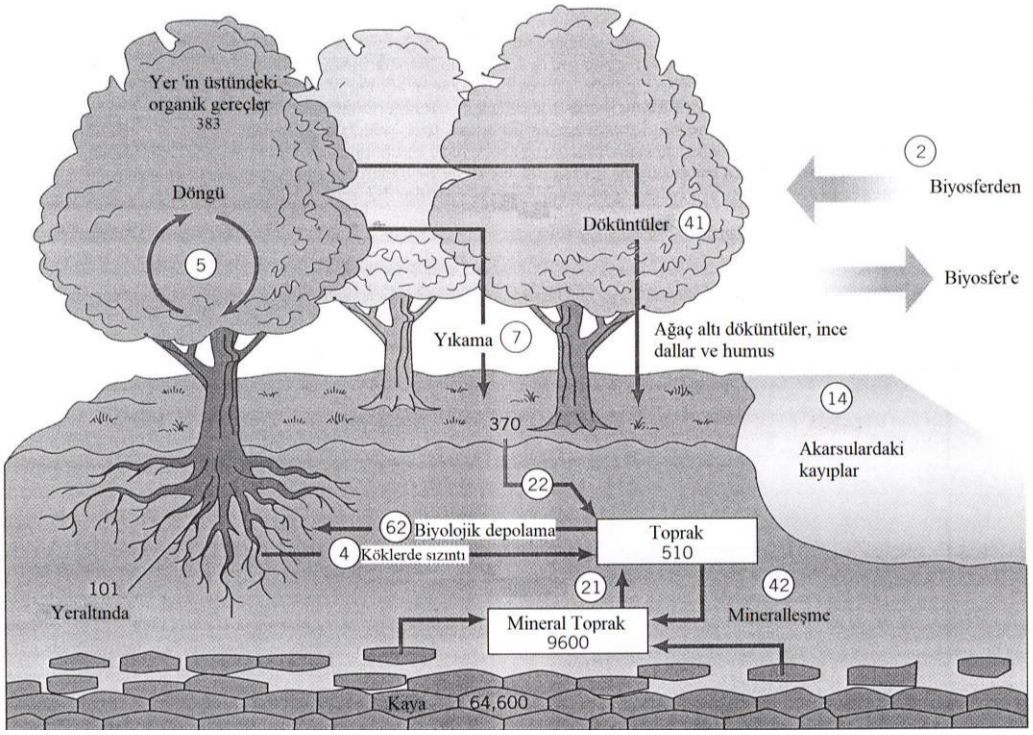
Bazı elementlerin döngülerde izlediği yollar genel olarak farklıdır. Şekil 12'de (kalsiyum için) ve Şekil 13'de (kükürt için) izlenen yollar görülmektedir. Kalsiyum döngüsü, metalik bir element için tipik bir döngüyü temsil eder. Kükürt ise metalik olmayan bir element için tipik bir döngüyü temsil eder. Bu iki element arasındaki en önemli farklılık, kalsiyumun çevre koşullarında gaz formunun olmaması ve dolayısıyla atmosferle ilişkili bir evreye sahip olmamasıdır.

Kalsiyum sadece toz partiküllerde bir bileşik olarak yer alır. Bunun tersine kükürtün birkaç gaz hali vardır. Bunlar, kükürt dioksit (SO_2) ve hidrojen sülfür (H_2S)'dür. Dolayısıyla kükürt, kalsiyuma göre daha hızlı bir şekilde biyosferden bir ekosisteme dönebilir. Kalsiyum gibi gaz evresi olmayan elementler organizmaların büyümesini sınırlandırmaktadır.

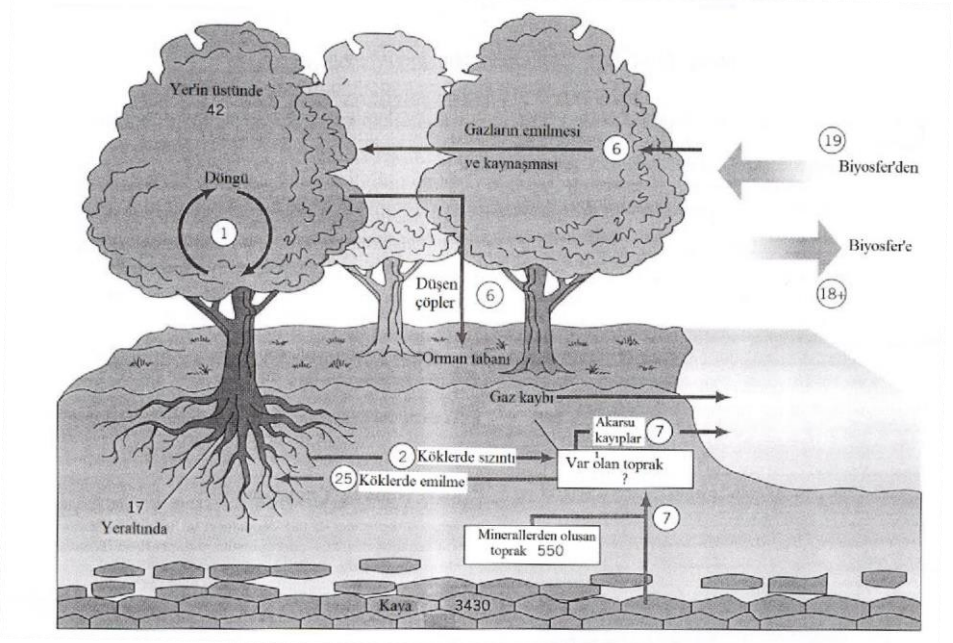
Kalsiyum ise döngüde daha uzun süre kalabilmektedir. Kalsiyum suda kolaylıkla çözünür ve inorganik formunu oluşturur. Ancak, suda taşınarak ekosistemden çıkar. Taşınma akarsularla olduğu gibi yeraltı suları ile de olabilir. Gaz evresinin olmaması nedeni ile kalsiyum, kükürte göre ekosisteme daha yavaş olarak döner. Atmosferdeki yıllık kükürt girdisi, bir orman ekosisteminde kalsiyumun en az 10 katı fazladır.

Kimyasal döngülerin çeşitli biyolojik yönleri de vardır. Kimyasal döngüde yer alan biyolojik süreçlerin çoğu kimyasal elementlerin ekosistem içinde korunmasını sağlar.

Örneğin, topraktaki ölü organik gereçler kara ekosistemindeki çoğu elementlerin alıkonulmasına yardımcı olur. Böylece yüksek derecede organik olan topraklar, elementlerin büyük oranda depolanmasına yardımcı olur. Böyle bir ekosistem daha uzun süre verimliliğini korur. Dolayısıyla arazi kullanım uygulamalarının toprak erozyonuna yol açmaması son derece önemlidir.



Şekil 12. Bir orman ekosisteminde yıllık kalsiyum döngüsü. Dairelerin içindeki rakamlar, birim zamanda transfer edilen gereçlerin miktarını (akış miktarları kg/ha,yıl), diğer rakamlar ise depolanan gereçlerin miktarını göstermektedir (kg/ha). Kükürtün tersine kalsiyumun herhangi bir gaz evresi yoktur (Likens ve diğerleri, 1977'den kısmen değiştirilerek).



Şekil 13. Bir orman ekosisteminde yıllık kükürt döngüsü. Rakamlar, birim zamanda transfer edilen gereçlerin miktarını (akış oranları kg/ha/yıl olarak), 17 ve 3430 rakamları ise depolanan kükürtün miktarını göstermektedir (kg/yıl). Kükürtün, hidrojen sülfür ve SO_2 gibi iki gaz hali vardır. Bu diyagramdaki bilgi, Hubbard Ekosistemi'nden alınmıştır (Likens ve diğerleri, 1977).

Öte yandan, doğanın kendiliğinden de zamanla değişime uğradığı genel olarak kabul edilmektedir. Kimyasal döngüler esas alındığında, ekosistemler düzenli bir şekilde varlıklarını koruyorlar. Doğal (biyolojik ve biyolojik olmayan) süreçler de düzenli işleyen bir ortamı etkilemektedir. Bu etkileşim, ekosistem içindeki ya da dışındaki kimyasal döngülere yansımaktadır.

KAYNAKLAR

Berner, R.A., ve Lasage, A.C, 1989. Modelling the Geochemical Carbon Cycle, Scientific American, 260 (3), 74-81.

Birchfiel, B.C., Foster, E.A., Keller, E.A., Melhorn, W.N., Brookins, D.G., Mintz, L.W., ve Thurman, H.V., 1982. Physical Geology: The Structures and Processes of the Earth, Charles E. Merrill, Columbus, Ohio.

Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997, Exploring Earth: A introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.

Botkin, D.B. ve Keller, E.A., 1995. Environmental Science: Earth As a Living Planet, John Wiley and Sons, Inc. New York, USA, 627.

Delwiche, C.C. ve Likens, G.E., 1977. Biological Response to Fossil Fuel Combustion Products, Stockholm, s. 73-88.

Kasting, J.F., Toon, O.B ve Pollack, J.B, 1988. How Climate Evolved on the Terrestrial Planets, Scientific American, 258 (2), 90-97.

Lambert, G., 1987. La Recherche: 18, s.782-783.

Lerman, A., 1990. Weathering and Erosional Controls of Geologic Cycles, Chenical Geology, 84, 13-14.

Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J. S. and Johnson, N.M., 1977. The Biogeochemistry of a Forested Ecosystem, Springer-Verlag, New York.

Oldrody, D., 2003. İnsan Düşüncesinde Yerküre: Yerbilim'e Bir Tarihsel Bakış: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 186, (Çev. Ülkün Tansel), Ankara, 563s.

Post, W.M., Peng, T., Emanual, W.R., King, A.W., Dale, V.H. ve De Angelis, D.L., 1990. The Global Carbon Cycle, American Scientist. 78, 310-26.

Saigo, R.H. ve Saigo, B.W., 1983. Botany Principles and Applications.

Schlesinger, W.H. 1992. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change, San Diego, Acaademic Press.

Selinus, O., 2005, Essentials of Medical Geology: Elseiver Academic Pres, USA, 812s.

Söderlund, R. ve Rosswall, T., 1982. The handbook of Enviromental Chemistry, Vol 1, Pt. B, New York.

Vernadsky, V.I., 1945. The Biosphere and the noosphere, American Scientist, 33, 1-12.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Bölüm 8. JEOLOJİK YAŞ, İSTİF VE JEOLOJİK İLİŞKİLER

GENEL BİLGİLER

Yeryüzünde görülen her kayanın bir **oluşum yaşı** vardır. Çeşitli yaşlarda olan kayalar üst üste gelerek bir **istif** oluştururlar. Her istifin içinde katmanların ilişkilerini ve ilişkinin geliştiği ortamın niteliklerini taşıyan veriler yer alır. Jeolojide en önemli katkılar, kayatürü (litoloji) özelliklerinin yanı sıra, kayaların yaşı ve istif doğru olarak tanımlanıp, istif içi ilişkiler titizlikle irdelendikten sonra yapılabilir.

ZAMAN VE JEOLOJİK TAKVİM

Zaman, uzunluk, ağırlık ve konumun (mekânın) dışında, evrenin ilk bakışta maddi olmayan bir boyutudur. Bu boyut, sürenin ölçülmesinde bir başvuru aracı olarak değerlendirilir. Astronomi bilimi zamanı, süreyi sayma yöntemi olarak kabul eder. Demek ki zaman da diğer ölçülebilen unsurlar gibi tanımlanabilir. Öte yandan zaman akıyor gibidir. Mekân içinde ne kadar sabit durursak duralım, sanki akıntının içindeymiş gibi sürüklenip gideriz. Olaylar gelecekten gelir, şimdiki zaman üzerinden geçerek geçmişe dâhil olur.

Görelilik Kuramı, 20. yüzyılın en büyük fizikçisi olan Albert Einstein'a aittir. Bu kurama göre, uzay ve zaman bir algıdır. Mutlak zaman yoktur; uzay ve zamanı algılamamız, bulunduğumuz yere ve hareketlerimize bağlıdır. Bir cismin hızına ve konumuna göre, zaman hızlı veya yavaş geçer. Cisim hızlandıkça zaman yavaşlar. Yani hız arttıkça zaman kısalır; daha yavaş akarak sanki durma noktasına yaklaşır.

Bu durum, Einstein'ın çok bilinen 'ikizler' örneği ile açıklanabilir. Bu örnekte ikiz kardeşlerden biri Dünya'da kalır, diğeri ışık hızına yakın bir hızla uzay yolcuğuna çıkar. Uzaya çıkan kardeş, geri döndüğünde ikiz kardeşini kendisinden çok daha yaşlı olarak bulur. Bunun nedeni uzayda hızla seyahat eden kardeş için zamanın daha yavaş akmasıdır.

Yani, zaman, bir an başka bir anla kıyaslandığında ortaya çıkan algıdır. Pencereden dışarıya bakıldığında görüş alanına giren ilk nesne ile ikinci nesnenin görüldüğü an arasında bir süre olduğu düşünülür ve arada geçen süreye ***zaman*** denir. İkinci nesnenin görüldüğü anda, ilk nesnenin bilgisi beyninde oluşan bir bilgi olup, bu bilgi yaşanılan anla karşılaştırarak zaman algısını elde edilir. Bu karşılaştırma yapılmazsa, zaman algısı da olmaz. Sonuç olarak zaman, algı sonucu oluşan ve tamamen algılayana bağlı, göreceli (izafi) bir kavramdır.

Takvim ise, zamanın haritası olup, mekâna zaman koordinatların yerleştirilmesiyle tanımlanabilir. Zamanın derecelendirilmesi için iki tip koordinat sistemi kullanılmıştır. Bunlardan biri döngüsel (periyodik), diğeri ise doğrusal (lineer) sistemdir (Şengör, 2000).

Döngüsel sistem, zaman içinde yinelenen olaylara dayanır. Örneğin gündüz-gece, ayın evreleri, Dünya'nın Güneş'in etrafında dönmesi birer döngüsel sistemi yansıtır. Ritmik denizsel ya da karasal çökeller, ağaçların mevsimsel büyüme halkaları bu mekanizmaların ürünüdür. Jeolojik geçmişte yılların kaydı, organik ve inorganik mekanizmalar aracılığı ile oluşturulmaktadır.

Biyolojik olayların ve çökel kayaların oluşumunun, okyanus yüzeyi sıcaklıklarına bağlı döngülerden etkilendiği kabul edilmektedir. Döngüsel olaylar sayesinde günlerin, yılların yani zamanın kayıt edilebileceği ve bu kaydın da tanımlanabileceği görülmektedir. Ancak doğaları gereği döngüsel olaylar bir döngüyü diğerinden ayırt edemezler.

Doğrusal sistem ise insani kültürün bir parçası olarak tanımlanmıştır. Buna göre önemli ve unutulmayan olaylar bir milat oluşturur ve diğer olaylar da buna göre sıralanır. Örneğin günümüzde İsa peygamberin doğumu böyle bir milat olarak kabul edilmekte, diğer olaylar da buna göre sıralanmaktadır. Bu mantık, doğrusal sisteme ilişkin zamanın temelini oluşturur.

Böyle bir sistemi jeolojiye uyarlamak mümkündür. Örneğin, geçmişte olan jeolojik olayları ve bu olayların kalıntılarını bir zaman sıralamasına koyabiliriz. Bunun için, jeolojik olayların ürünü olan kaya birimlerinin birbirleriyle olan ilişkilerini doğru bir biçimde göz önüne almak yeterlidir. Böyle bir durumda yapılan iş, doğrusal bir tarihin unsurlarını içerir.

Doğrusal bir tarih ortaya çıkarabilmek için tarihlenecek olguların yalnızca birbirine göre zamansal konumlarını bilmek yetmez. Söz konusu olguları birbirinden ayıran zaman aralıklarının da süresini bilmek gerekmektedir. Dolayısıyla daha özgül ve bağımsız bir saate gereksinim vardır. Örneğin, Radyometrik yöntemler yardımıyla Yer'in doğrusal tarihi ortaya çıkarılmıştır. Jeolojik yaşı belirlemek amacıyla kullanılan radyoaktif elementlerin yarılanma süresi değişken değildir.

Jeolojik takvim hem döngüsel hem de doğrusal sistemlerin unsurlarını birlikte içerir. Böyle bir takvimin oluşturulması da kolay olmamıştır. Bunun için 17. ve 18. Yy jeoloji bilginleri önce çok büyük bir sabır ve emekle jeolojinin temel ilkelerini ortaya koymuştur. ***Güncellilik*** (aktualizma) ve ***Tekdüzelik*** (üniformitariyanizm) ilkeleri tanımlanmıştır. Başlangıçta birbirinden bağımsız olarak tanımlanan devirler daha sonra karşılaştırılarak bir sıraya konulmuştur. 19 Yy'ın ilk yarısında sistemlerin tanımlanması büyük ölçüde sona ermiştir. Daha sonra özgül fosil grupları kullanılarak sistemler serilere, seriler katlara ayrılmıştır.

20 Yy'ın başlarında ise jeolojik takvim, radyometrik yaşların da katkısıyla gelişmiştir. On milyonlarca yıl, hatta milyar yıl olarak tanımlanan jeolojik zaman, fosil kayıtlarının yanı sıra radyoaktif elementlerin yarılanma süreleri esas alınarak da değerlendirilmektedir. Radyoaktif elementlerin yarılanma süreleri sabittir. Dolayısıyla bu yöntemlerle jeolojik zamanı belirleme güvenilir sonuçlar sağlamaktadır.

Günümüzde kullanılan bir jeolojik takvime bakıldığında, en üstte eonotem/eon, eratem/periyot, sistem/devir, seri/epok ve kat/çağ gibi terimler görülür. Bu terimlerden ilki, herhangi bir zaman aralığında oluşan kayatürü topluluğunu, ikincisi ise o zamanın kendisini ifade eder. Buna göre A sisteminin kayatürü topluluğu A devrinde oluşmuştur. Ayrıca bir seri (yani kayatürü topluluğu) kendi içinde alt ve üst olarak ayrılırken, buna karşılık gelen epok kendi içinde (zamanı temsil ettiği için) erken ve geç olarak ayrılmaktadır.

Sonuç olarak jeolojik takvimi de jeolojik zamanın haritası olarak düşünebiliriz. Jeolojik zamanın, bir insanın ömrü ile, hatta insanlığın tarihi ile karşılaştırıldığında son derece büyük bir derinliğe sahip olduğu açıkça görülmektedir. Playfair, Siccar tepesindeki kayatürü topluluğunun ve gelişen belirgin uyumsuzluğun ne anlama geldiğini kavradığında "Zaman denen uçurumun bunca derinliklerine bakmaktan insanın başı dönüyor" demekten kendini alamamıştır (Oldroyd, 1996).

JEOLOJİK YAŞ

Günümüzde, Dünya'nın kendi ekseni etrafında dönmesi bir gün, Dünya'nın Güneş etrafında dönmesi ise bir yıl, zaman ölçü birimi olarak kabul edilmektedir. Jeolojide zaman, (jeokronoloji ile de desteklenen ve) milyon yıllar olarak tanımlanan bir süreye karşılık gelmektedir.

Jeolojik takvimde, ***Zaman,*** geniş anlamda Eon, dar anlamda "Era" karşılığı olarak kullanılır ve Zamanların her biri birkaç Devir'i (periyodu), Devirler'in de her biri birkaç Devre'yi (Epok'u) içerir. En çok bilinen Zamanlar başlıca Arkeozoyik, Proterozoyik, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik' tir (Çizelge, 1).

Ancak uluslararası stratigrafik adlandırmalarda, kimi zaman Arkeozoyik yerine Prekambriyen Başı, Proterozoyik yerine ise Prekambriyen Sonu' nun konulması tercih edilmektedir. Herhangi bir Zaman süresince oluşan kayatürü topluluğu Eratem, bir devir boyunca oluşan kayatürü topluluğu Sistem, bir Devre boyunca oluşan kayatürü topluluğu ise Seri olarak adlandırılmaktadır. Burada sunulan zamanların sıralanması ve alt bölümlenmesi yalınlaştırılmış olarak Çizelge 1'de görülmektedir.

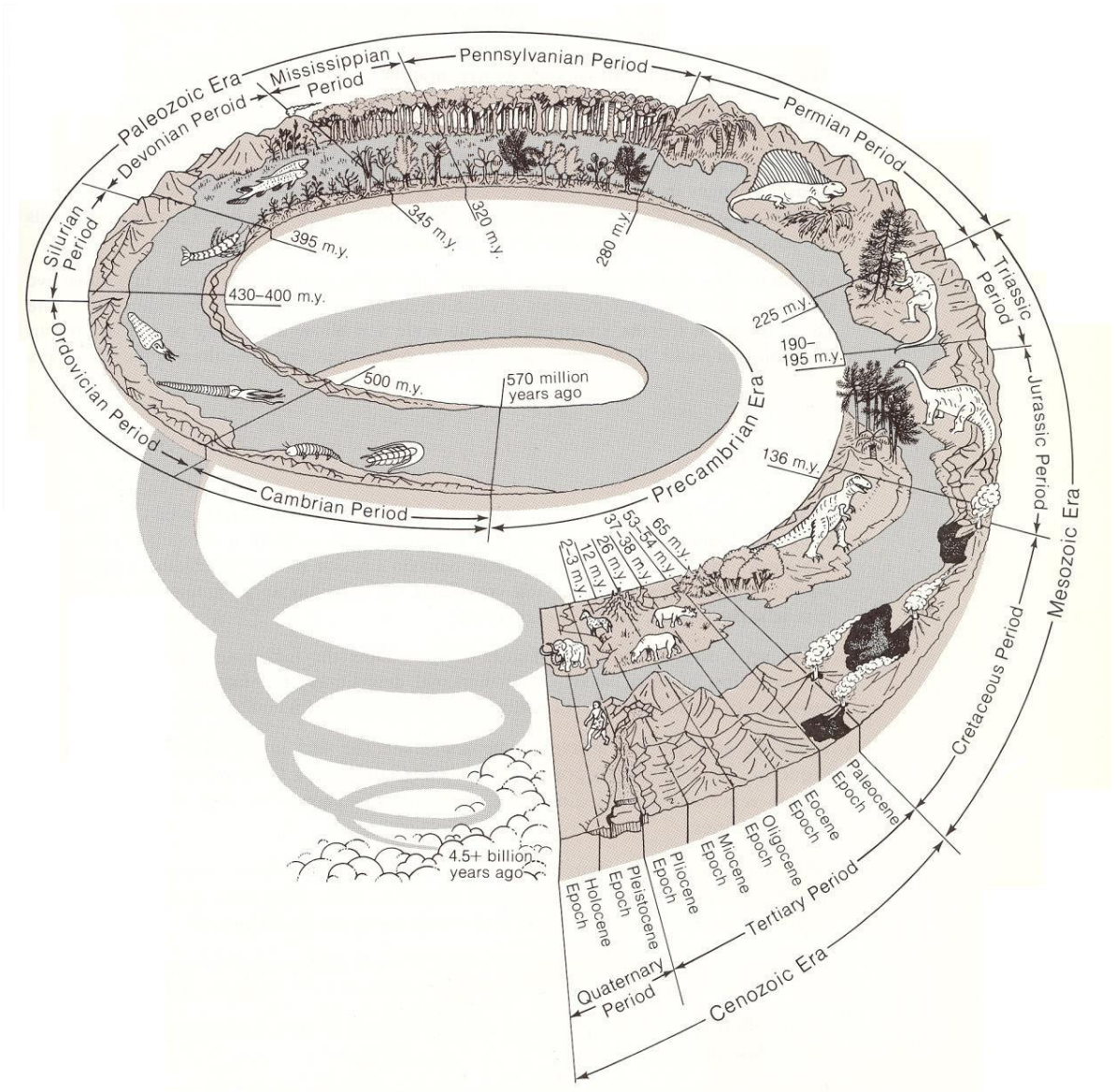
Çizelge 1. Jeolojik Zamanlar, Sistem/Devir, Seri/Devre adları ve simgeleri

ZAMAN / ERATEM	SİSTEM / DEVİR	SERİ / DEVRE
Senozoyik Cz	Kuvaterner Q	Holosen Pleyistosen
	Tersiyer T	Pliyosen Miyosen Oligosen Eosen Paleosen
Mesozoyik Mz	Kretase K	Üst Alt
	Jura J	Üst Malm Orta Dogger Alt Liyas
	Triyas Tr	Üst Orta Alt
Paleozoyik Pz	Permiyen P	Üst Orta Alt
	Karbonifer C	Üst Orta Alt
	Devoniyen D	Üst Orta Alt
	Silüriyen S	Üst Orta Alt
	Ordovisiyen O	Üst Orta Alt
	Kambriyen €	Üst Orta Alt
Prekambriyen p€		

Evren, içinde yer aldığımız gökada (galaksi), güneş sistemi ve Yer başta olmak üzere her varlığın bir başlangıç yaşına sahip olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Bu çerçevede Güneş Sistemi ve Yer'in yaklaşık 5 milyar yıl evvel oluştuğu ve günümüze kadar çeşitli evreler geçirerek geldiği varsayılmaktadır. Başlangıçta gelişen evrelerden her biriyle ilgili bilgiler sınırlı iken, daha sonraki evrelerle ilgili bilgiler, bu evrelerin tanımlanmasında kolaylıklar sağlamaktadır.

Yer'in oluşumu ile ilgili evreler, "Jeolojik zaman"'a bağlı olarak değerlendirilmektedir. Zamanın döngülü ve çizgisel yapısı birlikte değerlendirilirse, bir "***Jeolojik saat"*** oluşturulabilir. Şekil 1, Yer'in tarihi ile jeolojik zamanları ve bu zamanların her birinde yaşam ile ilgili önemli bilgiler yansıtmaktadır. Bu bilgilerden yararlanılarak Şekil 2 görülen bir "Jeolojik saat" oluşturulmuştur (Pres ve Siever, 1974). Bu şekiller, üç boyutlu olarak tasavvur edilirse, yani zamanın döngüsel ve doğrusal yapısı da gözetilerek değerlendirilirse, Zaman'ın Yer ölçeğinde ne anlama geldiği ve jeolojik takvim daha iyi anlaşılır.

Şekil 1 ve 2'de İngilizce olarak sunulan zamanların Türkçe karşılıkları yukarıda Çizelge 1'den izlenebilir.



Şekil 1. Yer'in tarihi ve jeolojik zamanlar (U.S. Geological Survey yayını; Press ve Siever, 1974'den alınmıştır).

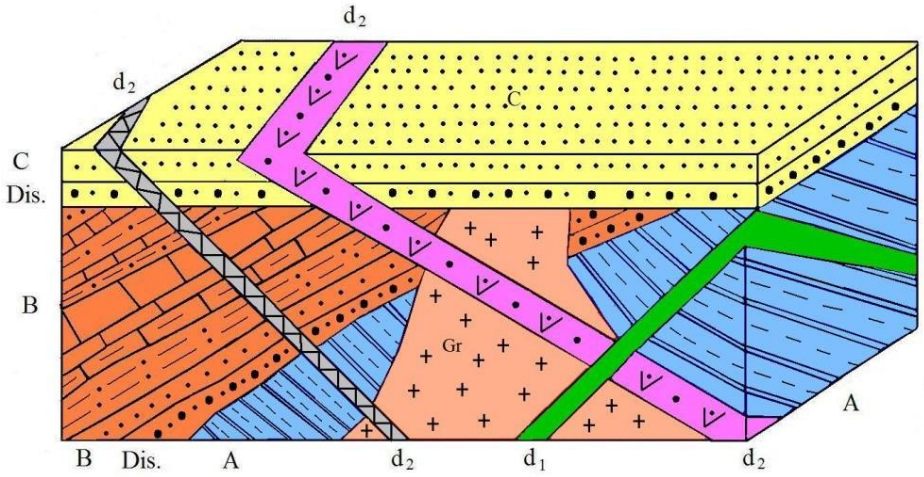
Yer'in yaklaşık 4-5 milyar yıllık tarihi boyunca, her evrede egemen olan yer süreçlerinin güdümünde çeşitli kayatürü toplulukları oluşmuş ve bu topluluklar da kimi zaman önemli değişimler geçirmiştir. Dünya'nın günümüzdeki mimarisi, yaşanmış olan bu değişimlerin bir bireşimidir.

Jeolojik zaman adları, ayrıca her jeolojik zamanı temsil eden Sistem/ Devir, Seri/ Devre adları Çizelge 1'de sunulduğu gibi, Prekamriyen en eski bir zamanı, Kuvaterner en genç bir devri, Holosen de en genç bir devreyi temsil etmektedir. Bir Devir boyunca oluşan kayatürü topluluğu Sistem, bir Devre boyunca oluşan kayatürü topluluğu ise Seri olarak adlandırılır.

Şekil 2. Jeolojik saat (Pres ve Siever, 1974).

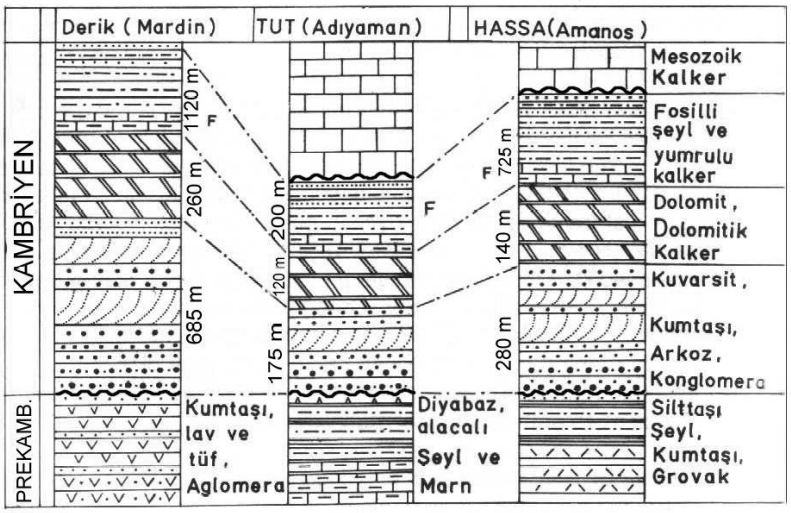
Jeolojide "**yaş**" genel olarak göreceli (relatif) bir anlam taşır. Yan yana ya da üst üste duran iki kaya biriminden biri diğerine göre daha yaşlı ya da daha gençtir. Şekil 3'de, A harfi ile gösterilen istif, üzerinde diskordansla yer alan B ve C harfleriyle gösterilen istiflerden, bu katmanları kesen granitik kayalardan (Gr) ve damar kayalarından daha yaşlıdır. B istifi, A istifinden genç, C istifinden daha yaşlıdır. C istifi ise A, B istiflerinin yanı sıra granitten genç olup d_2 damar kayasından yaşlıdır. Magmatik kayalardan granit (Gr) en yaşlı, d_2 damar kayası graniti kestiğinden ondan daha genç, d_1 ise en genç damar kayasını temsil eder. Çünkü d_1 hem graniti (Gr) hem de d_2 damar kayasını kesmektedir.

Genel kurala göre, normal (tektonik olmayan) bir ilişkide üstte yer alan çökel bir istif, altındaki çökel istiflerden daha gençtir. Magmatik kayalarda ise kesen birim genç, kesilen birim ise eski bir kayatürünü temsil eder.



Şekil 3. Değişik kökenli kayaların göreli yaşlarını belirten blok diyagram, A-istifi en yaşlı, d_1 ve d_2 damarları en yeni. Dis: Açılı uyumsuzluk (Diskordans) yüzeyleri; ayrıntılı açıklama metinde (Ketin, 1977' den kısmen değiştirilerek).

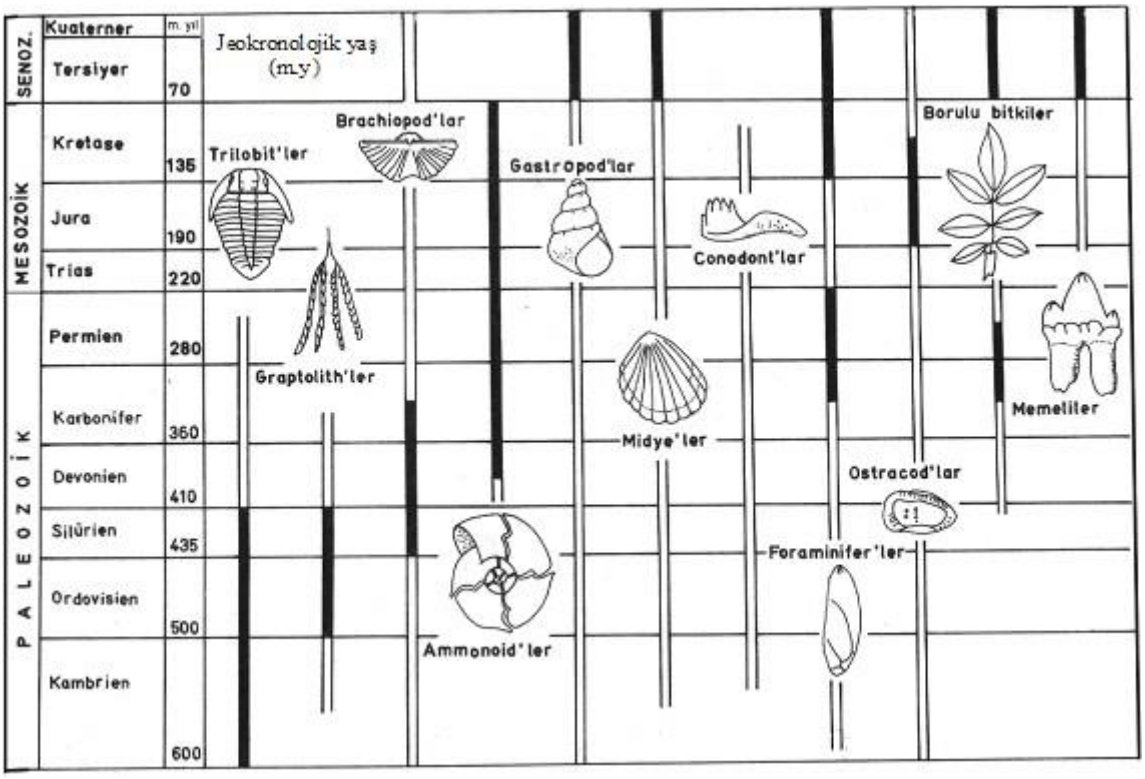
Diğer taraftan, oluşum ortamları (fasiyesleri) birbirinin aynı olan ve benzer fosiller içeren katmanlı kayaların, birbirinden uzak yerlerde gelişmiş bulunsalar da aynı yaşta olabilecekleri kanıtlanmıştır. Örneğin, Güneydoğu Anadolu'da Derik (Mardin), Tut (Adıyaman) ve Hassa (Amamos) yörelerinde yer alan karbonat ara katkılı kırıntılı kayalar birbirinden oldukça uzak olmalarına karşın, tümü Prekambriyen-Kambriyen yaşta olup karşılaştırılabilecek (körele edilebilecek) düzeyde benzer özellikler sunarlar (Şekil 4).



Şekil 4. Birbirinden uzak bölgelerde fakat benzer coğrafik ortamlarda oluşan aynı yaşta katmanların birbirleri ile karşılaştırılması (korelasyonu). Güneydoğu Anadolu'da, Derik, Tut ve Hassa bölgelerindeki Kambriyen yaşlı çökel diziler. F: Benzer fosil türlerini kapsayan katmanlar (Ketin, 1977).

Jeolojik yaşlar, çökel kayalarda fosiller yardımıyla saptanmaktadır. Ayrıca radyoaktif yaş belirleme yöntemleri yardımıyla, magmatik ya da metamorfik kayaların yaşı belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerde Rb^{87}/Sr^{87}, C^{14} gibi duraysız izotopların yarılanma süreleri esas alınıp jeokronolojik olarak jeolojik yaşlar saptanır.

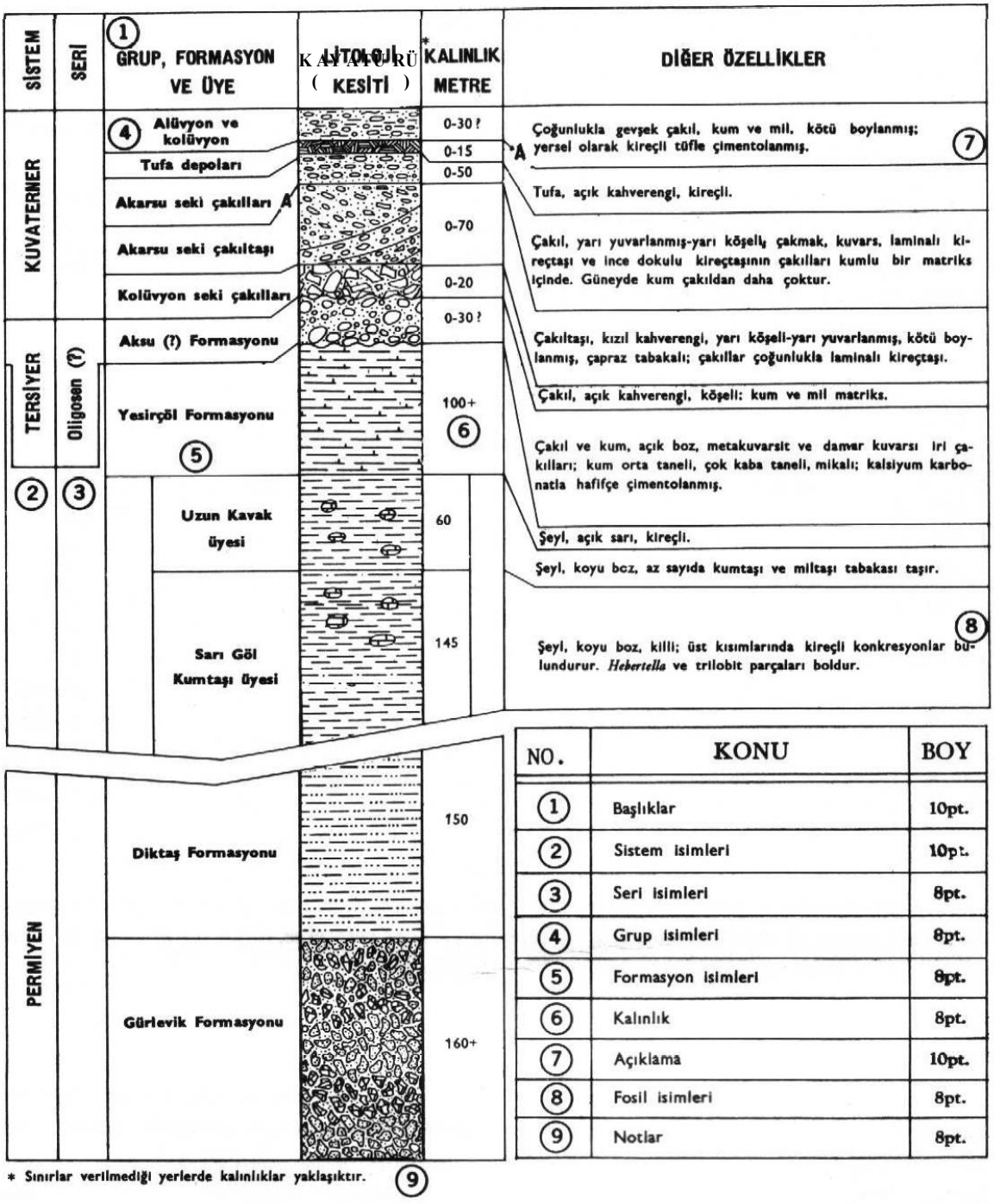
Her jeolojik dönemi belirleyen tip fosiller vardır ve bunların bir bölümü; yaş belirleme çalışmaları sonucunda jeolojik devirlerde yaşamış karakteristik fosillerin yaş konakları, jeolojik zaman çizelgesi ve bu çizelgedeki jeokronolojik yaşlar da Şekil 5'te sunulmuştur.



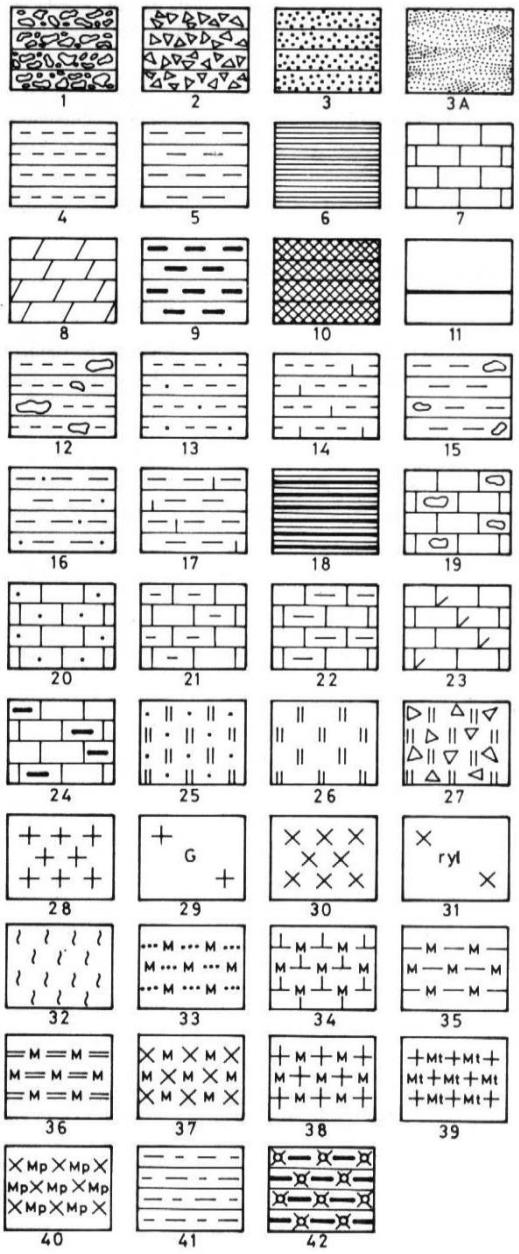
Şekil 5. Yer'in tarihinde çeşitli devirler boyunca yaşamış karakteristik olan başlıca fosil grupları. Siyah sütunlar, fosilin karakteristik olduğu devirleri; içi boş sütunlar ise, fosillerin katmanlar içinde bulundukları diğer devirleri gösterirler (Kuhn-Schnyder'e göre B.Ziegler, 1972).

Kaya stratigrafi birimleri simgeleri, sistemi gösteren bir büyük harf ile grup, formasyon ve/veya üyeye ait küçü k harf ya da harflerin birleştirilmesiyle elde edilir. Yeryüzünde izlenen istifleri tanımak ve ilişkilerini belirlemek jeolojinin en önemli ve titiz bir çalışma gerektiren uğraşılarından biridir. Bunun için öncelikle ölçülü dikme kesitler belli bir açıklamaya (lejanda) göre hazırlanır.

Şekil 6'da bir dikme kesitinin taşıması gereken özelikler, Şekil 7'de ise dikme kesitleri hazırlarken kullanılan kayatürü işaretleri sunulmuştur.



Şekil 6. Bir dikme kesit örneği (MTA, 1974).



1 Çakıltaşı[2] veya çakıl.
2 Breş.
3 Kumtaşı veya kum.
3A Çapraz tabakalı kumtaşı veya kum.
4 Miltaşı[3].
5 Kiltaşı.
6 Şeyl.
7 Kireçtaşı.
8 Dolotaşı[4].
9 Çakmak[5].
10 Pur[6].
11 Karbonlu seviye.
12 Çakıllı miltaşı.
13 Kumlu miltaşı.
14 Kireçli miltaşı.
15 Çakıllı kiltaşı.
16 Kumlu kiltaşı.
17 Kireçli kiltaşı.
18 Bitümlü şeyl.
19 Çakıllı kireçtaşı.
20 Kumlu kireçtaşı.
21 Milli kireçtaşı.
22 Killi kireçtaşı.
23 Dolomitli kireçtaşı veya kireçli dolotaşı[4].
24 Çakmaklı[5] kireçtaşı.
25 Tüfit.
26 Kültaşı.[7]
27 Aglomera.
28 İntruzyon kayaları (genel)[8].
29 Granit (diğer intruzyon kayaları için dipteki açıklamaya bkz.).

Şekil 7. Kesitlerde kullanılan kayatürü işaretleri (MTA, 1974).

[1] Özellikle dikme kesitler için hazırlanmıştır.

[2] "Conglomerate" karşılığıdır. Çakıltaşı bir kaya türüdür; çakıl boyu tane anlamında kullanılmaz.

[3] "Siltstone" karşılığıdır.

[4] "Dolostone" karşılığıdır.

[5] "Chert" karşılığıdır. "Çakmaktaşı" kullanılması tavsiye edilmez. Ülkemizde "chert" ün çok bulunduğu yerlerde halk "çakmak" terimini kullanmaktadır. Bunun yanında örneğin, çakmaktaşlı, kireçtaşı gibi uzun isimlerin doğmasını önlemek mümkün olmaktadır.

[6] "Evaporite" e karşılıktır. Alçıtaşı, anhidrit vb. ayrımı yapılmadan genel anlamda kullanılır. Kesitte tek bir evaporit türü varsa dar anlamda da kullanılabilir. Ülkemizde "evaporit" lerin yaygın olduğu Doğu Anadolu'da halk bu sahalar için

"pur" kelimesini kullanmaktadır. "Pur" 1:25 000 lik topografik haritalarımıza da geçmiş, büyük bir çoğunluğun bildiği bir terimdir.

[7] "Tuff" karşılığıdır. "Ash", "cinder" ve "dust" boyundan oluşmuş olabilir. "Kaba", "ince" sıfatları hakim tane boyunu yansıtmak üzere başa eklenebilir. Terim "tuff" leri, "ash flow", "ash fall" olarak iki genel sınıfa ayıran adlamanın "ash" terimini esas alışına dayanılarak oluşturulmuştur. "Tuff" karşılığında ülkemizde çeşitli yerlerde kullanılan değişik terimlerin "tuff" ün özel şekillerine ait bulunmaları bu terimlerinden yararlanmayı önlemiştir.

[8] Aynı kesitte çok sayıda değişik magma kayasını göstermek gerektiğinde levhalardan yararlanarak ek örnekler kullanılabilir.

[9] Serpantinleşmiş ana kaya bilinirse, aynı simge, örneğin: "serpantinleşmiş dünit" için de kullanılabilir.

Derinlik kayaları ile ilgili açıklama:

Artı simgeleri derinlik kayalarının genel simgesi olarak benimsenmiştir. Artılar arasına yerleştirilecek, harflerden oluşmuş, ek simgeler ile kaya türünü belirtmek yolu seçilmiştir; örneğin: diyorit için "G" yerine "dyr" kullanılacaktır ("gb" gabro için, "um" ultramafitler için, vb.).

Volkanik kayalar ile ilgili açıklama:

"v" simgeleri volkanik kayaların genel simgesi olarak benimsemiştir. "v" ler arasına seyrek olarak yerleştirilecek, harflerden oluşmuş, ek simgeler ile kaya türünü belirtmek yolu seçilmiştir; örneğin: dasit için "ryl" yerine "dst" kullanılacaktır, ("bz" bazalt için, "trk" tırakit için, vb.).

Genel açıklamalar:

Masif kayalarda da örneklerdeki kesiksiz yatay çizgiler korunur; ancak araları açılır.

Belirgin tabakalanma göstermeyen gevşek çimentolu kayalar için örnekler kesiksiz yatay çizgiler çizilmeden kullanılır.

İSTİF VE JEOLOJİK İLİŞKİLER

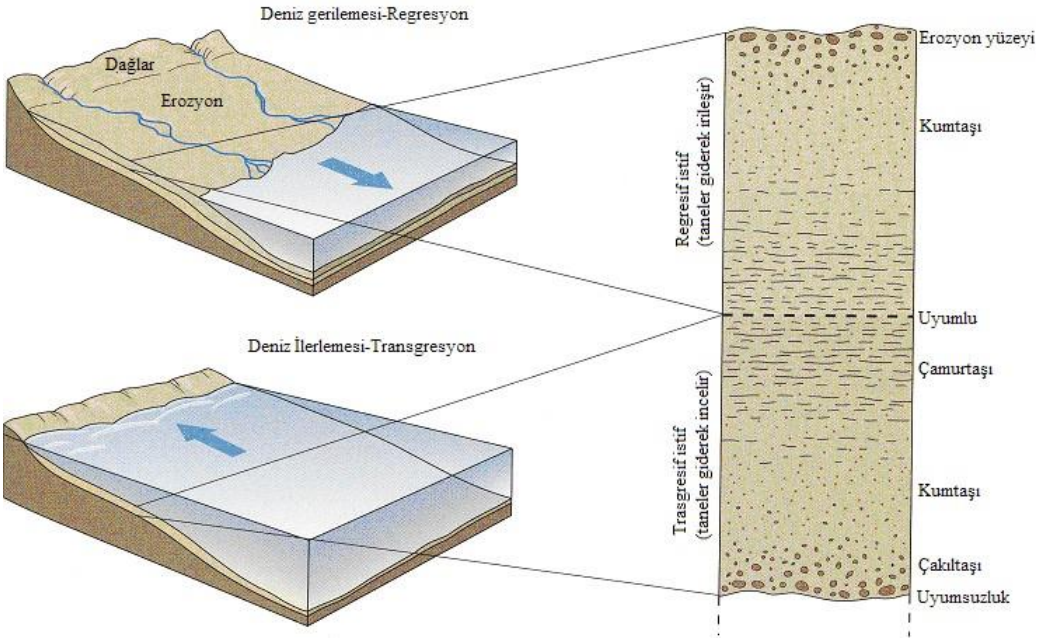
Jeolojik süreç boyunca çok sayıda katmanlar üst üste gelerek bir ***istif*** meydana getirirler. Dolayısıyla, istif geniş anlamıyla ***bir kayatürü (litoloji) topluluğunu*** ifade eder.

Denizin herhangi bir biçimde karaya doğru ilerlemesine ***trangresyon*** ve bu sırada meydana gelen oluşuklara ***transgresif dizi*** denir. Bu dizi, bir taban çakıltaşı ile başlar, giderek taneleri küçülen kumtaşı, silttaşı, kiltaşı ve marn ile devam ederek kireçtaşı ile son bulmakta olup altındaki dizi ile ilişkisi de ***uyumsuzluk (unconformity)*** olarak yorumlanır. Yani çökelmenin olmadığı bir dönemi temsil eden gömülü bir aşınma yüzeyi ya da jeolojik kayıtta bir boşluk uyumsuzluk olarak tanımlanır. ***Uyumsuzluk yüzeyi***, uzun ya da kısa süre su yüzü olmuş ve atmosfer etkisinde kalmış eski bir aşınma yada ayrışma yüzeyidir.

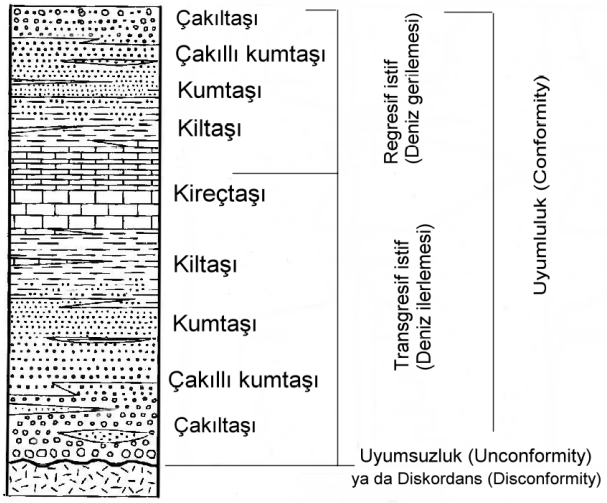
Uyumsuzluk yüzeyinin her iki tarafındaki katmanların eğimi arasında belirli bir açı varsa açılı uyumsuzluktan (açılı diskordans'dan) söz edilir**.** ***Açılı uyumsuzluk*** iki tarafta yer alan katmanların arasındaki bir deformasyon evresine işaret eder. Eğer uyumsuzluk yüzeyinin her iki tarafındaki katmanlar birbirlerine paralel iseler, bu durum ***boşluklu uyumsuzluk*** (ya da disconformite) olarak tanımlanır.

Denizin herhangi bir biçimde geriye doğru çekilmesine ***regresyon*** ve meydana gelen oluşuklara ***regresif dizi*** denir. Bu dizi, genel olarak kireçtaşı ile başlar, giderek taneleri büyüyen marn, kiltaşı, silttaşı ve kumtaşı ile devam ederek çakıltaşı ile son bulmakta olup altındaki dizi ile ilişkisi uyumluluk (conformity) olarak yorumlanır (Şekil 8). Sonuç olarak istif içinde katmanlar uyumlu ise ve çökelmede bir boşluk yoksa katmanlar ***uyumlu (concordance)***, çökelmede bir ara verme ya da bir eksiklik olduğu zaman katmanlar ***uyumsuz (discordance)*** bir yapı sunarlar.

Transgresyon ve regresyon olayları doğada sürekli olarak birbirini izler. Böylece, her bir transgresyondan sonra bir regresyon gelişir. Trangresyon ve regresyon olayları sonucunda meydana gelen istifler birleşerek ***tam bir istif (kat)*** meydana getirirler (Şekil 8).



B



Şekil 8. Deniz ilerlemesi ve gerilemesi sırasında oluşan istifler (A) (Davidson ve diğerleri, 1997) ve oluşan bir kat (B) (Kaya, 2003'ten kısmen değiştirilerek).

Gel-git (med-cezir) olayları, akarsu taşkınları, tsunami (deniz dalgaları) ve tektonik olayların denetiminde gelişen deniz ilerlemeleri ve gerilemeleri ya da fayların kıyılardaki yansımaları titizlikle izlenmelidir. Kıyılardaki deniz hareketlerine ilişkin ölçümler periyodik olarak yapılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

İstifler arası ilişkiler, her zaman uyumlu ya da uyumsuzluk olarak tanımlanan ilişkilerden ibaret değildirler. Bazen, oldukça eski olan bir istif, genç bir istifin üzerinde de yer alabilir. ***Tektonik ilişki*** ya da ***tektonik uyumsuzluk*** olarak tanımlanan bu durum, tektonik yapının konumuna göre, ***bindirme***, ***sürüklenim*** ya da ***nap*** olarak yorumlanabilir. Böyle durumlarda, olağan stratigrafik ilişkiler yerine, tektono-stratigrafik ilişkiler gündeme gelir.

KAYNAKLAR

Apaydın, A., 2001, Jeolojik Zaman Cetveli, Doğuşu ve Gelişimi: Mavi Gezegen, Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Popüler Yerbilim Dergisi, s, 8-15.

Bolles, E. B., 2004, Galileo's Commandment – An Anthology of Great Science Writting (Galileo'nun Buyruğu: Bilim Yazılarından Bir Derleme, Çev. Nermin Arık). TUBİTAK Popüler Bilim Kitapları 137, Ankara, 549s.

Hawking, S., 2005, A Briefer History of Time (Zamanın Daha Kısa Tarihi, Çev. Selma Öğünç). Doğan Kitapçılık AŞ, 19 Mayıs Cad. Golden Plaza No.1, Kat 10, 34360, Şişli- İstanbul, 129s.

JMO, 2001, Jeolojik Zaman; Mavi Gezegen, Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Popüler Yerbilim Dergisi, Ankara, s, 80.

Kaya, O., 2003, Uygulamalı Stratigrafi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:72, Ankara, 150s.

Ketin, İ., 1977, Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, 597 s.

MTA, 1974, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Haritaları İçin Teknik Standartlar, Yayın No. 152, Ankara, 40 s.

Oldroyd, 2003, İnsan Düşüncesinde Yerküre: TUBİTAK Popüler Bilim Kitapları (Çev. Ülkün Tansel); Ankara, 563 s.

Press, F. ve Siever, R., 1974. Earth, W.H. Freeman and Company, USA.

Şengör, A.M.C., 2000, Jeolojik Takvim. Cogito, Sayı: 22, (JMO adına ek olarak basılmıştır), Üç-Er Ofset, İstanbul, 47s.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Ziegler, B., 1972. Allgemeine Plaontologie. Schweizerb, Verlag. Stuttgart.

Bölüm 9. DOĞADAKİ YAŞAM, JEOLOJİK EVRİM VE GELECEĞİ

GENEL BİLGİLER

Evrim denilince çoğu kez akla, hemen canlıların evrimi (biyolojik evrim) ve insanın maymundan türemesi gelmektedir. Oysa evren "tümüyle" evrim geçirmektedir. Örneğin, kozmolojik evrim, jeolojik evrim ve biyolojik evrim gibi evrim türleri söz konusudur. Dolayısıyla evrimin de "Kürleçekimi Yasası" gibi yasaları vardır. Ayrıca, insanın yaşamının evrilmesi yani "insani (beşeri) evrim" başlı başına incelenmesi gereken bir konudur.

Yaşamın başlangıcı ve zaman içinde evrimi, uygarlık tarihinin her döneminde insanları ve kimi bilginleri çeşitli yönleriyle düşündürmüştür. Bilim ve teknolojinin düzeyine ve insanların yaşamı algılama düzeylerine bağlı olarak yaşamın başlangıcına ve gelişmesine yönelik birçok varsayımlar ileri sürülmüştür. Yaşamın kaynağı ve sürekliliği ile ilgili varsayımlar, iki genel bölümde irdelenebilir:

1. Dini yaklaşımlar
2. Yaşamın evrimi ile ilgili bilimsel yaklaşımlar

İlk varsayımlar, doğaüstü bir varlığın (Tanrı'nın) yaratma gücü ile yaşamın ve evrenin biçimlendiği inancına dayanır. Kutsal kitaplarda da yer alan bu görüşün inananlar açısından kanıtlanması zorunluluğu yoktur. Buna göre yaşam, madde ile birlikte Tanrı'nın 'ol' dediği zamandan beri vardır. Bu görüş, '***Durağan Hal Kuramı'*** olarak tanımlanmıştır.

Kasım 1891'de Yer'i algılama anlayışını köklü bir şekilde değiştiren sıra dışı bir kitap yayınlandı. Bu kitapta, Charles Darwin'in ***'Doğal Seçilim Yoluyla Türlerin Kökeni Üzerine'*** kitabı doğal seçilim yoluyla evrime dair kapsamlı veriler sundu. Ortaya koyulan kuram, en çok tartışılan ve günümüz kadar giderek daha da gelişen bir yaklaşımı temsil etmektedir. Yaşamın evrimi ile ilgili bu yaklaşıma göre yaşam, önce basit biçimiyle cansız maddelerden uzun süren tepkimelerin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. İlk canlılar oksijensiz ortamda tek hücreli olarak, daha sonra ise çok hücreli canlılar türemiştir. Bu canlılar da zamanla gelişerek çeşitli türlere ayrılmış ve insan da bu gelişimin son evresinde en gelişmiş bir varlık olarak ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım, ***Yaşamın sürekli bir biçimde evrimi'***ni öngörmektedir.

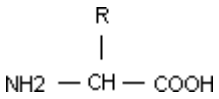
Ağırlıklı olarak Ketin'in (1977) "Canlı varlıkların oluşumu ve evrimi" konusu ile Demirsoy (1999), Gamblin (1999), Sakınç'ın (2006) ve Palmer ve Barret'in (2010) çalışmalarından esinlenerek hazırlanan bu bölümde, önce bilimin ışığında yaşamın oluşumu, daha sonra da sıra ile doğal yaşamın günümüze kadarki jeolojik evrimi ve geleceği irdelenmiştir.

YAŞAMIN OLUŞUMU

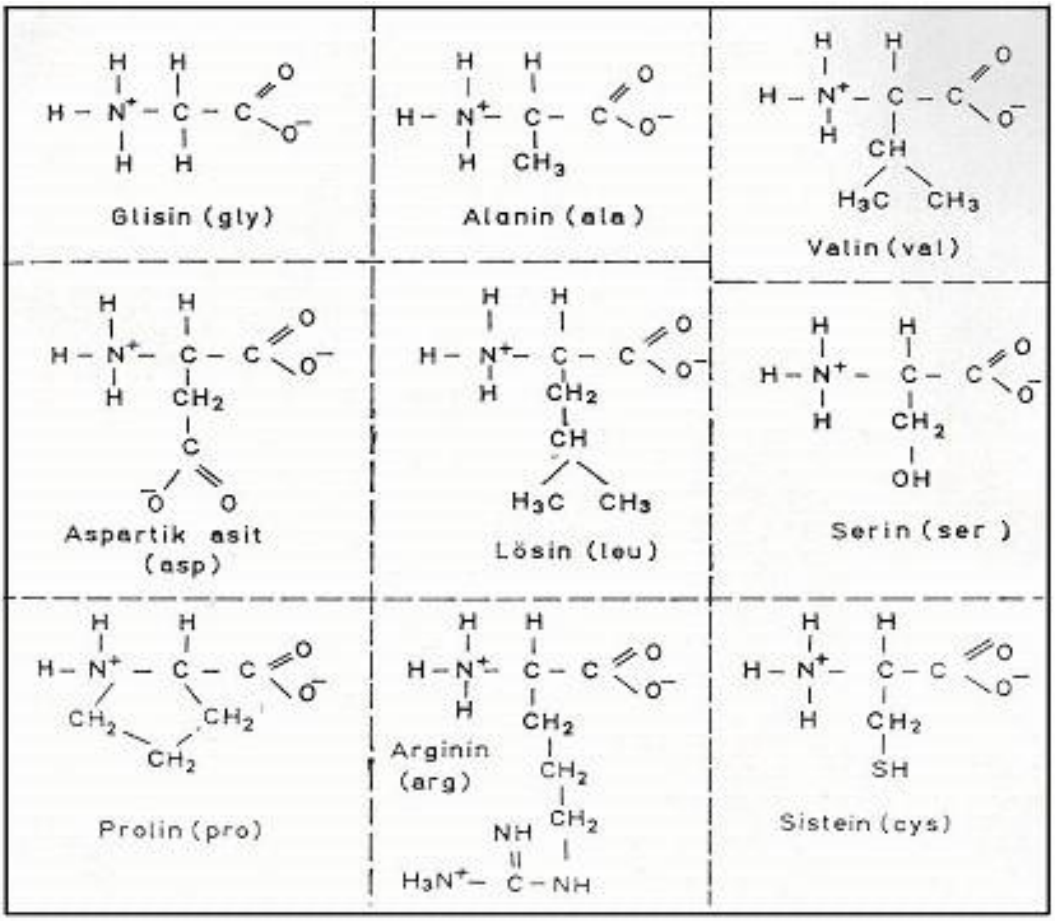
Çevre, belli bir mekân ve canlılardan oluşur. Dolayısıyla, çevre başlıca toprak, su, hava gibi kökeni inorganik olan bileşiklerin yanı sıra, flora ile fauna gibi bünyesinde organik bileşikler de barındıran bir bileşime sahiptir.

Yaşamın oluşumu konusuna girmeden önce canlı varlıkların kimyasal bileşimini incelemekte yarar vardır. Canlılar moleküler bir dizilimin ürünüdür. Moleküler çeşitlenmeyi yani, biyolojik çeşitliliği sağlamak için birden çok bağ oluşturabilen karbon ve silisyum gibi elementlere gereksinim vardır. Biyolojik yapı, temelde elementlerden oluşmaktadır. Hemen hemen tüm canlılar su, karbonhidratlar, yağlar, fosfatlar, proteinler ve nükleik asitlerden oluşurlar. Bu bileşikler arasında ***su*** en çok bulunan ve yaşam için zorunlu olan bir maddedir. ***Karbonhidratlar*** ve ***yağlar*** birer enerji kaynağı işlevini görürler. ***Fosfatlar*** da bir tür yedek enerji kaynağı ya da enerji aktarım araçlarıdırlar. ***Proteinler*** ve ***nükleik asitler*** ise canlı yaşam için temel yapı elemanlarıdır. Hücre çeperleri, kaslar, saçlar ve diğer kimi unsurlar proteinlerden oluşurlar. Proteinlerin bir türü olan ***enzimler*** ise yaşamın kimyasal reaksiyonlarını kolaylaştırır ve katalizör görevi yaparlar.

Proteinler, amino-asitlerin çizgisel zincirlerinden oluşan büyük ve karmaşık moleküllerdir. Amino-asit molekülleri değişik biçimlerde bağlanarak peptit zincirlerini oluştururlar. Bu zincirlerin birleşmeleri ile polipeptitler meydana gelir. Polipeptit zincirlerinin birleşmesiyle proteinler ortaya çıkar. Amino-asitlerin yalın bir formülü aşağıdadır:



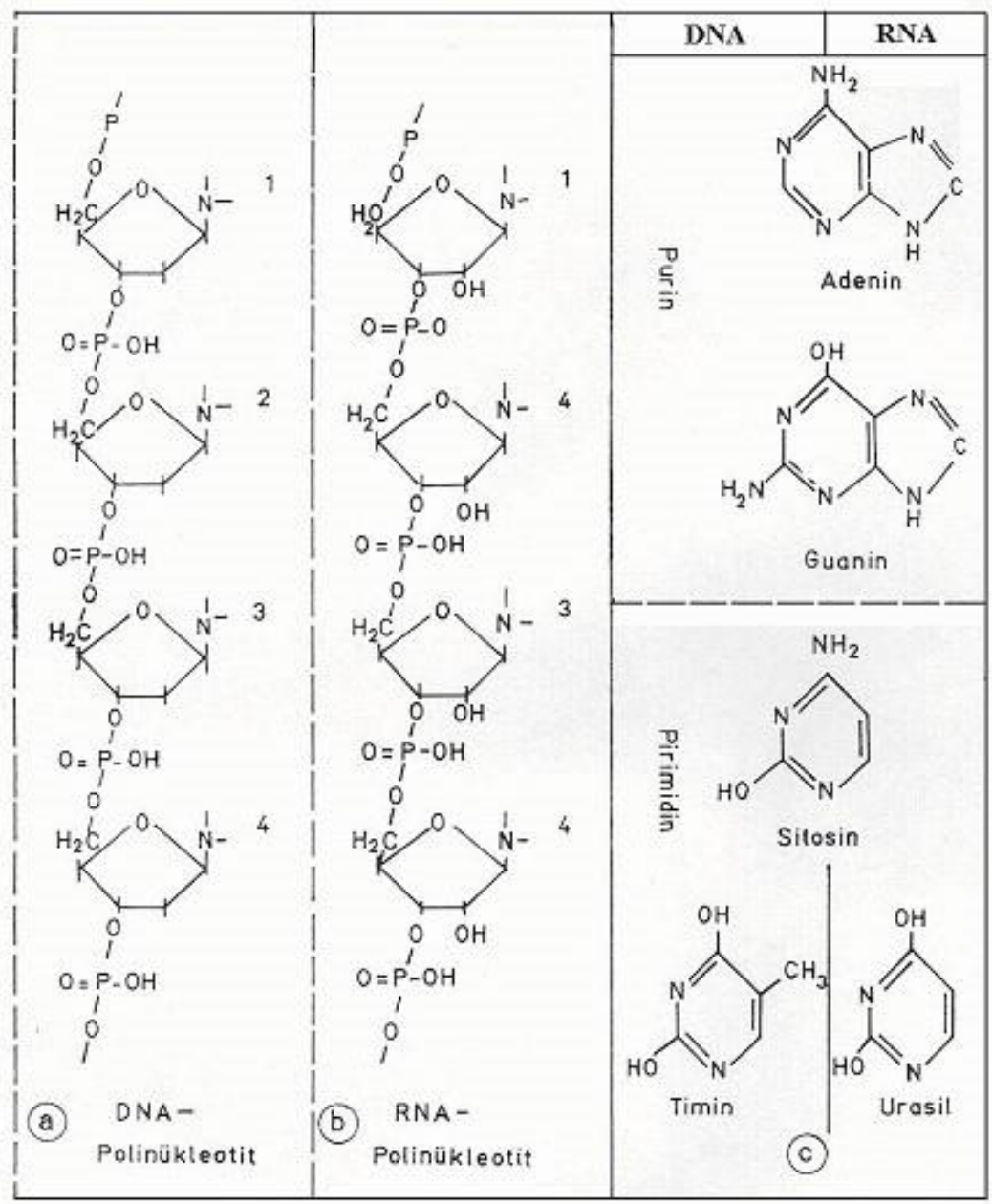
Sunulan formülde R, radikal atomlar ya da atom gruplarıdır. Yukarıdaki yalın formülde ve Şekil 1'de görülen proteinleri oluşturan amino-asitlerin formüllerine bakıldığında, hidrojen (H), oksijen (O), karbon (C), azot (N) gibi elementlerin egemen olduğu söylenebilir.



Şekil 1. Proteinleri oluşturan amino-asitlerin başlıca örnekleri (Meister, 1965; Ketin, 1977).

Nükleik asitlerin ise iki türü vardır. Bunlardan biri deoksi-ribo-nükleik asit (DNA), diğeri ise ribo-nükleik asittir (RNA). Bunlardan birincisi hücre çekirdeğinde bulunur ve genleri etkiler. Diğeri, çekirdek dışında hücrenin stoplazmasında yer alır. Bitki virüsleri gibi basit organizmalarda yalnız RNA bulunur. Nükleik asitler helezon biçimli iki uzun zincirden oluşur. Her bir zincir ***nükleotit*** denilen birbirine benzer küçük birimlerden yapılıdır.

Bir nükleotitin üç bileşeni vardır. Bunlar fosforik asit molekülü, deoksiriboz denilen şeker molekülü ve azotlu bileşiklerden bir bazdır. DNA içindeki dört adet baz ise iki pürin ve iki pirimidinden meydana gelmiştir. Nükleik asitler, yaşamın metabolizma faaliyetini ayarlar ve kimyasal durumunu denetlerler. DNA ve RNA yapıları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Nükleik asit DNA ve RNA'nın kimyasal yapıları. a) DNA-polinükleotit, b) RNA-polinükleotit, c) Purin ve Pirimidin (Berner, 1967; Rutten, 1971; Ketin, 1977'den).

DNA ve RNA yapıları irdelendiğinde canlı yaşamın kimyasal yapısını oluşturan altı elementin varlığı hemen görülür. Proteinleri oluşturan elementlerin (hidrojen (H), oksijen (O), karbon (C) ve azotun (N) yanı sıra) fosfor (P) ve kükürt (S) gibi elementlerin farklı oranlarda canlıların bünyesinde yer aldığı görülür. Doğada cansız çevrede de en çok bulunan bu elementlerin canlıların yapısını da

oluşturmaları bir rastlantı değildir. Bu doğadaki evrimin de alt yapısını oluşturur. Özellikle karbon (C) organizmaların karmaşık moleküllerinin yapısına girer ve ***organik bileşiklerin*** oluşumunu sağlar. Oksijen (O) de organik yaşam gelişmeye başladıktan sonra önemli bazı işlevleri yerine getirir.

Yaşam için gerekli olan bu altı element ve bunların bileşikleri olan proteinler ve nükleik asitler yer tarihinin ilk evrelerinde de vardı. Yaşam da bu ana maddeleri içeren fizikokimyasal bir sürecin ürünü olarak gerçekleşmiş olabilir.

Canlı organizmaların üremesi ve çoğalması ile yeni türlerin meydana gelmesi gen denilen cinsel regülatörler tarafından denetlenmektedir. Genler, DNA-nükleik asitten oluşurlar ve hücrenin çekirdeğinde yer alırlar. Binlerce gen yan yana gelerek kromozomları oluşturur. Kromozom sayısı, türlere göre değişir. En çok karşılaşılan sayılar 5 çift ile 30 çift arasındadır. Erkeklerde 23 çift kromozom bulunur. Genlerde asıl irsiyet (cinsellik) taşıyan elemanlar ***allel*** 'lerdir. Örneğin erkeklerde göz rengi, alleller aracılığı ile kuşaktan kuşağa geçer. Genlerde farklı özelliği olan yeni bir allelin birden ortaya çıkmasıyla herhangi bir türün yapısında meydana getirdiği kalıtsal değişime ***mutasyon*** denir. Bu olay, tüm canlılarda sürekli, ancak çok yavaş olarak gelişir.

Canlıların kromozomları binlerce gen içerdiğinden ve genlerin her birinde birçok alleller bulunduğundan allellerin farklı niteliklerde yeni bireyler üretebilmeleri için sınırsız karışma olanağı var demektir. Öte yandan, hiçbir evlat tam olarak anne ve babasına, ya da kardeşler bile tam birbirine benzemezler. Bir tür özelinde bireyler arasında meydana gelen farklılıklara ***varyasyon*** (variation) denir.

Sonuç olarak, oluşan ilkel canlıların çoğalması ve çeşitli türlere ayrılması ile günümüzdeki ekosistemlerin ortaya çıkması, varyasyonun yanı sıra mutasyonun yönlendirdiği doğal evrimin bir parçasıdır.

EVRİMİ YÖNLENDİREN SÜREÇLER

Evrimi yönlendiren ana mekanizma mutasyondur (Demirsoy, 1999). Kalıtsal olarak aktarılabilen değişiklikler iki grupta toplanmaktadır:

1. Nokta mutasyonları
2. Kromozom değişimleri

Nokta mutasyonlar: Morötesi, yüksek enerjili X, gama, alfa ve beta ışınlarının oluşturduğu ortam ve koşullar DNA'nın yapısını doğrudan etkileyebilir. DNA'nın yapısındaki bir bazın değişmesi, kromozom üzerindeki yerine göre canlıya yeni bir nitelik ekleyebilir. Böylece canlıda meydana gelen değişim nokta mutasyona yol açar.

Kromozom değişimleri: Bazı canlılarda doğrudan kromozom değişimi yoluyla yeni nitelikler kazanırlar. Yani kromozomların yapısında ya da sayısında değişiklikler olabilir. Bu değişim, coğrafik ve iklimsel etkilere bağlı olarak bazı türlerin kararlı, bazı türlerin ise kararsız popülasyonlar oluşturmasına yol açar. Yani yaşam ortamındaki çevresel koşullar kararlı halde ise kararlı popülasyonlar oluşur. Ne var ki koşulların değişimi, popülasyonun kararlılığını bozar. Bu da evrime yol açmaktadır.

Evrimin gelişmesinde türlerde çeşitliliğin yüksek olması önemlidir. Çeşitlilik doğal seçilimin etki edebileceği varyantları yaratır. Çevredeki koşullar değiştikçe doğal seçilim etkin hale gelir. Buna bağlı olarak türün ortalama nitelikleri de değişime uğrar. Evrim de bir türün genlerinin ve özelliklerinin nesiller içinde değişimi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, türlerde çeşitliliğin yüksek olması ***'Evrimin Yakıtı'*** olarak değerlendirilmektedir.

Değişmekte olan iklim ve doğa koşullarına genetik olarak iyi uyum sağlayan canlıların, daha uzun süre hayatta kalma şansları vardır. Doğal seçilim denen bu süreçte, ortama en iyi uyum sağlayan türlerin yavruları yaşayabilir ve atalarının genetik mutasyonlarını kendi soylarına aktarabilir.

Modifikasyon (ya da ***varyasyon***) ise, çevre koşullarının etkisiyle herhangi bir türün yapısındaki bir genin zorunlu ya da tercihli olarak uyarılması ya da işlevlerinin teşvik edilmesi-güçlendirilmesi sonucunda canlının dış görünümünde (fenotip) ortaya çıkan ve kalıtsal olmayan değişikliklerdir. Bunların evrim açısından önemi sınırlıdır. Bir çiçeğin farklı sıcaklıklarda farklı renkte çiçek açması, bir insanın beslenmeden ileri gelen kilosunun fazla ya da eksik olması, farklı sıcaklıklarda yetiştirilen aynı tür böceklerin farklı renklerde olması gibi durumlar kalıtsal olmayan modifikasyon örnekleridir.

YAŞAMIN OLUŞUMUNA YOL AÇAN KOŞULLAR

Yer'in yaklaşık 4.5 milyar yıl önce oluştuğu kabul edilmektedir. 4,5 milyar yıl önceki koşullar, çeşitli basit moleküllerin yanı sıra proteinlerin yapıtaşları olan amino-asitlerle DNA ve RNA'nın yapıtaşları olan sitozin (S), guanin (G), adenin (A) ve urasil (U) adı verilen bazların sentezlenmesine elverecek niteliklere sahipti. İlkel atmosfer koşullarında gerçekleştirilen deneylerin çoğunda amino-asitler ve bazlar inorganik maddelerden sentezlenerek elde edilebilmiştir (Demirsoy, 1999).

Yaşam için gerekli olan elementlerin Güneş Sistemi'nde de yaygın olduğu, Güneş'ten ve diğer gezegenlerden yeryüzüne ulaşan ışınların spektroskopik analizlerinden ve yeryüzüne düşen meteoritlerin kimyasal bileşimlerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca gezegenlerin atmosferlerine yönelik incelemeler de gözetildiğinde Yer'in ilk atmosferinin esas itibarıyla hidrojen, helyum, metan, amonyak ve su buharından oluştuğu söylenebilir. Bu ilk atmosferde oksijenin olmaması, buna karşın hidrojenin egemen olması önemlidir. Yaşamın başlamasında, oksijensiz ilk atmosferin etkisi büyüktür. İlk atmosferin bileşimi yanardağlardan çıkan gazların bileşimine benzerdi. Serbest oksijen ise volkanik gazlar arasında ya da ilk atmosferde yoktu. Dolayısıyla ilk atmosfer oksitleyici değil, redükleyici idi. H_2 ve N_2 bu ilk evrede metan (CH_4) ve amonyak (NH_3) biçiminde bulunuyordu.

Yapılan deneysel çalışmalar, amonyak, metan, hidrojen ve su buharından oluşmuş ilkel atmosferde, elektrik kıvılcımları etkisiyle canlı sistemlerin karmaşık moleküllerinin oluşabileceğini açıkça göstermiş bulunmaktadır. Dolayısıyla 3.5-4 milyar yıl önce yer kabuğunun ilk atmosferinde yaşamın ana elemanları olan amino-asitler ve nükleik asit ile karbonhidrat molekülleri, güneş ışınları ve elektrik boşalımı ile meydana gelmiş olmalıdır. Bu moleküller deniz ve göllerde toplanarak "***organik çorbayı***" oluşturmuşlardır.

1.5-2 milyar yıl önce Güneş ışınlarının okyanusların yüzüne vurarak ***suyu elementlerine ayrıştırmasıyla (fotodisosiyasyon),*** serbest oksijen(O_2) oluşmuştur. Serbest oksijenin belirli bir yükseklikte, yüksek enerjili Güneş ışınları ile bombardımanı sonucu ozon(O_3) meydana gelmiştir. Ozonun atmosferde belli bir yükseklikte giderek bir katman oluşturmasıyla, canlıların Güneş'in yakıcı mor ötesi ışınlarının etkilerinden korunması mümkün olmuştur. Ozon katmanının ince olduğu dönemlerde canlılar denizlerin altında yaşamlarını sürdürmüştür. Su da ayrıca tepkimelere zemin oluşturabilme ve ısıyı yüksek oranda tamponlayabilme özelliğinden dolayı, yaşam için önemli bir ortam oluşturur (Demirsoy, 1999).

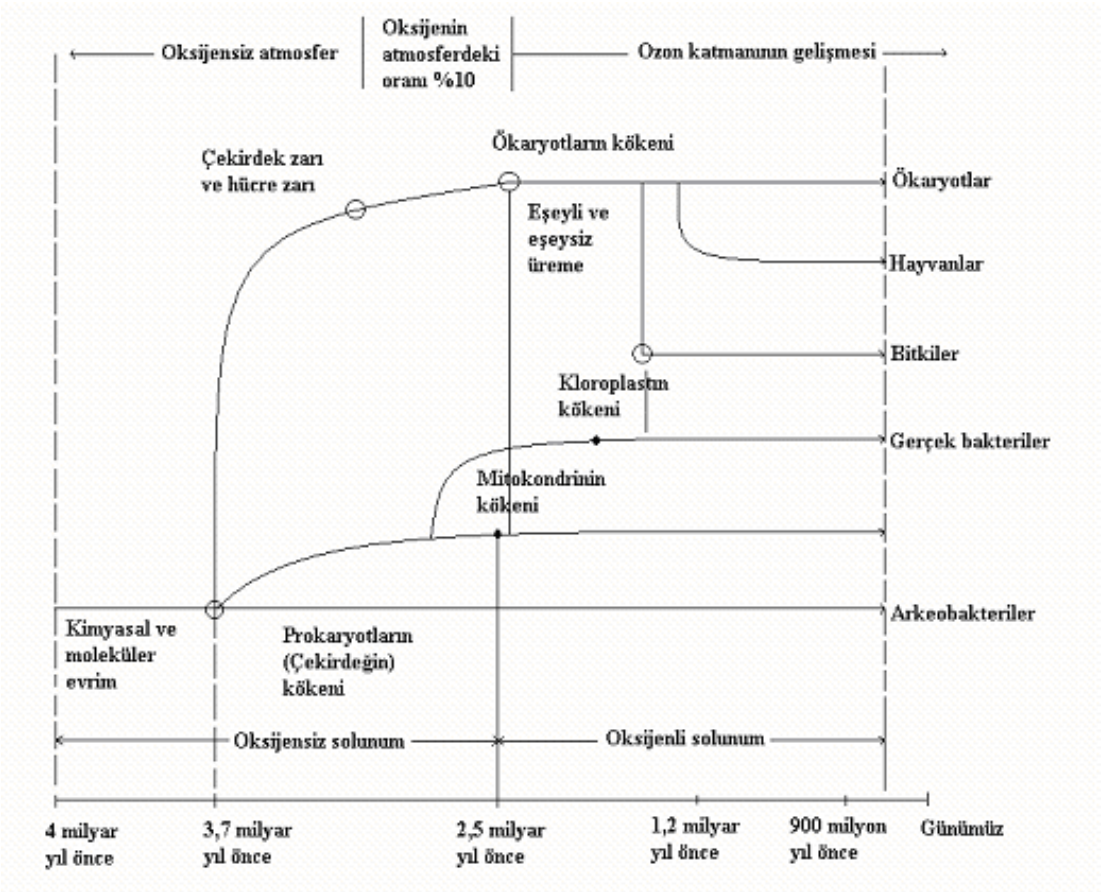
Organik çorba içinde önce basit bileşime sahip polimerler ve fotosentez yapamayan ancak ***fermantasyonla*** (anaerob olarak) yaşamlarını sürdüren tek hücreli organizmalar meydana gelmiştir. Cansız ortamdan canlı ortama geçiş son derece karmaşık ve günümüzde de çeşitli yönleriyle tartışılan bir konudur.

Fotosentetik bakterilerin ortaya çıkışı ile atmosferdeki oksijen yalnızca fotodisosiyasyon yoluyla değil, fotosentez yoluyla da oluşmaya başlamıştır. Oysa polimerlerin en büyük düşmanı serbest oksijendir. Oksijen polimerleri oksitleyerek parçalar. Dolayısıyla Yer'in başlangıç evresinde oksijen ortaya çıksaydı yaşamı önleyecekti. İlk atmosferde oksijenin olmaması, polimerlerin milyarlarca yıl varlıklarını korumasını sağlamıştır. İlk atmosfer koşullarında S, G, A ve U bazları bir araya gelerek RNA(ribonükleik asit) oluşturmuştur. Büyük bir olasılıkla yaşam RNA ile başlamıştır. Daha sonraki bir aşamada RNA, urasil (U) ve timine (T) dönüşmüştür. Bu noktadan sonra daha kararlı bir molekül olan

DNA ortaya çıkmıştır. RNA ve DNA zincirlerini taşıyan moleküller günümüzdeki hücre zarına benzeyen polimerlerin içerisine girmiş olabilir. Bu ilkel hücre zarı, yeni elementlerin katılımıyla daha organize bir hücre zarına bürünmüştür (Demirsoy, 1999).

Bakteri benzeri ilk yapılar, inorganik yollarla sentezlenen glikozu ve ATP'yi (adenintrifosfatı) enerji kaynağı olarak kullanmaya başlamıştır. Bu yapılar çevrede daha önce birikmiş olan glikozu tüketince, Dünya'da ilk besin zinciri krizi ortaya çıkmış ve o günkü (yani, Prekambriyen başlarında) canlıların büyük bir bölümü ortadan kalkmıştır.

Hücre zarı üzerine yeni elementler eklenince daha önce doğrudan Güneş ışınları ile okyanus üzerinde gerçekleşen fotodisosiyasyon, artık hücrenin yüzeyinde gerçekleşmeye başladı. Su molekülleri hücre zarında parçalanırken ortaya çıkan hidrojen glikozun yapımında kullanılmıştır. Oksijen ise ortama atık madde olarak verildi. Böylece ilk fotosentez işlemi başlamış oldu. Fotosentez yoluyla Dünya'daki oksijen miktarı yükselince, ozon katmanı güçlendi. Güneş'in mor ötesi ışınlarının etkilerinin azalmasıyla, denizlerin dibinde bulunan canlılar su yüzeyine çıkmaya başladı ve yaşam ozon katmanın güçlenmesine koşut olarak yeryüzünün tüm alanlarına yayıldı. Yaşamın doğuşu ve evrimi ile ilgili ayrıntılar, Şekil 3'te yalınlaştırılarak sunulmuştur. İlk hücreler, hayvan ve bitki hücreleri niteliğini kazanana dek, DNA tek zincirli çember formundaydı. Bu formdan gelişerek önce kromozomlara ve daha sonra çekirdekli canlılara(ökaryotlara) dönüşmüştür.

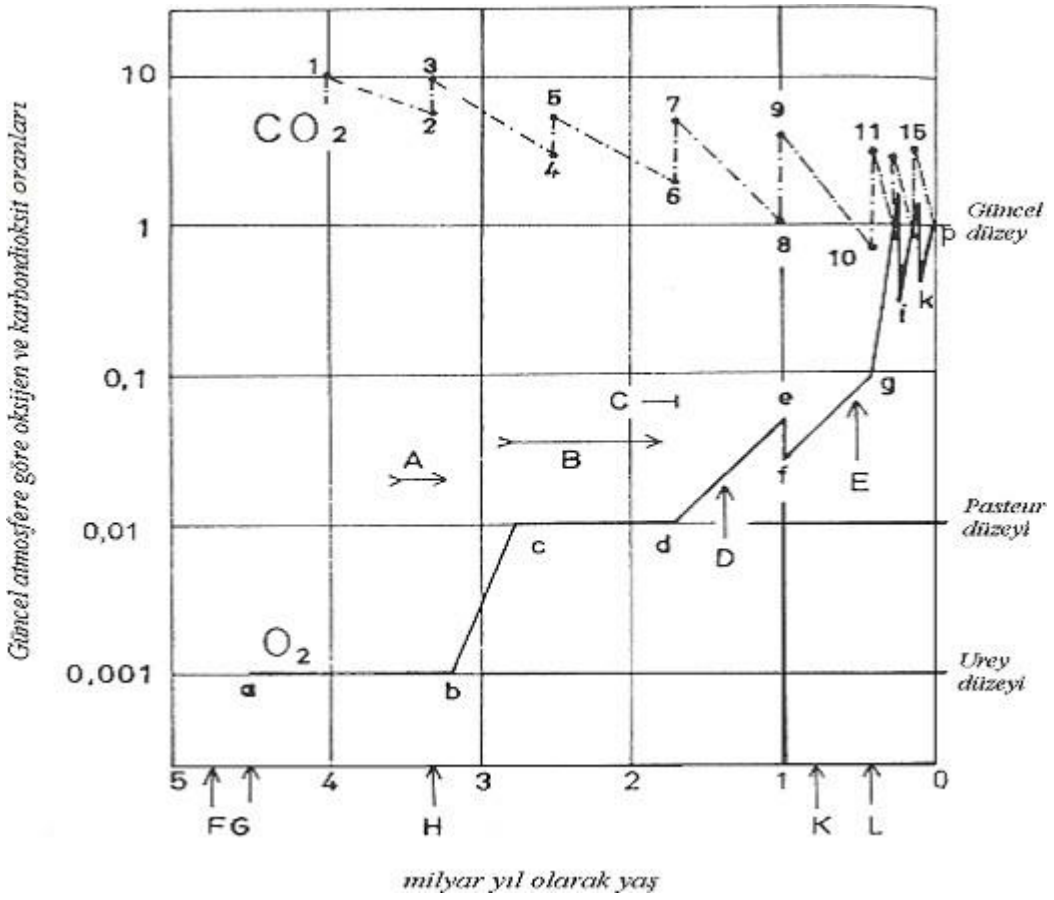


Şekil 3. Yaşamın doğuşu ve evrimi, çekirdeğin, mitokondrinin ve kloroplastın kökenleri (Demirsoy, 1999'dan kısmen değiştirilerek).

Ökaryotlar bitkilerin ve hayvanların atası olarak kabul edilmektedir. Ökaryotlar, mutasyon (genetik kodların değişimi), tranformasyon (DNA'nın genomuna katılması), eşeyli üreme ve parça değişimi (krosingover) gibi süreçlerin denetiminde evrim geçirerek diğer canlılara dönüşmüştür.

Atmosferde serbest oksijenin ve CO_2'in artışı daha sonra devam etmiştir. İlk atmosferde bulunan serbest oksijen miktarı, günümüzdeki oksijen miktarının binde biri (Urey düzeyi) kadardı (Şekil, 4). Güncel düzeye göre O_2 ve CO_2'in artmasına koşut olarak yaşamın niteliği de değişime uğramıştır. Atmosferdeki serbest oksijen miktarının güncel durumun yüzde biri (0.01) düzeyine yükseldiği döneme Pasteur düzeyi denilmiştir (Rutten, 1971; Ketin, 1977).

Şekil 4'de yaklaşık 4.5 milyar yıl önceden itibaren güncel atmosfere göre O_2 ve CO_2 oranlarının jeolojik zaman içinde değişimi ile yaşam arasındaki ilişkiler görülmektedir. Yaşamın nasıl başladığı kesin olarak bilinmemekle birlikte, genel olarak kabul gören varsayımlara göre, Yer'in ilk kabuğunun oluşumuna yol açan volkanik faaliyetler, suda ve havada gelişen kimyasal tepkimeler yaşamın başlamasında belirleyici olmuştur. Şekil 4'te göre organik fotosentez yaklaşık üç milyar yıl evvel, solunumun başlangıcı 2 milyar yıl evvel başlamış olmalıdır.



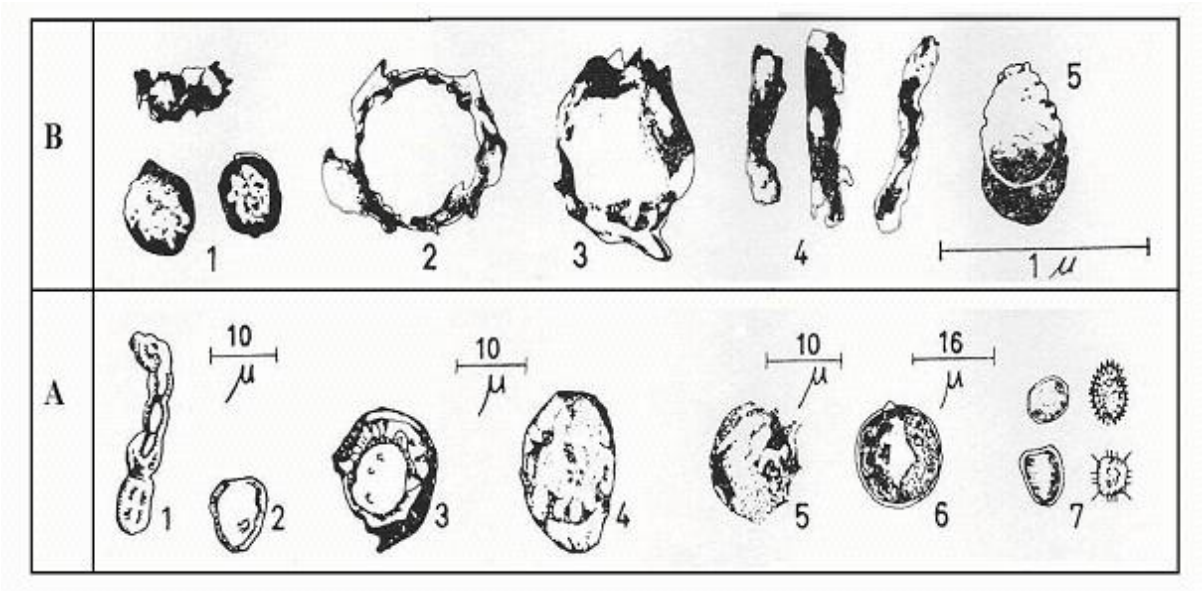
Şekil 4. Atmosferdeki O ve CO_2'nin olası gelişimi (Rutten, 1971; Ketin, 1977'den)
A: Organik fotosentezin başlangıcı, B: Solunum başlangıcı, C: Anorganik fotosentezin sonu, D: İlk kırmızı (Dala kumtaşı) katmanları, E: Kabuklu hayvanların ilk kez ortaya çıkışı, F: Yeryuvarının yaşı, G: En yaşlı kaya, H: En yaşlı kabuk kayası, K: En yaşlı hayvanlar, L: En yaşlı bitkiler

Dünya'da yaşamın 3.6 ile 3.8 milyar önce başladığı tahmin edilmektedir. İlk ortaya çıkan canlılar basit yapılı çekirdeksiz tek hücreli bakterilerdir. Bilinen en eski fosiller, Avustralya masifinde saptanan siyano-bakterilerin oluşturduğu stromatolitler olup, bunlar da 3.5 milyar yaştadır. İlk çekirdekli hücreler yaklaşık 2 milyar yıl önce ortaya çıktı. Tek hücreli yaşamdan çok hücreli yaşama geçiş ise yaklaşık 1.8 milyar yıl önce olmuştur. Basit yapılı, çok hücreli ilk hayvanların (Ediacara faunası) belirmesi ise yaklaşık 600 milyon yıl öncesine denk gelmektedir (Shubin, 2013).

Serbest oksijenin yükselmesi ile oksijensiz ilk atmosfer dönemi yani, anorganik fotosentez yolu ile yaşam da sona ermiştir. Pasteur düzeyini izleyen değişiklik, yeryüzünde oksidasyonun hızlandığı, ilk kırmızı ***"Dala Kumtaşı"*** katmanlarının çökeldiği, 1.8-1.45 milyar yıl öncesine rastlar. İlk kara bitkileri 440 milyon yıl (Siluriyen) öncesinden kanatlı böcekler ve ormanlar ise 300 milyon yıl (Üst Karbonifer) öncesinden beri vardır. Fotosentez olayı, yeryüzünde bitki yaşamının başlangıcı sayılır. Atmosferde yeteri kadar serbest oksijen ve ozon katmanı oluştuktan sonra sığ sularda ve yeryüzünde yaşam mümkün olmuştur. Dolayısıyla, var olan anorganik çevreyle birlikte fiziksel ve kimyasal koşulların sonucu olarak yaşamın orta çıktığı ve geliştiği sonucuna varılmaktadır.

YERYÜZÜNDE YAŞAMIN İLK İZLERİ, İLK GERÇEK FOSİLLER

Güneş sisteminde karbonlu bileşiklerin olduğu bilinmektedir. Ayrıca yeryüzüne düşen meteoritlerde de karbon bileşikleri belirlenmiştir. Örneğin, ***Orgueil*** meteoritinde fosil alglere benzeyen "organlaşmış maddeler" saptanmıştır. Bunlar daha çok tek hücreli yapılara benzemektedir. Çeperlerin çift katlı oluşu, bu yapıların biyolojik kökenli olduklarına yorumlanmıştır (Şekil, 5A).



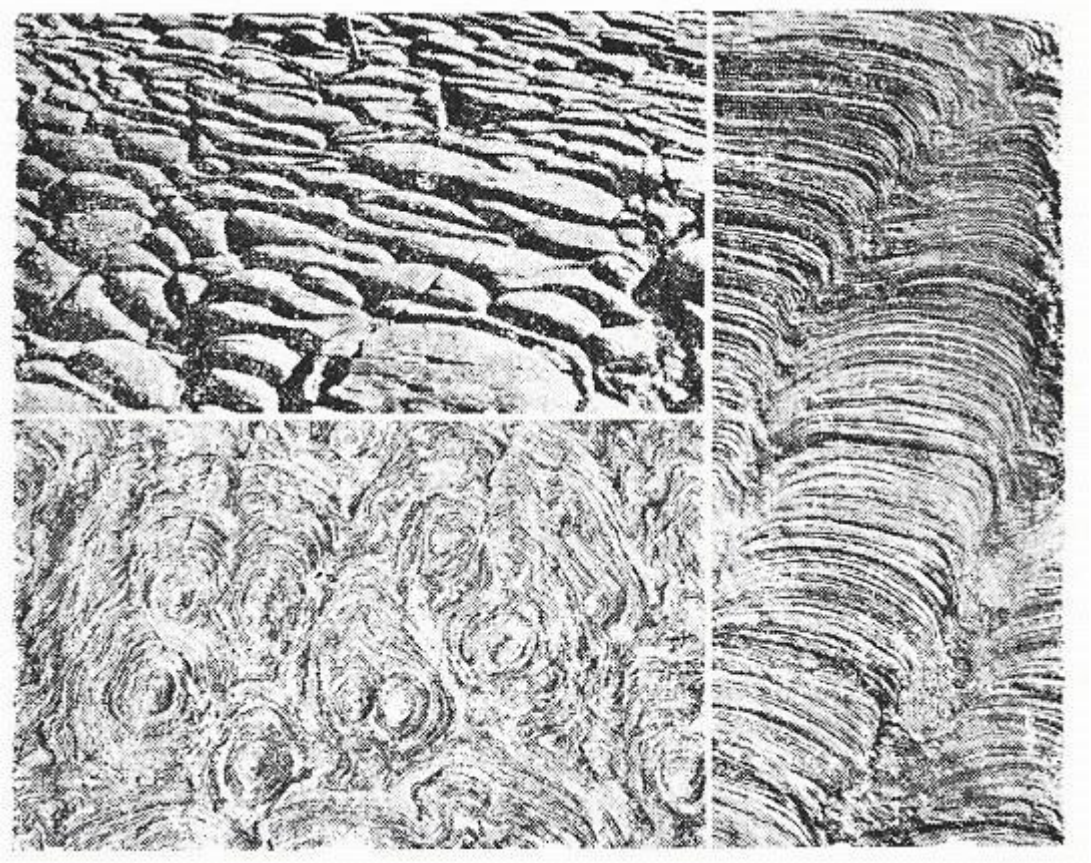
Şekil 5. Kambriyen öncesi zamana ait yaşam izleri ve ilkel fosiller. **A:** Orgueil meteoritinde saptanan "organlaşmış maddelerin" elektron mikroskobu ile çekilmiş resimleri (Rutten, 1971), **B:** Güney Afrika'da Prekambriyen başlangıcına ait Fig Tree serisinde saptanan bakteriler ve algler 1-3: Küresel yapılar, büyütme 425X ve 1100X, 4: tüysel yapılar, büyütme 375X, 5: fosil bakteri (Eobacterium isolatum.gen) boyu 1/3 mikron (Pflug, 1967; Ketin 1977'den).

Yer'in en eski oluşukları, Avusturalya, Güney Afrika ve Kanada kalkanlarıdır. Avustralya masifinden derlenen zinkon kristallerinin radyometrik yaş verilerine göre, en eski kaya 4.1 milyar yıl öncesine tarihlenmiştir. Ayrıca Yer'in en eski kayalarından biri sayılan ve Güney Afrika bölgesinde yer alan ***Swaziland Sistemi***, ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu sistem, altta Onverwacht, üstte Fig Tree adlı iki diziden oluşmaktadır. Altta yer alan Onverwacht dizisi magmatik-volkanik kayalardan

yapılıdır. Üstte yer alan Fig Tree dizisi ise genel olarak çökellerden oluşmuştur. Yeryüzündeki en eski çökelleri temsil eden bu diziler, 3240± 300 milyon yıl yaşta olan Transvaal granitleri tarafından kesilmektedir. Fig Tree dizisinin ince taneli çört ve şeyllerinde fosil olarak kabul edilen organizma izlerine rastlanmıştır. Bileşimlerindeki karbon, özellikle fosillerin dış çeperlerinde yer alır. Bu yapılar, Şekil 4B'de görülmekte olup "***Gunflint florası***"na çok benzerler.

Kuzey Amerika'da Süperior gölü kıyısında yüzeylenen çökellerin orta kısmında yer alan Gunflint Çörtleri'nde saptanan algler, ilk gerçek fosiller olarak kabul edilmektedir. Gunflint alglerinin de fotosentez yolu ile atmosferdeki CO_2'yi ve güneş enerjisini kullandıkları kabul edilebilir. Bu kayalar, 2 milyar yaşında olduklarına göre yeryüzünde fotosentez olayı da en azından 2 milyar yıl önce egemen olmalıdır.

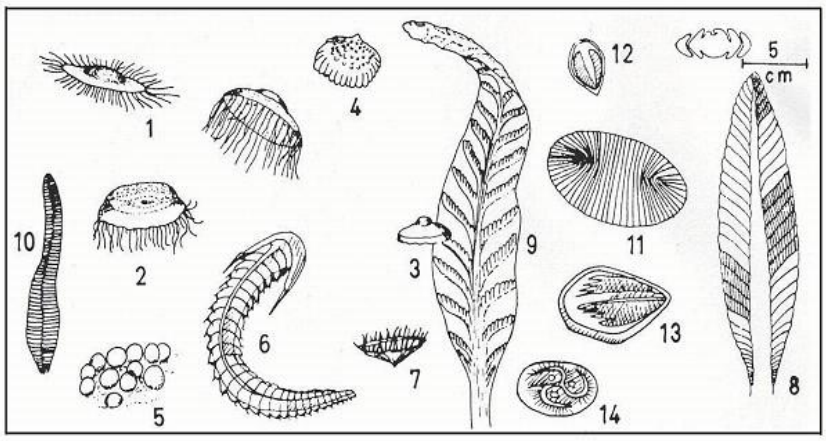
İlk canlıların izlerini temsil eden başka bir örnek, Güney Afrika'da, Avustralya'da ve Kanada'da Kambriyen öncesi yaşlı çökellerde saptanmış olan stromatolitlerdir. Çökelleri grovak, çakıltaşı, kireçtaşı ve dolomitlerle temsil edilen bu kayatürü topluluğu biyojenik yapıdadır. Stromotolitler (mavi-yeşil algler) oksijensiz ilk atmosfer ortamında yaşayan algleri temsil etmektedir. Şekil 6'da, Kanada'da Büyük Slave gölü dolayında saptanmış olan Stromatolit içeren katmanlı ve küresel ayrışma gösteren kireçtaşları görülmektedir. Biyojenik yapıdaki cisimlerin ya da organizmaların kimyasal olarak belirlenebilen ultramikroskbik boyuttaki artıklarına ***"moleküler fosiller"*** denir. Bunlar çok büyük organik moleküllerin dayanıklı parçalarıdır. Çok eski çökellerin içindeki bu fosiller ileri teknoloji ürünü araçların yardımıyla tanımlanmaktadır.



Şekil 6. Kanada'da Büyük Slave Gölü dolayında alınan 2 milyar yıl yaşlı Stromatolitler'in (mavi-yeşil alglerin) oluşturduğu katmanlı, yarı küresel yapı sunan kayalar. Şekil alanı yaklaşık olarak 0.5 m^2 (P. Hoffman, Geol. Surv. Kanada, Alester, 1968; Ketin, 1977'den).

Diğer taraftan Güney Avustralya'da ***Ediacara Tepeleri'***nin kumtaşlarında denizanasına (Medusa'lar) benzer yuvarlağımsı organizma ve bölmeli solucan izleri saptanmıştır. Bu fauna topluluğuna ait görüntüler Şekil 7A'da; Ediacara faunasının olasılı orijinal görünümü Şekil 7B' görülmektedir. İlk gerçek hayvan fosillerini temsil eden ***Ediacara (iskeletsiz ve kemiksiz) fauna topluluğu,*** sert kabukları olmayan normal bir ortamda gelişmiştir. Benzer organizma kalıntıları Yer'in çeşitli bölgelerinde saptanmıştır. Ediacara faunasının yaşı 680-700 milyon yıl (Geç Prekambriyen) olarak kabul edilmektedir. Bu fauna topluluğu, Prekambriyen'in ilkel hayvan grupları ile Kambriyen'de ortaya çıkan gelişmiş hayvan grupları arasında bir geçiş faunası konumundadır. Ancak, Kambriyen faunası ile Ediacara faunası arasında sürekli bir ilişki görülmemektedir.

A



B

Şekil 7. Güney Avusturalya'da Geç-Prekambrien (Eo-Kambrien) yaşlı Ediacara faunası

A, 1-4: Sölentetalardan (Coelenterata) çeşitli medusa'lar, deniz anaları, 5: Algler, 6: Annelid'lerden (halkalı-bölmeli kurtlardan) Spriggina, 7: Conumedusites, 8: Rangea longa, 9: Arborea, 10: Pteridinium, 11: Dickinsonia costata, 12-13: Artopoda'lardan (yengeç-istakozlardan) Parvancorina, 14: Tribrachidiun (Glaesser, 1971; Ketin, 1977'den).

B, Ediacara faunasının olası orijinal görünümü (Coch ve Ludman, 1991).

Prekambriyen döneminin bilinen organizmaları ve yaşam izlerini temsil eden formasyonlar kronolojik olarak Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Prekambriyen öncesi döneme ait fosil organizmaları ve yaşam izleri (Dott ve Batten, 1971; Ketin 1977'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Zaman (Milyar yıl önce)	**Bulundukları yerler ve Formasyon**	**Başlıca gruplar, familya, cins veya türler**
0,6-0,7 Eo-Kambriyen	Güney Avustralya'da Ediacara katmanları	Ediacara-faunası Sölenterata'lar (25 tür), sekizli mercanlar, yumuşakçalar
1,1	Kanada'da Belt dizisi	İlk hayvan fosillerinin izleri
1,0	Avustralya'da Bitter Spring formasyonu	Tüy biçimli ince algler, organik bileşimler
1,3	Avustralya'da Heavitree Kuvarsiti	Solucan izleri ve dolguları
1,5	Sibirya'da Riphean formasyonu	Sölenteta'lar mavi-yeşil algler
1,6	Avustralya'da Noltenius formasyonu	Medusa'lar, sünger dikenleri
1,8	Güney Afrika'da Transvaal dizisi	Medusa'lar (denizanaları);
2,0	Kanada-Ontario'da Gunflint çörtleri	Gunflint-florası (ilk gerçek bitki fosilleri) mavi-yeşil algler ve bakteriler
2,15	Güney Afrika'da Witwatwrsrand dizisi	Organlaşmış maddeler
2,7	Avustralya'da Bandlı-Demir formasyonu	Mikrosferler(kürekcikler), olası sünger dikenleri, Stromatolitler
2,9	Rodezya (Afrika)da Bulawayo katmanları	Kalkerli alg resifleri (stromatolitler);
3,0	Ontario-Kanada'da Soudan formasyonu	Mavi-yeşil algler ve bakteriler
3,2	Güney Afrika'da Swaziland Sistemi, Fig-Tree dizisi	Bakteriler, mavi-yeşil algler, organlaşmış maddeler, moleküler fosiller
3,5	Karbonlu meteroit ve (Organik çorba)	Organlaşmış maddeler, organik bileşimler; (Amino-asitler, Nükleik asitler)

JEOLOJİK EVRİM VE YAŞAMIN GELİŞMESİ

Evrim denilince genel olarak akla biyolojik evrim gelmektedir. Oysa evrim evrenseldir. Fosil kayıtlarından Yer'de yaşayan canlıların zaman içinde köklü değişiklikler geçirdiği görülmektedir. Değişim olgusu, günümüzde genel olarak 'evrim' olarak tanımlanmaktadır. Evrim bir bakıma, zaman içinde bir türü yeni bir türe dönüştürecek şekilde işler ve ortak atalardan değişik toplulukların oluşmasına yol açmaktadır. Bu sürecin nasıl işlediğini anlamak için öncelikle bir türü diğerlerinden ayırt etmek ve birbirine en çok benzeyen türleri bulup gruplandırmak gerekir. Bu öyküyü anlayabilmek için soyu tükenmiş canlıları kronolojik bir bağlama yerleştirmek gerekir. Böylece önce yaşamış olanlar, sonra yaşamış olanlar ve bir arada yaşamış olanlar tanımlanır. Bunu yapmak için Jeolojik zaman ölçeğini bölümlere ayırmak gerekir (Palmer ve Barret, 2010).

Fosiller, geçmiş yaşamın çeşitli kayalarda korunmuş kayıtlarıdır. Bu kayıtlar, yaşamın okyanuslarda 3,5 milyar yıl önce çıktığını ve devamında çeşitlendiğini göstermektedir. Evrim sürecini anlayabilmek için bitkiler ve hayvanlar kendi geniş bağlamlarında, var ola geldikleri çevre içinde bulabildikleri yiyecek kaynaklarına, doğal rakiplerine ve karşı karşıya oldukları risklere bakılarak değerlendirilmektedir.

Evrimin gelişmesinde çevre koşulları belirleyicidir. Yer'in de 4,5 milyar yıldan beri değiştiği, kıtaların, okyanusların ve atmosferin değişime uğradığı bilinmektedir. Üzerinde yaşadığımız Mavi Gezegen'de hiç birşey oluştuğu biçimiyle kalmamaktadır. Yer'in ilk oluşumundan Günümüz'e kadar geçirdiği değişim ***jeolojik evrim*** olarak tanımlanmaktadır. Yani, havzaların ve giderek okyanusların oluşumu ve bu okyanusların kapanıp dağ oluşumunun meydana gelmesi jeolojik evrimin bir sonucudur. Jeolojik evrim biyolojik evrimi, biyolojik evrim de jeolojik evrimi sürekli etkilemiştir.

Yaklaşık 3,5 milyar yıl önce oluşan organik çorbadan, önce ilkel bitkiler, daha sonra sıra ile gerçek bitkilerle bu bitkilerle beslenebilen ilkel hayvanlar türemiştir. Yaklaşık 2,5 milyar yıl devam eden bu uzun ve sancılı süreçten sonra ilk tanımlanabilir çok hücreli yaşamı temsil eden gerçek hayvanlar (Ediacara faunası) Prekambriyen'in sonuna doğru (0,6-0,7 milyar yıl önce) yeryüzünde boy vermeye başlamıştır.

I. Zaman'dan önce Prekambriyen zamanında yaşamış olan flora ve fauna ile I. Zaman'ın başında yaşamış olan Kambriyen yaşlı flora ve fauna arasında önemli benzerlikler görülmemektedir. Dolayısıyla doğal yaşamdaki ilk yok olma olayının Prekambriyen ile Kambriyen aralığında geliştiği ileri sürülmekte ve bu krizin Çin'e düşen büyük bir meteorun etkisi ile meydana geldiği sanılmaktadır. Böyle bir meteorun Yer'e çarpması, Yer'in yörüngesi dâhil, çevresel koşulları değiştirmesi doğaldır. Yeni çevresel koşullara uyum sağlayan türler, daha da gelişerek, yani evrimleşerek I. Zaman'da da yaşamını sürdürmüş olmalıdır.

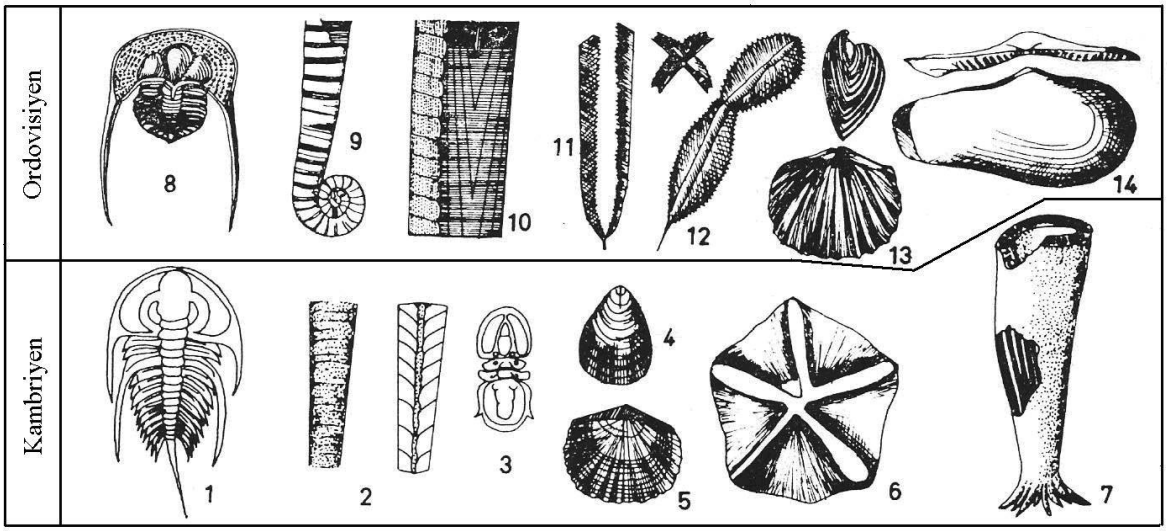
I. Zaman (Paleozoyik)

I. Zaman'ın (Paleozoyik'in) başından itibaren günümüze kadar doğal yaşam çeşitlenmeye, iniş ve çıkışları olan yoğun bir gelişmeye sahne olmuştur. Bu dönem, Pangea adı verilen kıtanın da parçalanmaya başladığı ve kimi parçalarının çarpışarak yeniden birbirine eklendiği ve dolayısıyla dağ oluşumlarının da meydana geldiği bir zamana karşılık gelir.

Dolayısıyla birçok yönleriyle tanımlanan bu zaman, I. Zaman olarak adlandırılmıştır. Aşağıda meydana gelen fauna ve flora türleri ve bu toplulukların olasılıkla nasıl bir evrim geçirdikleri irdelenecektir.

Kambriyen ve onu izleyen Ordovisiyen dönemine ait başlıca fosiller Şekil 8'de görülmektedir. Bu dönemlerde Trilobit, Sefalopot, Brakyopod ve Graptolid türleri egemendir. Bunların çoğu deniz diplerinde yaşayan ve kireçli kavkıları olan organizmalardı.

Siluriyen'de yaşamlarını sürdüren Graptolidler'in yanı sıra sığ denizlerde yaşayan omurgasız hayvanlar gelişmiş, gerçek balıklar ve ilk borulu kara bitkileri ortaya çıkmıştır. Önce zırhlı balıklar daha sonra ise sıra ile çeneli ve kemikli balıklar ortaya çıkmıştır. Çeneli balıklardan Entelognatus primordialis' in yüz şekli (ağız,burun göz) bilinen en eski omurgalı yüz yapısını temsil etmektedir. Lob Yüzgeçli Kemikli balıklar ise Geç Silüriyen- Erken Devoniyen aralığında ortaya çıkmış olup, bunlar kurbağagillerin, sürüngenlerin, kuşların ve insanların da içinde bulunduğu memelilerin ortak atası olarak kabul edilmektedir (Shubin, 2008).



Şekil 8. Kambriyen ve Ordovisiyen devirlerine ait başlıca fosil örnekleri (Brinkman, 1996, Ketin, 1977'den) 1: Olenellus gilberti (Trilobit), 2: Volborthella tenuis (Cephalopod), 3: Agnostos pisiformis (Trilobit), 4: Lingulella davisli (Brachiopod), 5: Orusia lentucularis (Brachiopod), 6: Medusites lindströmi (deniz anası), 7: Archaeocyathus profundos, 8: Cryptolithus goldfussi (Trlobit), 9: Lituites lituus (Cephalopod), 10: Endoceras longissimum (Cephalalopod), 11: Didymodrapus murchisoni, 12: Phyliograptus typus (Graptolitler), 13: Orthis calligramma (Brachiopod), 14: Ctenotonta nasuta (Lamellibranchia)

Devoniyen'de ayrıca Brakyopodlar ve balıklar büyük bir gelişme göstermiş, ilk ormanlar oluşmuş, buna karşın Graptolitler ve Trilobitler azalmaya ve yok olmaya başlamıştır. Ayrıca Ammonoidler (Cephalopod) denizlere egemen olmuş, ilk Amphibia (Kurbağagiller), kara bitkileri ve ilk kanatlı böcekler ortaya çıkmışlardır. Omurgalıların sudan karaya çıkışı ise Geç Devoniyen'de (385-380 milyon yıl önce) gerçekleşmiştir.

Karbonifer döneminde kara bitkileri büyük bir gelişme göstermiş, 30m boyunda dev cüsseli ağaçlar, çıplak tohumlu bitkiler (Gimnosiperma), kömür oluşumuna uygun ormanlar her tarafı kaplamıştı. Ayrıca amphibia ve balıklar gelişme göstermiş, ilk sürüngenler (reptila) ve 70cm boyutlarında büyük kanatlı böcekler yaşam ortamına katılmışlardır.

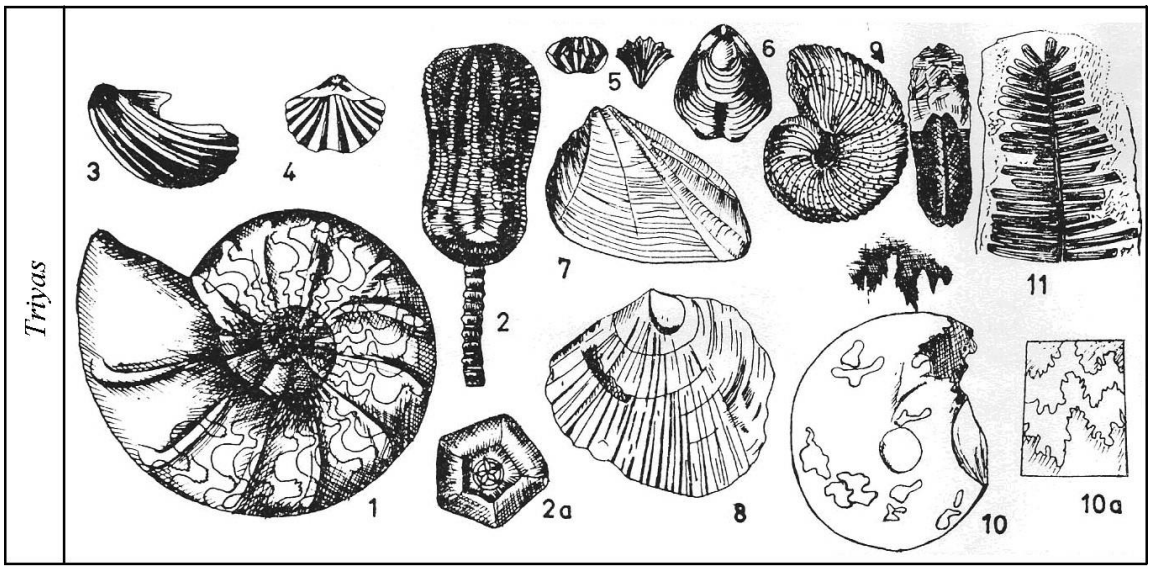
Permiyen'de Fusulinidler, Ekinodermler, Brakyopodlar ve Ammonoidler belirgin bir gelişme ve farklılaşma göstermişlerdir. Amfibia ve Reptiller özel bir evrim geçirmişlerdir. Karalarda ormanlar ve böcekler yaşamlarını genişleterek sürdürmüş, ***Glossopteris florası*** ise güneyde yer alan Gonduwana kıtasındaki bir yaşam ortamında gelişmiştir. Memeli benzeri sürüngenler Permiyen'den itibaren varlıklarını sürdürmektedirler.

I. Zaman'da yaşamış olan canlılar, var olan çevresel koşullara bağlı olarak kendi içinde kimi zaman çoğalmış, kimi zaman ise azalarak yok olmuşlardır. I. Zaman'ın sonunda yani, Permiyen dönemi sonunda canlılar tarihinde bir ***"kriz dönemi"***, yani büyük oranda bir yok olma evresi daha yaşanmıştır. Örneğin, Fusulinidler, Trilobidler, bazı Mercanlar, Briyozoalar, Ekinidler ve Brakyopodlar yok olmuş, Amfibialar'ın % 75'i ve Reptillerin (Sürüngenlerin) % 80'i ortadan kalkmıştır. Yaklaşık 250 milyon yıl önce Kuzey Amerika, Güney Gondvana ve Sibirya'ya düşen dev meteorlar, bu krizin nedeni olarak kabul edilir. Ancak bu konuda, küresel doğal ısınma ve soğumaya koşut deniz düzeyindeki değişiklikler ve oksijeni azalan ve zehirli gazların arttığı okyanuslarda yaşamın alt üst oluşu gibi varsayımlar da güncelliğini korumaktadır.

II. Zaman (Mezozoyik)

Bazı denizel canlılar, özellikle Ammonoidler (Sefalopodlar) I. Zaman'dan II. Zaman'a geçmiş yani, Triyas döneminde de yaşamlarını ve evrimlerini sürdürmüşlerdir.

Triyas ve Jura başında omurgasız ve omurgalı hayvanların evriminde ileri düzeyde bir gelişme yaşanmıştır. İlk kabuklu Lamellibranşlar, Brakyopodlar, aragonit iskeletli mercanlar ve oldukça gelişmiş Ammonoidler (Şekil, 9) büyük bir üreme ve yayılma yeteneği göstermişlerdir. Ayrıca günümüzdeki formlara yakın benzerlikte olan balık türleri, Reptiller (Sürüngenler), ilk Dinazorlar (Dinosaurus) ortaya çıkmıştır. İlk Memeliler (210-220 milyon yıl önce) ve kara bitkilerinden palmiyelere benzer örnekler geniş bir alanda yaşam sürmüşlerdir.



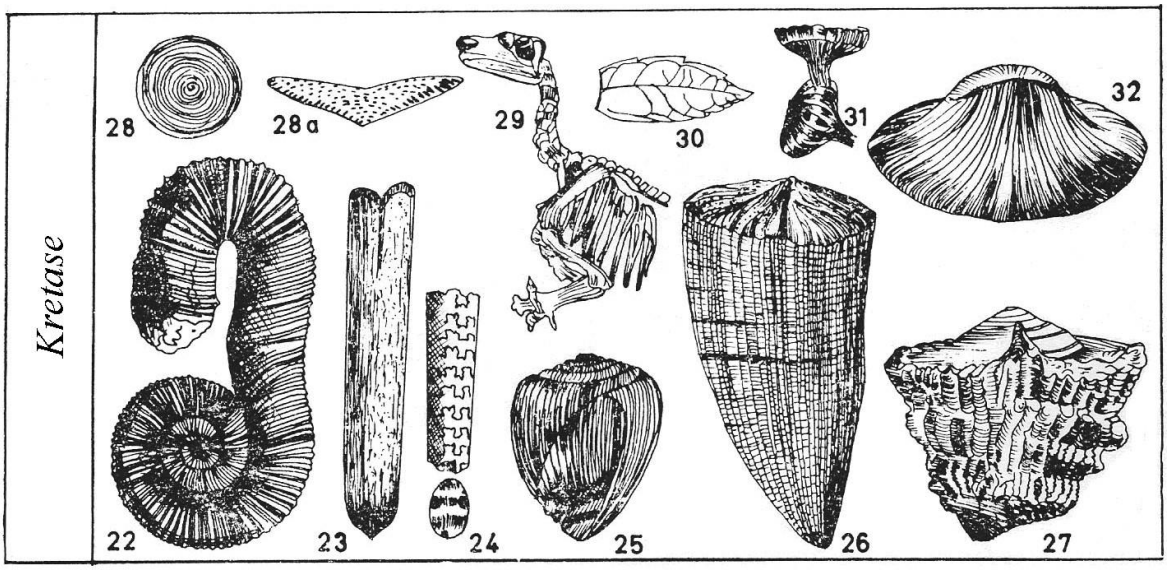
Şekil 9. Triyas dönemine ait başlıca fosil örnekleri (Brinkmann, 1966; Ketin 1977'den)
1: Ceratites nodosus (Cephalopod), 2: Encrinus liliformis (Crinoid, deniz lalesi)
2a: Keis'in (çanağın) alttan görünüşü, 3: Avicula contorta (Lamellibranchia),
4: Spiriferina fragilis, 5: Rhynchonella decurtata, 6: Terebratula gregaria (Brachiopod'lar), 7: Myophoria kefersteini (Lamellibranchia), 8: Halobia bithynica (Lamellibranchia, Tepeköy, Kocaeli yarımadası), 9: Trachyceras aon, 10: Ptychites flexuosus (Cephalopod, Tepeköy-Kocaeli) ve 10 a: sutur çizgisi, 11: Pterophyllum Jaegeri (Gymnosperm, çıplak tohumlu bitki).

Jura'da tüm canlılar, özellikle ilk Ammonoidler, ileri düzeyde bir farklılaşma ve buna koşut olarak evrim geçirmişlerdir. Bu dönemi karakterize eden Tetis (Tethys) denizi, çeşitli canlı türleri bakımından zenginleşmiş ve karada uçan hayvanlar çoğalmıştı. Jura sonunda ilk uçan Reptiller, daha doğrusu sürüngenlerden türeyen ilk kuşlar Arkeopteriks (Archaeopteryx macrura) (150 milyon yıl önce) ortaya çıkmıştır.

II. Zaman'ın sonuna doğru yani, Kretase döneminde denizlerde yaşayan plankton foraminiferler, Rudistler ve balıklar çok yayılmış, karada büyük cüsseli Reptiller (Sürüngenler) ve kapalı tohumlu çiçekli bitkiler (Angiospermler), böcekler ve kelebekler (Şekil, 10) büyük bir gelişme göstermişlerdir.

Kapalı tohumlu bitkiler olmasa yaşamın yolculuğu sürdürülemezdi. Çiçekli bitkilerden oluşan bu geniş ve çeşitliliği bol grup, insanın ve birçok hayvanın yaşamının borçlu olduğu pirinç ve buğday gibi başlıca tahılları, meyve ve sebze bitkilerini içermektedir (Palmer ve Barret, 2010).

II. Zaman'da yaşamış olan canlıların türlerine ve özelliklerine bakıldığında, bu canlıların I. Zaman'da yaşamış olan canlılara göre, çevre koşullarına uyum gösterme yönüyle daha gelişmiş organizmalar oldukları açıkça görülür. Ayrıca yaklaşık 150 milyon yıl devam eden II. Zaman'da da kimi formların gelişip sonra da tükenerek yok oldukları söylenebilir.



Şekil 10. Kretase devrine ait başlıca fosil örnekleri (Brinkmann, 1960). 22: Macroscaphites yvani, 23: Actinocamax quadratus, 24: Baculites anceps (Cephalopod'lar), 25: Acteonella gigantea (Gastropod, salyangoz), 26: Hippurites gasoviensis, 27: Radiolites angeoides (Lamellibrenchia, Rudist'ler), 28: Orrbitolina lenticularis (Foraminifer, alttan görünüşü), 28 a: Orbitolina'nın enine kesiti, 29: Iguanodon bernissartensis (Reptil, sürüngen), 30: Myrica acuta=Angiospermler), 32: Crylotites (mercan, Anthozon)

II. Zamanın sonunda, yaklaşık 65 milyon yıl önce, Meksika Körfezi'indeki, ***Yucatan Yarımadası"***na düşen göktaşı (meteor), Dinozorlar dahil Dünya'daki yaşamın % 95'ini yok etmiştir. Ancak, Dünya'nın değişen koşullarına uyum sağlayan varlıklar yaşamını sürdürebilmiştir. Bu büyük değişim, küçük memelilerin yanı sıra insanın evrimleşmesinin yolunu da açmıştır. Meteorun çapı 10 km olarak düşünülmektedir. Bu olayın, jeolojik yaş olarak, Kretase-Paleosen sınırında oluştuğu ileri sürülmektedir.

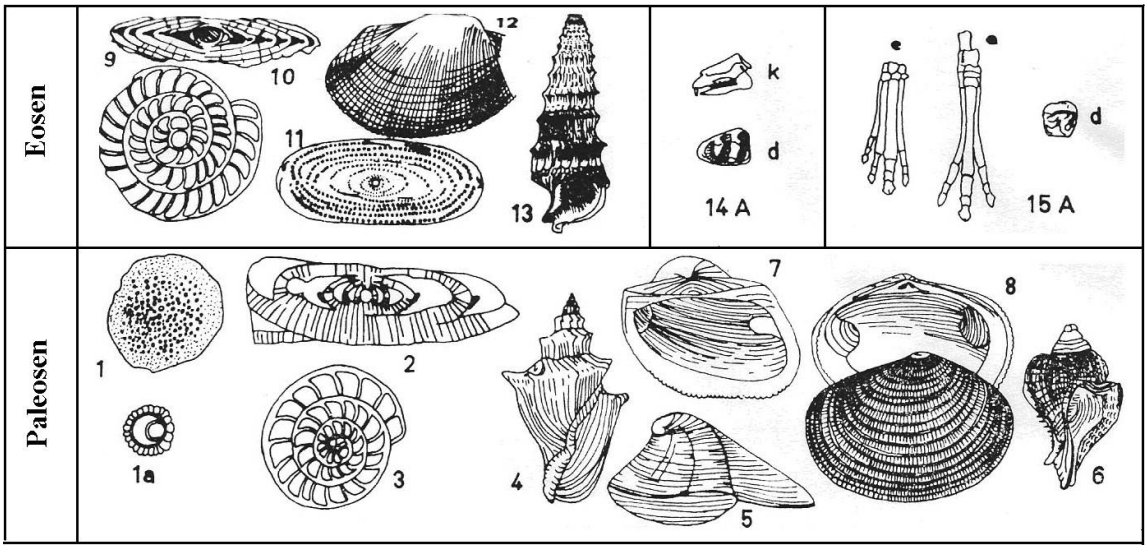
III. Zaman (Tersiyer)

III. Zamanın başlarında, yeryüzüne düşen bu göktaşının yeni bir buzul çağına yol açtığı ve iklim değişimi ile birlikte özellikle memelilerde evrimin yeniden tetiklendiği ve buna bağlı olarak memelilerin çeşitlendiği ileri sürülmektedir. Sonuç olarak Ammonoidler, Rudistler, Belemnitler, bazı Bryozoa ve plankton Foraminiferler çok azalmış ya da tümüyle yok olmuşlardır. Reptiller de bu dönemde oldukça azalmışlardır.

III. Zaman, memeli hayvanların ve çiçekli bitkilerin egemen olduğu, evrimleşerek geliştiği ve yayıldığı bir dönemdir. Denizlerde, karalarda ve havada omurgalıların, özellikle memelilerin (Şekil, 11) egemenliği hüküm sürmektedir.

Denizlerde mürekkep balıkları, karada böcekler ve kuşlar güncel soydaşları kadar çeşitli idiler. Evrimin bu evresinde ayrılan kıtalar arasında kurulan köprüler (Bering ve Panama kara köprüleri) önemli bir işleve sahiptir. Bu köprüler, türlerin coğrafik dağılımını ve dolayısıyla çeşitlenmesini

kolaylaştırmıştır. Tersiyer sonlarına doğru insan türünün de yeryüzünde "sahne almasıyla" ile canlıların günümüzdeki gelişme çizelgesi tamamlanmış olmaktadır.

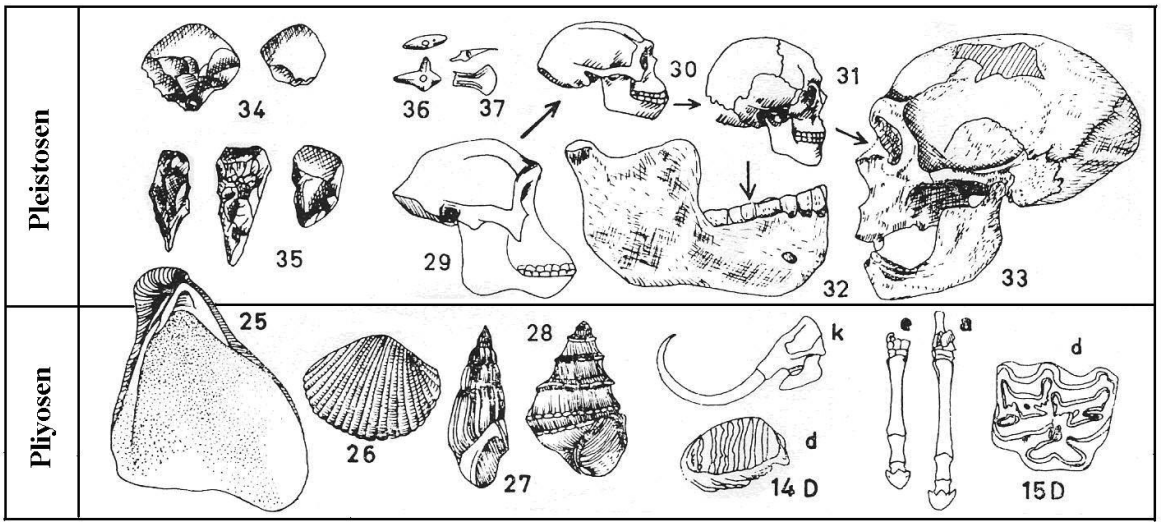


Şekil 11. Paleosen ve Eosen devirlerine ait başlıca fosil örnekleri (Brinkmann, 1966; Ketin, 1977'den). 1 ve 1a: Discocyclina seunesi, 2: Lafitteina bibensis (aksiyal kesit), 3: Nummulites solitarius (Foraminiferler), 4: Voluta muricina, 5: Velates schmiedelianus, 6: Murex tricarinita (Gastropod'lar), 9: Nummulites planulatus, 10: Nummulites tchhatscheffi, 11: Alveolina oblonga (Foraminiferler), 12: Cucullaea crassatina (Lamellib), 13: Serratocerithium serratum (Gastropod), 14: Fil neslinin kafatası (k) ve azı dişleri (d), 14A: Moeritherium, 14B: Paleomastodon, 14C: Mastodon, 14D: Elephas (şimdiki fil), 15: At neslinin el (e) ve ayak (a) kemikleri ile azı dişleri (d), 15A: Hyracotherium, 15B: Miohippus, 15C: Merychiphus, 15D: Equus (Şimdiki at)

IV. Zaman (Kuvaterner)

İnsan türünün geçmişi, III. Zaman'ın sonu (Pliyosen) ile IV. Zaman'ın başına (Pleistosen) yani, 2.5-3 milyon yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Homo erectus ilk insanın atası olarak kabul edilmektedir. Güncel insanı temsil eden Homo sapiens' 'in ise yaklaşık yarım milyon yıldan daha az bir geçmişe sahip olduğu genel olarak kabul edilmektedir. İnsanın iyi bilinen tarihi ise yaklaşık 7-8 bin yıllık bir süreye karşılık gelir. Pliyosen ile Pleistosen'i karakterize eden önemli bazı canlı türleri ve insanın evrimi ile ilgili fosiller, Şekil 12'de görülmektedir.

Memeli hayvanların ***primat*** dalı, insanı ve maymunu da içeren bir gruptur. Şempanze, goril ve insanlar aynı atasal kökeni paylaşır ve ***"hominoid"*** olarak adlandırılırlar. Ancak yaşayan insanın doğrudan atası olan formlara ***"hominid"*** adı verilir (Maga 1999). İlk insansı varlıklar, yaklaşık 7 milyon yıl önce yeryüzünde yaşamışlardır. Primat evriminin içerisinde insanın evrimi, birçok kişinin sandığının aksine çok net anlaşılmış ve iyi bilinen bir süreçtir. Yaklaşık 5-6 milyon yıl önce kuyruksuz maymun ile insanın son atası birbirinden ayrılmıştır. 3 milyon yıl önce Australopithecus afarensis yok oldu. Bugünkü insana doğru giden kol, savan ve açık arazi doğal ortamına uyum sağladı. Dört ayaktan iki ayağa geçiş sürecinin tam olarak hangi fosil türünden itibaren başladığı yeterince bilinmemektedir.



Şekil 12. Pliyosen'e ait başlıca fosil örnekleri ve Pleistosen'de yaşamış ilk insanlara ait kafatasları, çene kemikleri ve araç-gereçleri (Allester, 1968; Brinkmann, 1966; Ketin, 1977'den kısmen değiştirilerek alınmıştır). 25: Congeria ortihopsis, 26: Limnocardium conjungens (Lamellib), 27: Melanopsis hastata, 28: Viviparus hörnesi (Gastropod), 29-33 İnsan neslinin kafa tası ve alt çene kemiği, 29: Avustralopithecus, 30: Homo neandertalensis, 34-37: Pleistosen insanın yaptığı el araçları, aletler, 34-35: Paleolitik çağa ait sert kayalardan yapılmış el baltaları ve kesikler, 36: Neolitik çağa ait cilalı taştan aletler, 37: Metal çağına ait bakır ve demirden yapılmış aletler.

Evrimsel açıdan ilk önemli değişiklik 2,9 ile 2,4 milyon yıl önce meydana geldi. ***'Lucy'*** ve onun türünden olanlar da yok oldu. Bu esnada iki yeni tür ortaya çıktı. Bu türlerden biri insan soyunu oluşturan 'Homo' idi. İkinci önemli değişiklik 1,9 milyon yıl önce yaşanmıştır. Bu evredeki değişiklikle birlikte çok daha büyük beyinli ve etçil olan ***Homo erectus*** sahneye çıktı. Ancak Afrika'da, Etyopya'da saptanan ve Ardipithecus' la temsil edilen ve yaklaşık 2,5 milyon yıl önce yaşamış olan hominid formları da, tartışmasız bir şekilde iki ayak üzerinde hareket ediyorlardı. Orta Pliyosen'de (2 milyon yıl önce), iklim değişiklikleri nedeniyle bazı memelilerin tükendiği, bazılarının göç ettiği, bazılarının ise yeni türlere doğru evrildiği bilinmektedir.

Yaklaşık bir milyon yıl önce ise Dünya'nın farklı yerlerinde yaşayan Homo türleri bilinmektedir. Örneğin, Homo erectus' un 2 milyon yıl ile 25 bin yıl arasında yaşadığı ve 90 bin yıl önce Ortadoğu'da Homo neaderthalensis ve çağdaş insan Homo sapiens'in bir arada yaşadığı belgelenmiştir. Ancak yine fosil kayıtlara göre son buzul dönemi sırasında (35 bin yıl önce) diğer Homo türleri tükenmiş, sadece günümüz insanın atası ***Homo sapiens*** ortama uyum sağlayarak ayakta kalmıştır. Homo sapiens türünün tarihine bakıldığında ise, ilk olarak Afrika'da 300-195 bin yıl önce ortaya çıktığı kabul edilebilir. Doğu Afrika Rift Sistemi'nin oluşumunun ve gelişmesinin, günümüz insanın ortaya çıkmasını ve gelişmesini etkilediği kabul edilmektedir. Sonuç olarak son 600 milyon yıldan günümüze kadar süren evrimin önemli evreleri Çizelge 2'de toplu olarak görülmektedir.

İnsanın evrimine moleküler biyologlar da ışık tutmuştur. Örneğin, yaşayan türler arasında insanoğlunu en yakın akrabasının şempanzeler olduğu ve çağdaş insanın tarihinin ancak 200 bin yıl geriye uzandığı, moleküler biyolojinin katkılarıyla anlaşılmıştır. İlk katkı, insanların ve şempanzelerin DNA'ları ve amino-asitleri üzerinde yapılan incelemelere dayanmaktadır. İkinci katkı ise, farklı insan popülasyonlarından örneklere dayalı DNA incelemelerinin sonucudur (Maga, 1999).

Çizelge 2. Jeolojik zamanları temsil eden başlıca fosiller toplulukları (Holmes, 1965; Ketin, 1977'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Jeolojik Zamanlar	**Devreler Devirler**	**Süresi Milyon yıl**	**Milyon yıl öncesi**	**Fosil organizma grupları**
IV Zaman	Holosen Pleistosen	- 2-3	- 2-3	Çağdaş insan Taş devri insanı
III Zaman	Pliosen Miosen Oligosen Eosen Paleosen	9-10 10 15 20 10	12 23 40 60 65	Çok çeşitli memeliler, filler, maymunlar (Şekil 11). Çiçekli bitkiler, köpek ve ayıların cetleri; Maymun ve domuzların ceddi, Atların ceddi, sığır ve fillerin çıkışı; Çiçekli bitkilerin ve memelilerin gelişmesi; (Şekil 10)
II Zaman	Kretase	65	135	Dinosaurus ve Ammonitlerin yok oluşu; Memelilerin ve İlk çiçekli bitkilerin ortaya çıkışı;
	Jura	45	180	Dinosaurus ve Ammonitlerin çağı; kuşların ve ilk memelilerin ortaya çıkışı,
	Trias	45	225	İlk memelilerin karakteri taşıyan sürüngenler ve Dinasaurus'un (Kara sürüngenleri), çağdaş tipte ilk mercanların ortaya çıkışı (Şekil 8)
I Zaman	Permien	45	270	Reptillerin ve Amfibiyaların gelişmesi, kozalaklı çamların ve böceklerin ortaya çıkışı;
	Karbonifer	80	350	Kömür oluşturan ormanlar, ilk Reptiller, ilk kanatlı böcekler;
	Devonien	50	400	İlk Amfibiyalar ve ilk Ammonoidler, ilk ağaçlar ve örümcekler, balıkların gelişmesi;
	Silurien	40	440	Sporlu kara bitkileri, ilk mercan resifleri; ilk balıklar
	Ordovisien	60	500	Balığa benzer ilk omurgalılar, çok gelişmiş Trilobitler ve Graptolitler (şekil 7)
	Kambrien	100	600	İlk kez ortaya çıkan çok çeşitli fosiller, Trilobitler, Graptolitler, Brachiopodlar, Mollusca'lar, Krinoidler, Radiolaria ve Foraminiferler (şekil 7)
I Zaman Öncesi	Eo. Kambrien	100	700	Ediacara faunası (şekil 6), Sölenterata'lar, solucanlar, süngerler, yumuşakçalar.

Ayrıca, yukarıda sunulan çeşitli jeolojik zamanlarda gelişen canlılar toplu olarak değerlendirildiğinde, zamanla basit organizmalardan gelişmiş canlılara doğru bir gidişin olduğu açıkça görülür. Ayrıca geçmişte yaşamış ve günümüzde benzerleri bile olmayan çeşitli organizmalar dikkat çekmektedir. Yani çeşitli canlı türleri geçmişte yaşamış, gelişen yeni çevresel koşullara uyum sağlayamayınca da tükenip yok olmuşlardır.

Bugün yaşayan tüm canlı türlerinin ortak kimyasal moleküllere ve kalıtım programına sahip olması, onların bir ağacın dalları gibi ortak bir atadan (kökten) türediğini göstermektedir. Vücudumuzun her hücresinde yer alan DNA'nın kimyasal dokusu, ilkel bakterilerden bize uzanan, mutasyon ve doğal seçilim ile şekillenen, yaklaşık 3,5 milyar yıllık kimyasal değişimi temsil etmektedir (Shubin, 2013; Polat, 2013'ten).

Yer tarihinin evrimine bakıldığında, yeni okyanusların açılması ile tür sayısının artması ve kıtaların çarpışması yani orojenez ile türlerin yok oluşu arasında da bazı temel ilişkilerin olabileceği

düşünülebilir. Örneğin Paleozoyik'in başında Pangea kıtasının parçalanmasını izleyen dönemde tür sayısı ve türlerin canlanmasında büyük bir patlama yaşanmıştır. Oysa Paleozoyik'in sonuna doğru Hersiniyen orojenezi sırasında önemli bir yok oluş dönemi yaşanmıştır. Aynı biçimde Mezozoyik'in başında Neotetiz'in açılışına koşut olarak, türlerin sayısında ve populasyonunda büyük bir artış yaşanırken, Mezozoyik'in sonuna doğru gelişen Alpin orojenezinin ilk evresinde önemli bir yok oluş evresi yaşanmıştır.

Sonuç olarak, yeni havzaların açılışı ile ekosistemlerin giderek canlandığı, yitim (yani kabuğun yok olması) ve yitimi izleyen orojenez ya da çarpışma olayları sırasında gerçekleşen yoğun volkanik faaliyetlerin yarattığı doğal kirliliğin de yaşamı dolayısıyla türlerin artışını ve populasyonunu engellediği söylenebilir. İnsan'ın bilinen tarihi ise, evrensel geçmişin yanında son derece kısadır. Ne var ki bir insan ömründe bile gözlenebilen çevresel sorunların boyutları ve etkileri, 100 yıl sonrası bir Dünyayı bile hayal etmeyi güçleştirmektedir.

EVRİM VE TARTIŞMA

Evrim, Darwin'in (1859) ortaya koyduğu bir kuramdır. Bu kurama göre günümüzde yaşayan tüm canlı türleri ortak bir atadan gelmekte ve çok uzun yıllar süren bir farklılaşma (doğal seçilim) süreci sonunda bugünkü tür çeşitliliğine ulaşılmıştır.

Evrim, canlıların zaman içinde değişimleri ve meydana gelen gelişmeler ışığında oluşturulan bir varsayımdır. B. de Lamark (1744-1829) evrim kuramının genel çatısını ortaya koymuş ve Darwin (1809-1882) evrimin doğal ayıklama (natural selection) yoluyla geliştiğini, 1859'da yayımladığı Türlerin Kökeni (Origin of Species) adlı eseriyle açıklamıştır. Darwin'e göre canlıların şekilleri ve yapıları sürekli bir değişim içinde bulunur ve çevre koşullarına uyabilen bireyler gelecek kuşaklara atlayabilirler. Böylece yeni türlerin ortaya çıkması ancak doğal ayıklama yoluyla gerçekleşebilir. Yani, doğa çevre koşullarına uyum sağlayamayan bireyleri ayıklar. Örneğin, yırtıcı hayvanlardan korunmak isteyen bir sürüdeki zayıf bireylerin, gelişmiş bireylere göre gelecek kuşaklara ulaşmaları daha zordur.

Ne var ki genetik biliminin ilkeleri 1865'te G. Mendel (1822-2884) tarafından ortaya koyulunca, evrim yeni bir anlam kazanmış ve evrimin çiftleşme (irsiyet) yoluyla kuşaktan kuşağa atlayarak geliştiği ileri sürülmüştür. Genetik bilimine göre üreme ve yeni nesillerin ortaya çıkması ***gen*** denilen cinsel düzenleyiciler tarafından denetlenir.

Darwin'in doğal ayıklama kuramı ile genetik biliminin cinsel varyasyona yönelik katkıları evrim olayının anlaşılmasını kolaylaştırmıştır. Cinselliğin (irsiyetin-heredity) aynı türe ait bireyler topluluğu (popülasyon) üzerinde irdelenerek sürdürülmesi yeni katkılar da sağlayacaktır.

Eski jeolojik devirlerde yaşamış olan ilkel, yalın canlılardan günümüzdeki çok çeşitli hayvan ve bitkilerin meydana gelmesi, canlıların sürekli ve ileriye doğru düzenli bir gelişme ya da evrim geçirmeleri ile olmuştur. Bu gelişme ve evrim, aynı zamanda tüm canlılar arasında bir akrabalığın ya da soydaşlığın bulunduğunu açıkça göstermektedir. Canlıların sınıflandırılmaları ışığında bunların farklı grupları arasındaki akrabalık ilişkilerini yansıtan çeşitli çizelgeler ya da tablolar ortaya konulmuştur.

Yer'in jeoloji tarihine bakıldığında, geçmişte yaşamış günümüzde benzeri bile olmayan çeşitli canlıların fosillerine tanık olunmaktadır. Fosil organizmalarda ve güncel formlarda görülen birçok yapısal değişiklikler irdelendiğinde, doğada yoğun bir değişimin yaşandığı ve yaşanmakta olduğu kolaylıkla kabul edilebilir. Bu verilerin tümü evrim kuramının ilk biçimiyle olmasa bile, büyük ölçüde geçerli olduğuna işaret etmektedir. Aşağıda kimi kanıtlar da öz olarak sunulmuştur:

1. Tüm canlıların (örneğin hayvanların ve bitkilerin) sınıflandırılmaları irdelendiğinde özellikle bazı grupların soydaş topluluklar meydana getirdiği görülmektedir. Örneğin, çiçekli bitkilerden çıplak tohumlar (gymnospermae) I. Zaman'ın Devoniyen döneminde ortaya çıkmış ve günümüze kadar birçok alt gruplara ve türlere ayrılarak varlıklarını sürdürmüşlerdir. Bu grubun günümüzdeki temsilcileri çiçekli

bitkilerden kapalı tohumlular ise, daha gelişmiş bir grup olup II. Zaman'ın ortalarında ortaya çıkmış ve II. Zaman'ın sonu ile III. Zaman'da birçok alt gruplara ayrılmış olup günümüzdeki temsilcileri olan huş ağacı (Betula) ve üzüm(ribes) aileleri bile birçok türe ayrılabilmektedir.

Öte yandan Trilobitlerin I. Zaman'daki değişimi ve Sefalapodların I. ve II. zaman süresince sifonlarının dış kenardan iç kenara doğru gelişmesi ve bu toplulukların kendi içinde türlere ayrılması evrimin çeşitli halkaları olarak kabul edilebilir.

2. Birbiri ile akraba sayılabilecek hayvan gruplarında kimi organların (örneğin kol ya da bacakların) anatomik yapıları ortak bir plana göre düzenlenmiştir. Örneğin, atın III. Zaman ve günümüzdeki yapıları irdelendiğinde atın gövdesinin ve kafataslarının giderek büyüdüğü ve başlangıçta beş tırnaklı iken günümüzde tek tırnaklı bir yapı kazandığı belirlenmiştir. Bu değişimin temelinde kuşkusuz atın beslenme biçimi etkili olmuştur. Örneğin atlar başlangıçta yaprak yiyen grubunda iken günümüzde çayır yiyenler grubunda yer almaktadır.

3. Birçok hayvanlarda işlevini yitirmiş organların bulunması da bir rastlantı değildir. Örneğin insanda kör bağırsak ve kulak kasları artık bir işlev görmemektedir. Ancak insanların ilk atalarında bu organların hiçbir işlev görmediği söylenemez. İnsanların zamanla bu organlarını kullanmasına gereksinimi kalmamıştır. Dolayısıyla bu organlar dumura uğramıştır.

4. Hayvanlarda embriyolojik gelişmenin (anojeninin), soyların geçmişteki evrimini (filojenisini) tekrarlaması da önemli bir kanıttır. Örneğin, kurbağa balıklarının önce balık gibi yüzmeleri ve solungaçları ile nefes almaları, daha sonra büyüdüklerinde karadaki yaşama ortamına uyarak solunumlarını ciğerleri ile yapmaları ve sıçrayabilmeleri için kollara ve bacaklara sahip olmaları, kurbağagillerin balıklardan türemiş olduklarını göstermektedir.

5. Evrimin en belirgin kanıtları paleontolojik verilerdir. Yer'in tarihi de büyük ölçüde paleontolojik verilerle aydınlanmıştır. İlk canlıların son derece yalın olması, daha sonra giderek daha gelişmiş canlıların ortaya çıkması, kimi zaman toplu yok olmaların yaşanması, çevre koşulları ile yaşam arasındaki canlı ilişkilerinin bir yansımasıdır. Örneğin, yumuşakçalara I. Zaman'ın başında Kambriyen döneminde, balıklara Siluriyren döneminde, ilk memelilere II. Zaman'da, ilk insan türüne III. Zaman'ın sonu ile IV. Zaman'ın başında rastlanmaktadır. Zamanın akışı içinde doğada çevre koşullarına uyum sağlayabilen ve daha gelişmiş canlıların ortaya çıkması da evrimin kanıtları olarak kabul edilmektedir.

Evrim kuramı, fosil kütüğünü bir tür okuma yöntemidir. Darwin ayrıca fosil kütüğünde eksiklikler olduğunu da belirtmiştir. Örneğin, II. Zaman'ın sonunda Kretase döneminde çok sayıda tanımlanmış ammonit türü vardır. Katman bilim açısından bu durum çeşitli kolaylıklar sağlamaktadır. Buna göre Kretase'nin katları kolaylıkla birbirinden ayrılabilmektedir. Ne var ki ammonit türleri arasında düzenli geçişler izlenememektedir. Ammonitlerin niçin belirgin çizgilerle birbirinden ayrıldığı gizemini korumaktadır. Ancak, insanın evrimi dahil, söz konusu kayıp halkaların, bilim ilerledikçe ortaya çıkması mümkündür.

Gelecekte ise, çok büyük adımlar hem evrimin kendisinde hem de bilim ve teknolojinin evrime katkısında izlenecektir. Öte yandan fosil gruplarının geniş ölçüde birden yok olması (extinction), belirli zamanlarda kısa sürede meydana gelmektedir. Her yok olma döneminden yeni bir hızlı gelişme zamanı başlar ve evrim hızlanır. Zaman aralıklarında yok olmalar, dramatik bir şekilde gerçekleşmiş ve böylece Paleozoyik/Mezozoyik ile Mezozoyik/Senozoyik (Tersiyer) sınırları, flora ve fauna yönüyle belirlenmiştir.

Jeolojik zamanlar arasında gelişen dramatik yok olmalar, yaşamın bu aralıklarda tümüyle yok olduğu anlamına gelmez. Çok büyük boyutlu gök cisimlerinin (kometlerin) Yer'e çarpması, elbette Yer'in yörüngesinde ve çevresel koşullarında bazı değişimlere yol açabilir. Burada söz konusu olan, doğadaki yaşamın yeni çevre koşullarına uyumundaki güçlüklerdir. Bazen yörüngede küçük bir değişim

bile yaşamı önemli ölçüde etkileyebilir. Yer'i oluşturan kayatürü istiflerindeki her uyumsuzluğun öncesinde ve sonrasında oluşan flora ve fauna topluluğu önemli farklılıklar göstermektedir. Oysa jeolojik zamanlar arasında, kayatürü toplulukları yönüyle dünya çapında büyük uyumsuzluklar meydana gelmiştir. Bu çerçevede, Jeolojik Zamanlar arasında flora ve fauna yönüyle önemli farklılıkların olması, yaşamın Yer'deki sürekliliğini ve evrimini gölgelemez. Bu durum, tıpkı bir kitabın sayfalarından birini kapatırken diğerini açmak gibidir.

Bilinçli tasarım

Darwin'in doğal seçilim süreciyle mutasyonun canlı yaşamının evrimini yönlendirdiğine ilişkin yaklaşım bazı eleştiriler de almaktadır. Örneğin, bazı bilim adamları yaşamın sadece amaçsız ve bilinçsiz faktörlerin ürünü olamayacağını ve yaşamın kökeninde "tasarlayıcı bir bilincin" olduğunu savunuyorlar. Bu anlayış, Bilinçli Tasarım (Intelligent design) Kuramı'nı beraberinde getirdi (Gören, 2001).

M. Behe (1996) tarafından ileri sürülen bu kurama göre evrimin açıklayamadığı pek çok karmaşık örnek vardır. Örneğin, kamçı (flegella) organının çalışması, insan gözünün anatomisi, retina hücrelerindeki karmaşık biyokimyasal düzenek, DNA'nın işlevlerinde görev yapan enzimler, insanın diz ekleminin tasarımı ve "***tek yönlü ve sürekli nefes akışı***" sağlayan özgün kuş akciğerinin çalışması gibi olgular doğal mekanizmalarla gerçekleşemez. Bu olgular, bilinçli bir düzenlemenin ürünü olabilir.

"Kamçı" olarak Türkçeye çevrilen "flagella" isimli organ, bazı bakteriler tarafından sıvı bir ortamda hareket edebilmek için kullanılır. Organ, bakterinin hücre zarına tutturulmuştur. Bakteri, bu kamçıyı palet gibi kullanarak dilediği yön ve hızda yüzebilir. Ayrıntılı çalışmalar, bu kamçının önceden sanıldığı gibi basit bir mekanizmasıyla değil, çok karmaşık bir "organik motor" ile çalıştığını ortaya koymuştur. Kamçıyı oluşturan yaklaşık 240 ayrı protein vardır. Bu proteinlerden herhangi biri eksik olursa kamçı hareket edemez. Böyle bir organın rastlantılarla değil, ancak bilinçli bir tasarımla oluşabileceği ileri sürülmektedir. Söz konusu tasarımın sahibi de tanrıdır. Sonuç olarak, bilinçli tasarım, dinin postmodern yorumudur.

Başka bir bakış

Kambriyen başlangıcında oluşan, çeşitli kavkılı fosiller dahil canlı yaşamın evrilmesi ile büyük Pangea kıtasının parçalara ayrılması arasında çeşitli bağlar kurulmaktadır. Bu da levha tektoniği kuramında öngörülen jeotektonik döngülerin, canlıların tarihi ve evrimi ile yakından ilişkili olabileceğini akla getirmektedir. Dolayısıyla yakın zamanlarda adına "Gaia" denilen varsayıma göre yer kürenin doğrudan kendisi (benzetme yapmış olmanın dışında bir yönüyle) bir tür canlı varlıktır (Oldroyd, 2003).

Gaia, eski Yunanca'da toprağı simgeleyen tanrıçaya verilmiş addır. Dolayısıyla Gaia sözcüğü, mitolojik çağrışımları nedeniyle insanlara ilginç görünmektedir. James Lovelock (1987) bu konuyu ortaya koyarken Gaia varsayımı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

"Yerkürenin yüzeyindeki, hava küredeki ve denizlerdeki fiziksel ve kimyasal koşulları, geçmişte ve bugün etkin bir biçimde uygun ve rahat duruma getiren yaşamın doğrudan kendisidir." Bu önerme yaşamın ve yerkürenin her birinin kendi yolunda ayrı ayrı evrilmesi sırasında gezegenin koşullarına uyum sağlayanın canlılar olduğunu söyleyen geleneksel evrim bilgisinin tam tersidir.

Prekambriyen başlarında geçerli olduğu düşünülen tepkimeler, inorganik olup oksijenin olmadığı bir ortamda gelişmekteydi. Örneğin, bu dönemde albit ve anortit volkanik kayalardan çözülerek ayrılmış, geride şekilsiz silis (çört) çökelmiştir. +2 değerlikli demir bu işleyişte belirleyici olmuştur. Ancak biraz daha genç kayalarda (yani, 2 milyar yıldan daha genç olan eski kayalarda diyelim) kükürt, oksitlenmiş biçimiyle alçıtaşında sülfat olarak ortaya çıkmıştır. Demir ise artık +3 değerlikli olup siderit ($FeCO_3$) yatakları olarak ortaya çıkmıştır. Bir şeyler olmuştur. Ancak olanlar canlı organizmaların ortaya çıkışını hazırlamıştır.

Canlı organizmaların ortaya çıkışı ise bağımsız oksijen içeren hava küreyi doğurmuştur. Bağımsız oksijenle birlikte hava kürenin bileşimi değişmiş, daha sonra atmosferik süreçler sonucu hidrosfer oluşmuştur. Yani, canlı yaşam yeryüzünde boy vermeseydi, yerküredeki kimyasal tepkimelerin niteliği de değişmeyecekti. Dolayısıyla yerküre de Mars gibi ölü bir gezegen halinde gökyüzünde seyrederdi.

Yeryüzünde canlılar olmasaydı levha tektoniğinde öngörülen tüm süreçler de işleyemezdi. Diyelim ki canlı yaşam yerkürede olmasaydı, günümüzdeki okyanuslar olmazdı. Öyle olunca levha tektoniğine bağlı devinimler olmayabilirdi. Sonuçta yerküreyi bugünkü durumuyla yerküre yapan, yaşamın yerkürede kök bulmasıdır. Yerkürenin kendisi de bir anlamda "canlı", çünkü sıradan canlı organizmaların kimi özelliklerini, en başta kendi kendini onarabilme özelliğini taşımaktadır. Ama eğer yerküre canlı ise, aynı nedenle "ölebilir ya da öldürülebilir".

Uzaydan çekilen görüntülerde Yer, bir gökcismi olarak, yeşilin coşkusu ve mavinin huzur verici güzelliği ile uçsuz bucaksız bir yaşam kaynağı ve bir canlı organizma gibi görülür. Ne sınırlar ne de dinlerin yayıldığı alanlar görülür. İnsanoğlunun doyumsuzluğu, acımasızlığı ya da bencilliği görülmez. Yeryüzü, beyinlerimizde yaratılan sınırlarla paramparça edilmektedir. Sonra bu sınırlar içinde savaş naraları atılmakta ve katliamlar yapılmaktadır. Tüm bunlar, insanoğlunun kendi kendine yaptığı zulümden başka bir şey değildir.

SONUÇLAR

Dünya'nın jeolojik tarihine bakıldığında, geçmişte çeşitli türlerin sadece iz (fosil kayıtları) bırakarak yok oldukları görülmektedir. Günümüzde o izlerin benzerleri bile yoktur. En son kitlesel yok oluş ise, yaklaşık 66 milyon yıl önce, Kretase'nin sonunda, kuş olmayan dinozorlar da dahil olmak üzere bitki ve hayvanların yaklaşık yüzde 75'ini yok etti. Toplu yok olmalarda, sadece yeni çevresel koşullara uyum gösterenler yaşamını sürdürmüştür. Şimdi de çevresel koşulların insan eliyle büyük bir değişim geçirmekte olduğu açıkça görülmektedir. Geri dönüşü olmayan bu sürecin sonunda, yeni bir toplu yok olma, ya da yaşamın tümüyle yok olma olasılığı vardır.

Jeoloji bize, yeni havzaların açılışı ile ekosistemlerin ya da yaşamın giderek canlandığını, yitim (yani kabuğun yok olması) ve yitimi izleyen evrelerde ise, oluşan doğa kaynaklı kirliliğin türlerin artışını ve populasyonunu engellediğini söylemektedir. Günümüzde ise insan eliyle oluşan kirliliğin yaşamı derinden etkilediği görülmektedir. Meydana gelen kirliliğin boyutları ve etkileri, 100 yıl sonrası bir Dünyayı bile hayal etmeyi güçleştirmektedir.

Günümüze yakın zamanlarda doğa bilimciler yaşamın sıra dışı zenginliğini ve çeşitliliğini, benzer olanlar arasında hiyerarşik bir sınıflandırma yapmak üzere ortak özellikleri arayarak anlamaya çalışmıştır. Günümüzde ise evrim öyküsü genetik analiz yöntemleriyle sınanmaktadır. Herhangi iki organizmanın akrabalık ilişkisini hesaplamaya yarayan kimi araçlar sayesinde yeni keşiflere ve şaşırtıcı birçok sonuçlara ulaşılmaktadır (Palmer ve Barret, 2010).

Bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında, insanoğlu, ortaya koyulan kapsamlı bir bireşimde (sentezde) kendi yerini anlamak zorundadır. Yerküre canlı bir varlıktır. Yerkürenin ölmesi, doğada sürmekte olan yaşamın da sonudur. Yaşam günümüzdeki gibi devam ederse, ortaya çıkan insan kaynaklı kirlilikler, önce yerküreyi, daha sonra da yaşamın kendisini yok edecektir. Doğadaki işleyişi kavrayan insan, yerküreyi kendi iradesi doğrultusunda değiştirebilir; ancak, Yerküre'deki yaşama uyum göstererek mutlu olabileceğini görmelidir.

KAYNAKLAR

Behe, M. 1996, Darwin's Black Box, The Free Pres, Newyork, USA.

Berry, A., 2001, Bilim ve Teknik, TUBİTAK Aylık popüler bilim dergisi (Çev. Ayşe Turak), Sayı ? ,s.46-52.

Brinkmann, R., 1966, Abriss der Geologie, Band 2-Historische Geologie F. Enke, Stuttgart.

Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.
Dede, N. Ö., 2006, Evrim Kuramı'nda sona doğru büyük adımlar: Cumhuriyet Bilim Teknik, 997, 12-15.
Demirsoy, A. 1999, 4,5 milyar yıl önceden günümüze canlıların evrimi ve evrimi yönlendiren mekanizmalar, Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 375,34-45.
Dott, R. H. ve Batten, R.L., 1971, Evolution of the Earth: Mc Graw-Hill Comp.,
Gamlin, L., 1999, Evrim-Eyewitness Science Evolution: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 116, Başvuru Kitaplığı 3, (Çev. Aksu Bora), Ankara, 645.
Glaessner, M. F. 1971, Geographic distribution and time range of the Ediacara-Precambrian fauna. Geol. Soc. Amer. Bull. 82,
Gören, A., 2001, Yaşamın kökeni hakkında yeni bir yaklaşım: Bilinçli Tasarım: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 408, 44-45.
Güleç, E. ve Kaya, F., 2007, 'İnsan' Nasıl 'İnsan' Oldu? TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 2007/2, s.62-75.
Gürdilek, R., 2001, Evrim tartışmaları; "Evrim rastlantı değil ki…"Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 408, 42-43.
Holland, H. D., 1984, The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans, Princeton University Pres, USA.
Holmes, A., 1965, Principles of Physical Geology, T. Nelson, London.
https://tr.pinterest.com/pin/21462535711457440/?utm_campaign=category_pp&e_t=2be46007f6c44f6a6fd86cc9f5bb870&utm_content=21462535711457440&utm_source=31&utm_term=5&utm_medium=2012(28 (28 Şubat 2019, saat 09.50).
İnan, N., 2006, İnsanın doğuşu: Şenlik ve Toplu yok olmalar: Konferans notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mavi Salon, Sivas.
Ketin, İ., 1977, Genel Jeoloji, Cilt I, Yerbilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.
Lewin, R., 1998, Modern insanın kökeni (The origin of modern human 1993'den Çeviren Nazım Özüaydın) TUBİTAK popüler bilim kitapları dizisi, Ankara, 246s.
Lovelock, J. 1987, Gaia: a New Look at Life on Earth, Oxford and New York, Oxford Universty Pres, USA.
Maga, M. 1999, Dört ayaktan iki ayağa… İnsanın Evrimi: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 375, 48-51.
Mintz, L. W., 1972, Historical Geology; The science of a dynamic earth. Ch. E. Merill, Ohio, USA.
Oldroyd, D., 2003, İnsan Düşüncesinde Yerküre; TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları (Çev. Ülkün Tansel), Ankara, 563s.
Palmer, D. ve Barret, P., 2010. Evolution: The story of Life (Evrim Atlası. Çeviri: Çağlar Sunay ve Muzaffer Özgüneş). Türkiye İş Bankası, Kültür Yayınları, İstanbul, 374 s.
Polat, A., 2013, İçimizdeki balık. Tiktaalik ve Entelognathus'tan insana uzanan 420 milyon yıllık bir evrim serüveni ve evrensel bağlantılar. Cumhuriyet Bilim Teknoloji (CBT), no: 1395 (13 Aralık 2013), s. 8-9.
Rutten, M. G., 1971, The orgin life by natural causes. Elsevier, Amsterdam.
Sakınç, M., 2006, Yer'in evrimi, Jeolojik evrim ve biyolojik evrim iç içe: Bilim ve Gelecek, Aylık, bilim, kültür, politika dergisi, 26, 8-33.
Schidlowski, M. 1971, Probleme der atmosphararischen evolution im Prekambrium. Geol. Rundschau, Bd. 60, Heff, 4, Stuttgart.
Sezen, F., 2001, Genel Jeoloji Ders Notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas.
Shubin, N., 2008, Your Inner Fish. Pantheon Books, New York, 229s.
Shubin, N., 2013, The Universe Within. Pantheon Books, New York, 225s.
Walker, J. C. G., 1996, Yerin Tarihi (Çev. E. Uluhan), Nar Yayınları, Ankara.
www.scotese.com/earth.htm
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Bölüm 10. SU KAYNAKLARININ JEOLOJİSİ

GENEL BİLGİLER

Su, tüm canlılar için yaşamın kaynağıdır. Gezegenimizde su olmasaydı yaşam da olmazdı. Onun için su gibi değerli bir çevre kaynağının incelenmesi, yaşamın bundan sonraki sürekliliği yönüyle bilime bir katkı niteliğindedir. Sular, öncelikle akarsu, göl ve deniz gibi yerüstünde olanlar ve yeryüzünden süzülerek yeraltında bir hazne oluşturanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

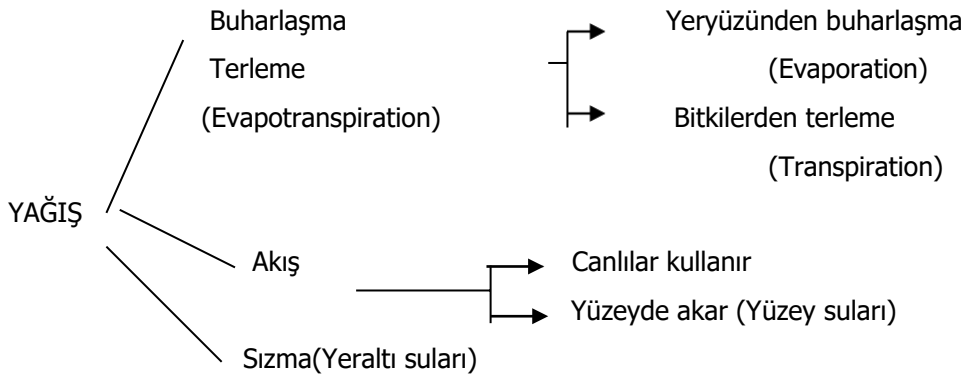
Yeraltı suları jeolojisi (hidrojeoloji), yer kabuğu içinde bulunan suların hareketini, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çeşitli kayalar içinde bulunuş şekillerini ve bunları etkileyen faktörleri inceleyen bir ilgi dalıdır. Bir bölgenin hidrojeolojisi ya da "hidrojeolojik incelemesi" denilince akla, yeraltı sularının araştırılıp bulunması, yeraltından alınması, bölgedeki yeraltı suyu miktarının saptanması ve çıkarılması için yapılması gereken kuyu açma, sondaj ya da pompaj gibi işlerin tümü ve konunun yasal yönleri akla gelmektedir.

Yüzey suları, bunları doğuran yağış ve türlerini, suların hareketi, buharlaşması ve bunların ölçülmesi ***Hidroloji*** bilim dalı tarafından irdelenir. Yerüstü ve yeraltı sularının hidrodinamiğini de ***Hidrolik*** bilimi inceler.

Yerkabuğu içindeki, kayaların boşluk, çatlak ve yarıklarında toplanan yeraltı suları, çeşitli ögelerin ve kuvvetlerin etkisi altındadır. Bundan dolayı yeraltı sularını anlamak ve bunlardan yararlanmak için başta jeoloji bilim dalı olmak üzere, meteoroloji, klimatoloji, hidroloji, hidrolik, su kimyası, balneoloji, bakteriyoloji, fizik ve jeofizik dalları hakkında yeterli düzeyde bilgilere gereksinim vardır.

Yüzey suları akarken kısmen buharlaşır, kısmen de yeraltına sızar ve yeraltı sularını oluşturur (Çizelge 1). Yerkabuğuna sızan sular aşağıya doğru süzülür ve sonunda yeraltı suyu ile doygun bir ortam oluşur. Dikey ya da yatay olarak yer değiştirebilen sulara "***canlı sular***", "***Vadoz***" ya da "***meteorik***" sular denir. Ancak sular daha derinlere (20- 30 km) erişirse, hareketsiz bir hale gelir ve "***fosil sular***" ya da "***derinlik suları***" adını alır. Yerkabuğunun derin bölümlerinde diyajenez ya da metamorfik koşullardan etkilenen sulara "***metamorfik sular***" mağmadan etkilenerek yeryüzüne ilk kez çıkan sulara "***magmatik sular***" ya da "***juvenil sular***" denir. Değişik kökenli sular, çeşitli biçimlerde kısa ya da uzun yollar dolaşarak, insanı hayrette bırakan ve şaşırtan dengesini sağlarlar. Ayrıca, evrende gezegen ve meteoritler içinde de su bulunur. Bunlara da "***Kozmik*** ya da ***meteoritik sular***" adı verilir (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Çizelge 1. Yağışın yeryüzünde dağılımı ve dolaşım yolları (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).



Yağışın yeryüzündeki dağılımı önemli farklılıklar göstermektedir. Yer'in bazı bölgeleri büyük ölçüde yağış alırken bazı bölgeleri son derece kurak geçmektedir. Ülkemizin de tüm bölgeleri aynı düzeyde yağış almamaktadır (Şekil, 1).

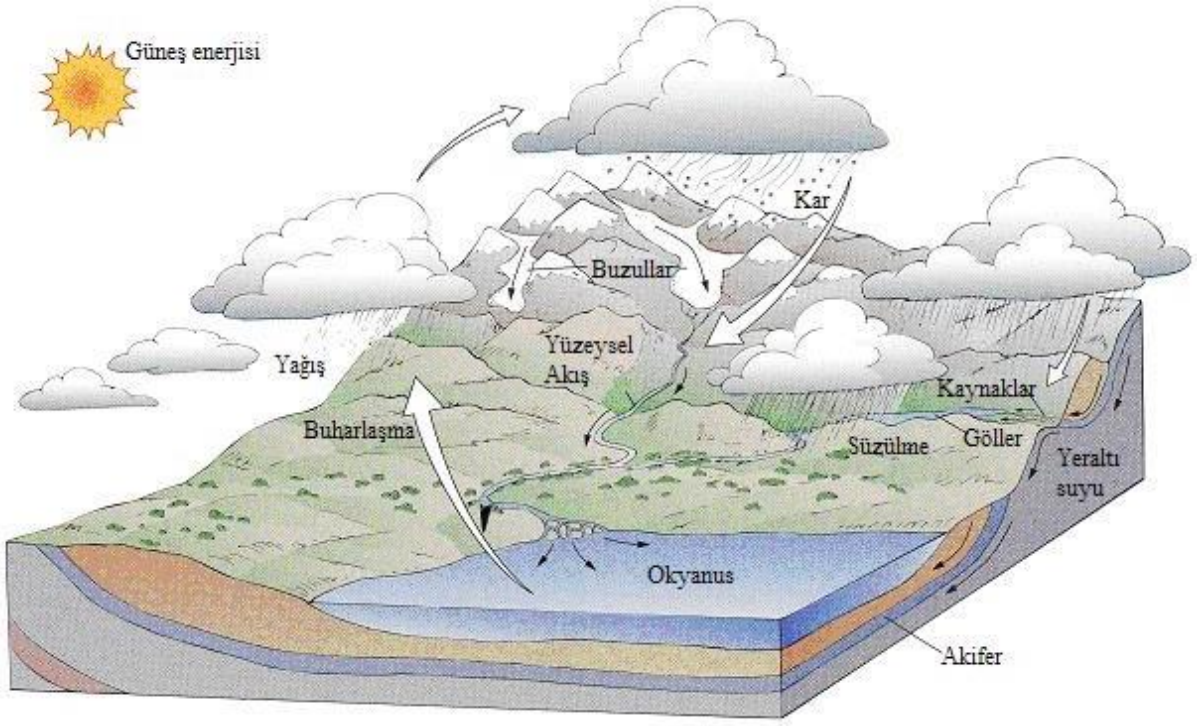
Şekil 1. Türkiye'nin yağış haritası
https://www.cografyaci.gen.tr/wp-content/uploads/2018/10/Harita-1.5.25-T%C3%BCrkiye%E2%80%99de-ya%C4%9F%C4%B1%C5%9F-da%C4%9F%C4%B1l%C4%B1%C5%9F%C4%B1-www.mgm_.gov_.tr_.png

Şekil 1'de sunulan haritada izlenebildiği gibi, kıyı bölgeleri yüksek düzeyde yağış alırken iç bölgeler son derece kurak geçmektedir. Ayrıca yağış yönüyle bölgeler arasında önemli farklılıklar olduğu açıkça görülmektedir. Bu da genel olarak bölgelerin konumu ve bölgeler arası morfolojiden ileri gelmekte ve su kaynaklarının dağılımını büyük ölçüde etkilemektedir.

HİDROLOJİK DOLAŞIM

Yeryüzüne düşen yağmur, kar, dolu, kırağı, çiğ ve diğer yollardan oluşan sular ya arazi üzerinden akarken buharlaşır ya da bitkiler tarafından alınır ve sonra bitkilerin yeşil kısımlarından terleme (transporation) ile tekrar dışarı atılır ve buharlaşır (Çizelge 1). Bu, suyun "***Kısa dolaşım***" yapması ve yağışın tekrar atmosfere dönmesi olayıdır.

Suların bir bölümü ise yüzeyde akar ve çeşitli akarsuları oluşturur. Diğer bir bölümü de yeraltına sızar, buralarda birikir ve yeraltı sularını meydana getirir. Yeraltına sızan bu sular Yer'i oluşturan kaya birimlerinin gözeneklerini ve çatlaklarını doldurur, çatlak ve kırıklar boyunca derinlere kadar iner ya da bir noktadan ***kaynak*** şeklinde yeryüzüne yeniden çıkar. Böylece, su daha uzun yollu "***Büyük dolaşım***" yapmış olur (Şekil, 2). Suyun yukarıda sunulan çeşitli şekillerde yapmış olduğu bu dolaşımlara genel olarak ***"Hidrolojik dolaşım"*** adı verilir.



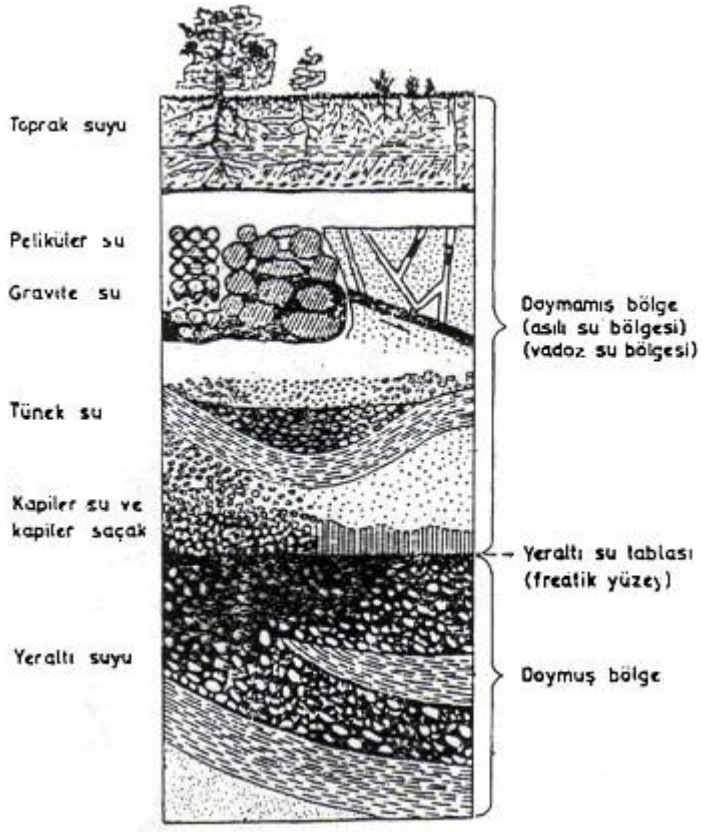
Şekil 1. Su döngüsü (Davidson ve diğerleri,1997).

Sularda yer alan kimyasallar, hidrolojik dolaşımla birlikte ya içme suyu ile doğrudan ya da sulama suyu ile önce toprak, bitki ve hayvanlara onlardan da et süt yumurta gibi besinlerle insan vücuduna geçmektedir. Ancak bu akışın ayrıntılı olarak değerlendirilmesi sağlığımız için önemlidir. Bu konulardaki bilimsel çalışmalar jeoloji, hidrojeoloji, tarım, kimya, biyoloji, tıp, veterinerlik, mikrobiyoloji ile çevre ve su mühendisliği gibi disiplinlerin dayanışması ile geliştirilebilir.

SUYUN YERALTINDA DAĞILIMI

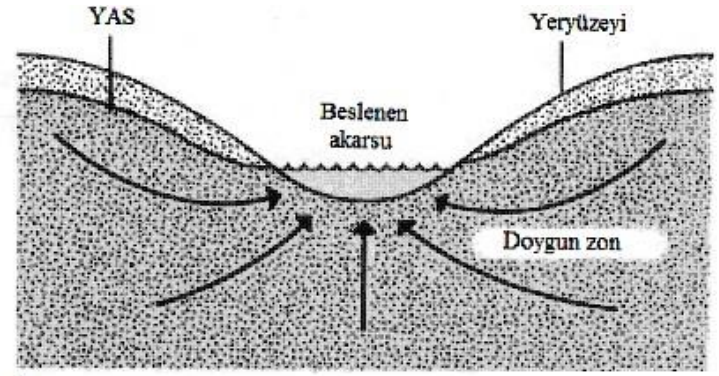
Yeraltı sularının nerede ve nasıl bulunabileceğini saptamak için öncelikle suyun yerkabuğu içindeki yanal ve dikey dağılımını bilmek ve hidrolojik koşullar, jeolojik yapı ve bu yapıyı oluşturan kayaların su tutma ve su verme özelliklerini ortaya koymak gerekir. Suyun dikey dağılımı Şekil 3'de sunulmuştur. Ayrıca yağışın dağılımı çerçevesinde suyun da yatay bir dağılımı vardır. Suyun dikey ve yatay dağılımı, yağışın miktarı ve jeolojik birimlerin akifer olma nitelikleri tarafından denetlenmektedir.

Yeraltı suyu tablasının üzerinde, zeminin kılcal boşlukları arasında suyun yükselebildiği bir kısım bulunur ki bu kısma "***Kapiler saçak bölgesi***" denir ve bu sınırın altında bulunan suya da "***Yeraltı suları***" adı verilir (Şekil, 3). Hidrojeoloji, yeraltı sularını inceler. Kuyu ve sondajlarda ya da kaynaklarda yeraltı su düzeyinin alçalıp yükselmeleri, geçici ve sürekli hareketleri ve suyun akış hızı çeşitli ölçümlerle saptanabilir.

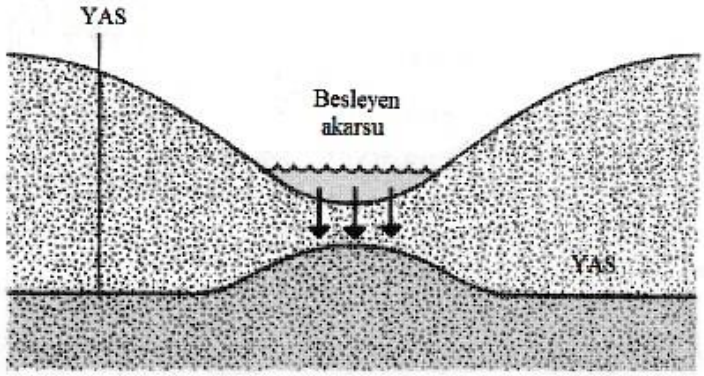


Şekil 3. Yeraltı sularının dikey dağılımı (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

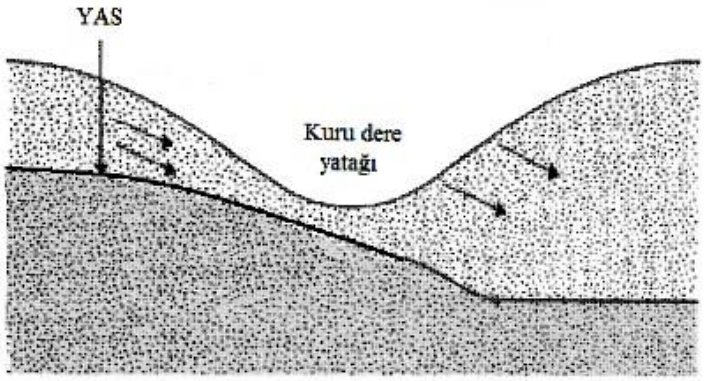
Yeraltı sularının devinimine; hidrolik eğim (suyun giriş ve çıkış noktaları arasındaki yükseklik farkı), gözeneklilik-porozite (kütle içindeki boşluk hacminin tüm hacme oranı), geçirimlilik-permeabilite (kayaların suları geçirme niteliği), iletkenlik-transmisibilite (bir akiferin suyu iletme kapasitesi) gibi öğeler etki eder. Yeraltı suyu ve yerüstü sularının ilişkisi ve beslenme biçimleri Şekil 4'te, yer altında suyun bulunuş şekilleri, tanelerin etrafını sarması, gözeneklerde ve çatlaklarda tutulması ile çekim suyunun aşağıya doğru akma biçimi ise Şekil, 5'te görülmektedir.



A

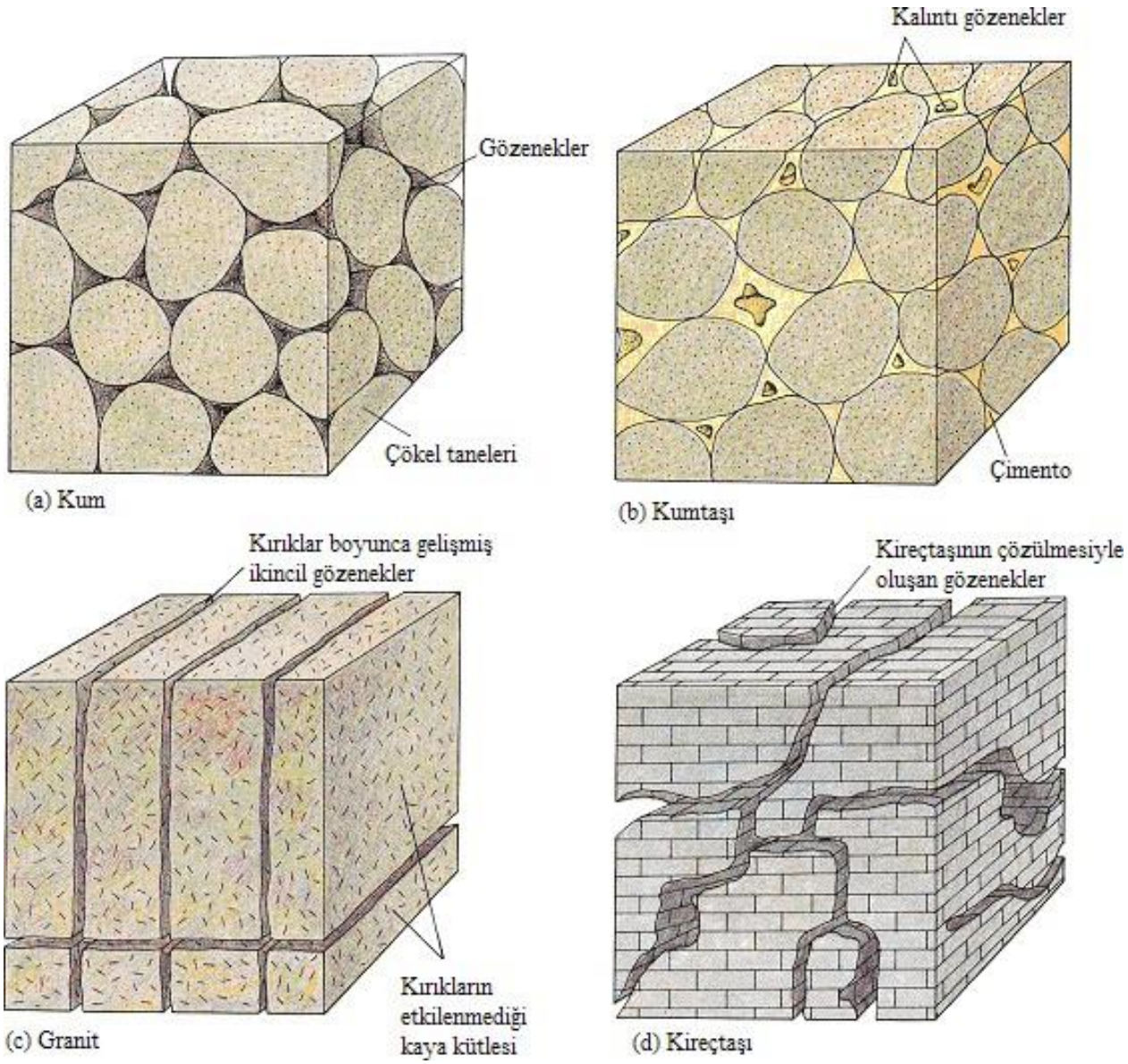


B



C

Şekil 4. Yerüstü ve yeraltı suyu ilişkisi (Plummer ve McGeary,1992).
A) Yeraltı suyunun akarsuyu beslemesi.
B) Akarsuyun yeraltı suyunu beslemesi.
C) Kuru dere yatağı.



Şekil 5. Yeraltı sularını içeren gözenekli ve kırıklı yapılar (Coch ve Ludman, 1991).

AKİFER KAVRAMI VE AKİFER TÜRLERİ

Yeraltında çeşitli kayatürleri bulunmaktadır. Bu kayatürlerinin su tutma dereceleri, kayatürü özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Kayatürleri genellikle tekdüze (homojen) olmayıp, çeşitli doğrultularda değişken (anizotrop) ve farklı hidrolojik nitelikler sunarlar. Varolan farklılıklar yeraltı sularının toplanmasına, dağılımına ve bir çevre kaynağı olarak alınıp değerlendirilmesine etki ederler. Onun için hidrojeolojik çalışmalarda öncelikle yeraltının kayatürü özellikleri ve jeolojik yapısı irdelenir.

Yeraltı suları bazı kayatürlerinde toplanabilir ve kaynaklarla ya da pompalama işlemiyle bu su alınabilir. Su tutma niteliği olan kayatürlerine ya da katmanlara "***Akifer***" ya da "***Nap***" denir. ***Aqui (Aqua)*** su, ***Fer (ferra)*** taşıyan anlamına gelir. Katmanların su ile doygun olan bölümün üst yüzüne "***Akifer Düzeyi***" denir. Akiferlerden su alabilme, akiferin tipine, kalınlığına ve doygunluk derecesine

bağlıdır. Akifer düzeyi ile akiferin altındaki geçirimsiz katman arasındaki uzaklığa ***Akifer kalınlığı*** denir.

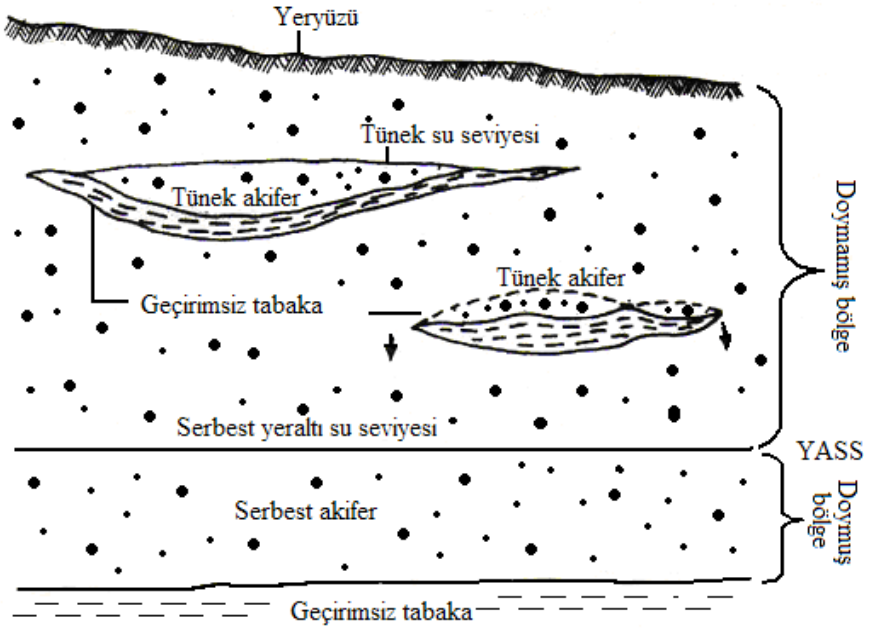
Akifer türleri

Akiferler genel olarak Serbest Akifer, Basınçlı Akifer ve Sızdıran Akifer olmak üzere üç temel gruba ayrılabilir (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Bu üç tür akifer doğada bazan bir arada bulunabilir. Ancak YASS'nin üstünde yer alan yerel geçirimsiz bir katmanın üzerinde de "Tünek akifer" denilen özel bir akifer türü oluşabilir (Şekil 6). Serbest ve basınçlı akiferlerin üst üste bir arada bulunan türüne "Karışık Akifer" adı verilir (Şekil 7).

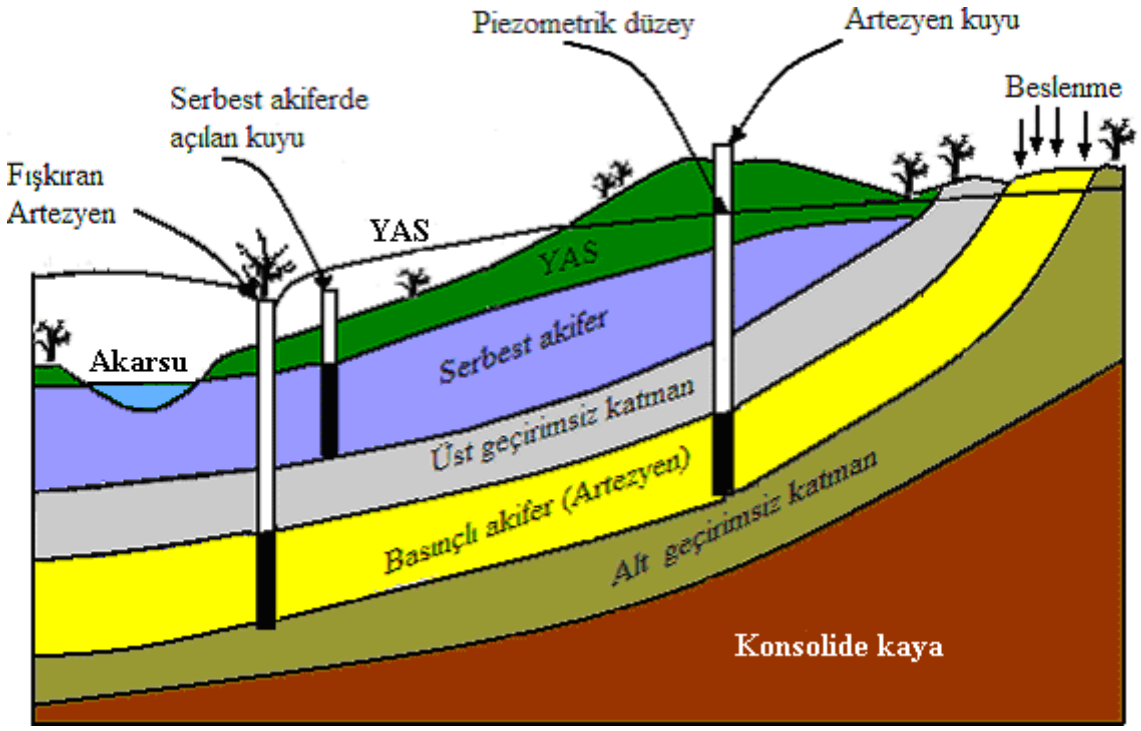
Serbest akifer, arazide her taraftan su alabilen katmanlardır. Bu tip akiferlerin üstlerinde yağış suyunun sızmasını engelleyen geçirimsiz bir katman yoktur ve hava ile temas halindedir. Altlarında ise yarı geçirgen ya da geçirgen olmayan bir katman bulunur.

Basınçlı akifer, atmosfer basıncından daha fazla bir basınç altında bulunan katmanlardır. Bunlar iki ya da daha fazla geçirimsiz katmanın arasındadır ve bunların serbest yüzeyleri yoktur. Basınçlı akiferlerde su bazen yeryüzüne fışkırır ve akar. Bu gibi basınçlı naplara "Fışkıran Artezyen" ya da "Pozitif Artezyen" denir. Doğada bazen serbest ya da basınçlı akifer niteliğinde su taşıyan katmanlar birlikte bulunur. Bunlar da ***karışık akiferler*** grubuna konulabilir.

Sızdıran akiferler, akiferlere giren ve akiferlerden alınan su miktarları arasında bir fark doğuyorsa, akiferlerin alt ya da üstlerinde bulunan geçirimsiz ya da yarı geçirimli katmanların suları sızdırdığı söylenebilir. Bu tür akiferlere "Sızdıran Akiferler" adı verilmiştir. Sızdırma oranını, akiferlerde yapılacak sağlıklı ölçümlerle matematiksel olarak ortaya koymak mümkündür.



Şekil 6. Tünek akiferlerin yapay görünümü (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).



Şekil 7. Serbest ve basınçlı akiferler. fışkıran artezyon (pozitif artezyen) ve fışkırmayan artezyen (negatif artezyen) kuyuları (Erguvanlı ve Yüzer, 1973'den kısmen değiştirilerek).

SU TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

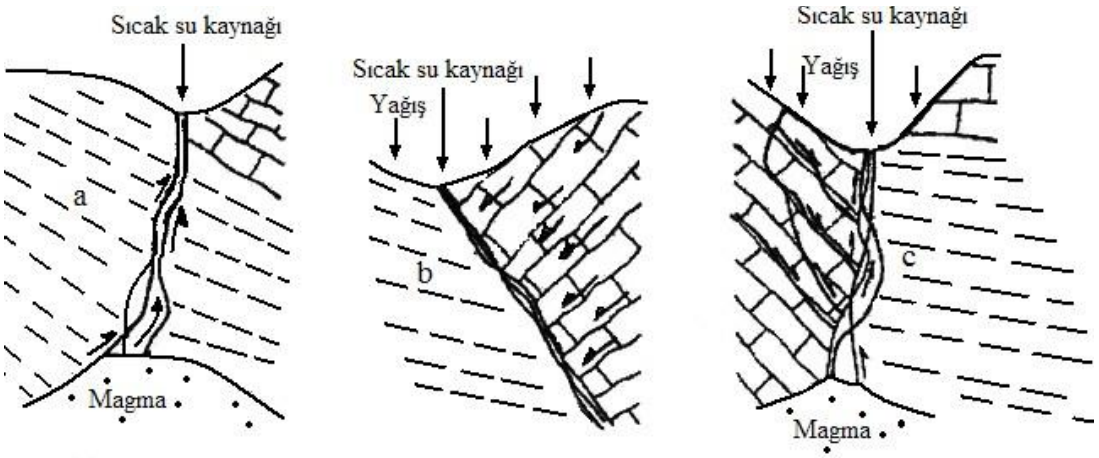
Maden suları, içlerinde bir litrede (1000 mg) bir gramdan fazla ergimiş mineral madde bulunan ve sağlık yönüyle yararlı olan doğal sulara maden suları denir.

Termal sular, sıcaklığı, hava sıcaklığından 5-6 ^{o}C daha fazla olan sulardır. Bu tür suların çıktığı yerin üzeri kapatılmış ve bir bina yapılmışsa bunlara da "kapalı ılıca" ya da kısaca "Kaplıca" denir. İçinde çeşitli eriyikler bulunan ve sıcaklıkları olağanın üzerinde olan kaplıca ve maden suları yerkabuğunun derinliklerinden yeryüzüne çıkmaktadır. Yer altındaki sıcaklık kayaların türüne, ısı iletkenlilerine ve jeolojik yapılarına göre değişmekte, genel olarak derine doğru her 30 m'de sıcaklığın 1^{o}C arttığı kabul edilmektedir.

Juvenil (hipojenik) sular, yerkabuğunun derinliklerinde magma tarafından ısıtıldıktan sonra yeryüzüne ilk kez çıkan sular olup çoğu zaman yüksek bir sıcaklığa sahiptirler (Şekil 8a).

Vadoz sular, yeryüzündeki sular yerçekimi ile kırık, çatlak, fay ve diğer süreksizliklerden sızarak yerin derinliklerine ulaşması ve orada kısmen de olsa ısınıp, sonra tekrar yüzeye çıkması sonucu oluşan sulardır (Şekil 8b).

Karışık sular, juvenil ya da vadoz sular değişik ortamlarda ve bölgelerde birbirleriyle karışık ve üçüncü tür sıcak ya da maden sularını oluştururlar. Bunlara ""Karışık sular" adı verilir (Şekil 8c).



Şekil 8. Juvenil (a); Vadoz (b) ve Karışık (c) türdeki sıcak suların oluşum yolları (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Kaplıca suları, anyonlar (Cl, B, I, F, SO_4, As, S, CO_3 ve HCO_3), katyonlar (Na, K, Li, Ca, Mg, Fe, Al, Mn, B), elekrolit olmayan elementler (B, Si) ve nadir elementler (Rb, Ce, Ga, Ge, V), ağır madenler (N, Co, Zn, Cd, Ag, Mo, Cr), ve gazlar (CO_2, SO_2, CH_4, H, O, N), nadir gazlar (Ar, Ne, He, Kr, Ks) içerirler (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Sertlik, karbonat sertliği, Ca ve Mg karbonat ile bikarbonatlardan ileri gelir ve suların kaynatılması ile giderilebilir.

Karbonat olmayan sertlik ise Ca ve Mg sülfat, klorür ve nitratlardan ileri gelir ve suların kaynatılması ile giderilemez.

Sertlik derecesi, 1 litre suda 10 mg Ca ve Mg bikarbonat ya da buna eşit oranda diğer sertlik verici iyonların bulunması halinde, o suyun sertliği 1 Fransız derecesi (1 Fr°) olarak tanımlanır.

$$Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows \underline{CaCO_3}+CO_2+H_2O, \qquad CO_2+H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$$

Üst üste kabuklanır

Karst (Kalker) hidrojeolojisi, suların etkisiyle eriyebilen karbonatlı (kalker ve dolomit) ve sülfatlı (anhidrit ve jips) kayalarda suların toplanması, yayılması, akması ve bunlardan yararlanması gibi süreçleri irdeler.

Yeraltı su düzeyinin değişmesi, başlıca yağış, yüzeysel akış, buharlaşma-terleme, atmosfer basıncı değişimi, gelgit ve deprem gibi ögelerin denetiminde olmaktadır.

YERALTISULARININ ARAŞTIRILMASI

Yeraltı suları, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunmaktadır. Kaynaklar, bataklıklar, yol yarmalarındaki kimi sızıntılar, bazı özgün bitki türleri, bir bölgede yeraltı suyunun varlığını belgelemektedir. Ancak, yeraltı suyunun miktarı, kimyasal bileşimi ve bakteriyolojik özellikleri de önemlidir. Çeşitli amaçlarla kullanmayı düşündüğümüz suyun yeraltında, hangi derinlikte, ne şekilde ve miktarda ve hangi bileşimde bulunduğunu ve buna göre en ekonomik yararlanma biçiminin seçilmesi ayrıntılı bilimsel bir araştırmayı gerektirmektedir.

Yeraltı suları araştırmaları "***Hidrojeolojik İncelemeler***", çalışılan bölgenin büyüklüğüne göre "***Hidrojeolojik havza araştırmaları***" ve "***Yerel araştırmalar***" olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hidrojeolojik havza çalışmaları bir ovayı, dolayısıyla binlerce km^2 'lık alanı kapsayabilir. Yerel araştırmalar ise birkaç km^2 'den birkaç 100 km^2 lik alana yayılan yeraltı sularının incelenmesini amaçlamaktadır.

Yeraltı suyu araştırmalarında jeolojik, hidrolojik, jeofizik ve sondaj olmak üzere dört ayrı özellikte çalışma yapılır. Bu çalışmalardan elde edilen verileri birleştirerek yeraltı suyunun potansiyeli ve kullanım yerleri belirlenir.

Jeolojik araştırmalar

Jeolojik çalışmalara başlamadan evvel, genel coğrafik yapı içinde inceleme alanının yeri ve konumu, topografyası ve morfolojisi, nüfus ve yerleşme durumu, ulaşım durumu, bugünkü ve gelecekte olası endüstriyel yapı değerlendirilir. Bu bilgiler, yeraltı suyunun planlanması açısından önemlidir.

Jeolojik araştırmalara başlarken yörede daha önce yapılmış olan haritalardan ve hava fotoğraflarından yararlanılır. Ancak ortaya çıkan bilgi yeterli değilse, yeraltı suları açısından gerekli olan bilgileri de üretecek biçimde konuya özel jeolojik haritalama yapılır.

Jeolojik inceleme sonucunda eksiksiz bir stratigrafik kesit, bu kesitte yer alan birimlerin akifer olma nitelikleri ve ayrıntılı bir jeolojik yapı ortaya konulmalıdır. Birimlerin akifer olma niteliklerini kayatürlerinin gözenekliği (porozite) ve geçirgenliği (permeabilite) belirler. Dolayısıyla her kayatürünün gözeneklilik ve geçirgenliği önceki çalışmaların yardımıyla ya da yeni deneyler yaparak belirlenmesi zorunludur. Ayrıca çatlak, yarık, fay ve erime boşluğu gibi yapısal süreksizlikler yeraltı sularının dolaşımı üzerinde etkilidirler. Onun için genel jeolojik yapı ortaya konulurken, tüm süreksizliklerin bu yapı ile ilişkileri de belirlenmelidir.

Hidrolojik araştırmalar

Yeraltı suları, atmosferden gelen yağışlarla beslenir. Dolayısıyla yağış başta olmak üzere, yüzeysel akış, buharlaşma-terleme, atmosfer basıncı değişimi, gel-git, deprem ve bunlara bağlı sızma ile ilgili verilerin doğru olarak belirlenmesi, yeraltı su miktarını ortaya koymada kolaylıklar sağlar. Akiferin beslenmesi, yağışın türüne, mevsimlere göre dağılımına, yüzey eğimine, ortamın kayatürü özelliklerine ve bitki örtüsüne bağlı olarak değişir. Diğer taraftan kaynakların konumu ve nitelikleri son derece önemlidir. Örneğin vadi yamaçlarındaki küçük debili ve sürekli olan kaynaklar, derinliği az ve geçirgenliği düşük olan akiferleri, vadi tabanlarındaki çeşitli debili kaynaklar da derin ve geçirgenliği gibi bilgiler, serbest yeraltı su düzeylerinin durumunu anlamamızı kolaylaştırırlar.

Vadi tabanlarında ve bunlara yakın akiferlerde, yeraltı ve yerüstü suları arasındaki ilişkiler denetlenebilir. Çünkü yerüstü sularında debiye bağlı olan düzey değişikliklerinin etkileri, yeraltı suları üzerinde hemen izlenebilir. Bu ilişki gerek akiferlerin akarsudan beslenmesi, gerekse akiferin akarsuyu beslemesinde çok açıktır.

Her hidrojeolojik incelemede en azından göl, bataklık, akarsu, kaynak ve kuyuların belirlenip, bu su noktalarındaki verileri değerlendirilerek, yeraltı suyunun boşalım ya da beslenmesinin koşulları ortaya konulmalıdır. Ayrıca, serbest akiferler için su tablası eğrileri, basınçlı akiferler için eş basınç eğrileri çizilir. Öte yandan, yeraltı suyu kimyası için analizler yapılır ve elde edilen sonuçlara göre bu suyun hangi amaçla kullanılmasına uygun olduğuna karar verilir.

Jeofizik araştırmalar

Yeraltı jeolojisi hakkında dolaylı da olsa bilgi edinmek amacıyla jeofizik araştırmalar yapılır. Böylece yüzeyde belirlenmiş olan jeolojik yapının yeraltında nasıl devam ettiği daha net bir biçimde ortaya konulur. Bu araştırmalarda, yerkabuğunu oluşturan çeşitli kayatürlerinin elektriksel özdirenç (rezistivite), elastik dalgaları iletme (sismik), manyetik duyarlılık (süseptibilite), yoğunluk (gravite) ve radyoaktivite gibi değişik fiziksel özellikleri irdelenir. Örneğin suya doygun iri kum ve çakıl karışımı bir akifer ile suya doygun kiltaşı ve ince taneli kumtaşından oluşan bir akiferin elektriksel özdirençleri (rezistivite) birbirinden oldukça farklıdır. Bu farklılık jeofizik yöntemlerle ortaya konulabilir.

Günümüzde çeşitli jeofizik yöntemlerin uygulanması ile akiferlerin konumu, kayatürlerinin geçirgenliği ve su tutma durumları, yeraltı suyunun akım yönü ve doğrultusu, kıyı akiferlerinde tatlı su-tuzlu su girişim alanları kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Su kuyularının tasarımı ve sondaj çalışmaları

Yeraltı suları ile ilgili jeolojik, hidrolojik ve jeofizik veriler ortaya konulduktan sonra, verileri denetlemek amacıyla sondaj çalışmaları yapılır. Bunun için öncelikle kuyuların açılacağı yerler belirlenir. Daha sonra sondaj çalışmalarına başlanır. Sondaj sırasında elde edilen bilgilerden yaralanılarak kuyu logu hazırlanır. Bu loglar, yeraltı suları ile ilgili tüm jeolojik, hidrolojik ve jeofizik bilgileri içerecek şekilde düzenlenmelidir.

Kuyuların tasarımı, kuyuların yer seçimi, kuyuda kullanılacak gereçlerin ve kuyu boyutlarının belirlenmesi işlerinin gerçekleştirilmesidir.

Kuyuların yer seçimi hem akarsuların akış yönünde hem de akarsuya dik yönde yeraltı su düzeyini ortaya koyacak biçimde gerçekleştirilmelidir. Böylece yeraltı su tablasının konumu ve akış yönü arasındaki ilişkiler de kurulabilir.

İyi bir kuyu tasarımında gözetilmesi gereken unsurlar aşağıda sunulmuştur (Akpınar, 1999) :

1- Akiferin kapasitesiyle uyumlu, en az düşümle en yüksek debiyi sağlamak
2- Uygun yöntemlerle kirlilikten korunabilir iyi kalitede su elde etmek
3- Su içerisindeki ince malzemeyi en aza düşürmek ya da tümüyle bertaraf etmek
4- 25 yıl ya da daha uzun süre kullanılabilir bir kuyu açmak
5- Kısa ve uzun dönem maliyetlerini en alt düzeyde tutmak

Yüksek bir verime sahip kuyuların tasarımında gereksinim duyulan hidrojeolojik veriler de aşağıda sunulmuştur.

1- Akifer ve örtü katmanıyla ilgili stratigrafik veriler
2- Akifer'in iletkenliği (transmisivite) ve depolama (storetivite)
3- Akifer'in şimdiki ve uzun dönem beslenme verileri
4- Konsolide olmamış akifer gereçlerinin tanecik analizleri ve mineral içeriği
5- Su kalitesi

Ayrıca açılacak kuyunun çapı ve derinliği, kuyuda kesilecek kayatürleri, olası statik ve dinamik su düzeyleri, alınacak su verimi, kullanılacak araç gereç ve yöntemler, olası bir sorunun ortaya çıkması durumunda alınacak önlemler, sondaj çalışmalarına başlamadan tasarlanmalıdır.

DOĞAL ARITMA

Yeraltı suları da büyük ölçüde kirlenmektedir. Yeraltı suyunun kirlenmesi, insanın yaşamını sürdüğü tüm alanlarda olabilir. Şekil 9'da yeraltı suyunun kirlenmesine yol açan bazı potansiyel kaynaklar görülmektedir (Akpınar, 2008).

Meydana gelen kirliliğin denetimi için çeşitli yöntemler öngörülebilir. Örneğin, ***Yapay sulak alanlar***, küçük yerleşim birimlerinden büyük şehirlere ve sanayi tesislerine kadar birçok noktadan çıkan atık suları bünyesinde bulunan bitkiler yolu ile arıtan ***doğal arıtma sistemleri***dir.

Havadan aldıkları oksijeni suya ileten bitkiler kökleri vasıtasıyla suda istenmeyen kirletici maddeleri besin olarak kullanarak suyun arıtılmasını sağlamaktadır. Bitkilerin yetiştirildiği yatak ortamının filtre edici özelliği de suyun arıtılmasına katkıda bulunmaktadır.

Bir kısım ağır metallerin de tüketildiği doğal arıtma tesislerinden çıkan su, tarımda kullanılabilir temizlikte ve kalitede olup, su kirliliği kontrol yönetmeliği ve AB normlarında belirtilen sınır değerlerinin çok daha üstünde iyi niteliklere sahiptir. Dolayısıyla bu su, başka amaçlar için de kullanılabilir.

Kaybedilen güzelliklerin ardından ağıtlar yakmak ortak özelliğimiz haline gelmiştir. Ancak ağıtlarımız ne yakılan ormanları ne de kirletilen toprağımızı ve suyumuzu geri getirebilmiştir.

Atık sularla kirletilen Haliç ve İzmir Körfezinin temizlenme maliyeti 1 milyar doların üzerindedir. Tuz Gölü hala kirletilmeye devam edilmekte, dere ve nehirlerimiz, göllerimiz, sulama ve içme sularımız da yoğun bir kirlenme tehdidi ile karşı karşıya kalmaktadır. Çevre dostu hareketler ise kamuoyunda hak ettiği ilgiyi görmemektedir.

İşte bu noktada, ***Köy Hizmetleri*** basit, kullanılabilir, ekonomik ve çevreyi kirletmeyen bir arıtma sistemi olarak ***doğal arıtma sistemlerini*** köylerimizde uygulama yönünde çaba göstermektedir.

SU KAYNAKLARI İLE İLGİLİ SORUNLAR VE SU KİRLİLİĞİ

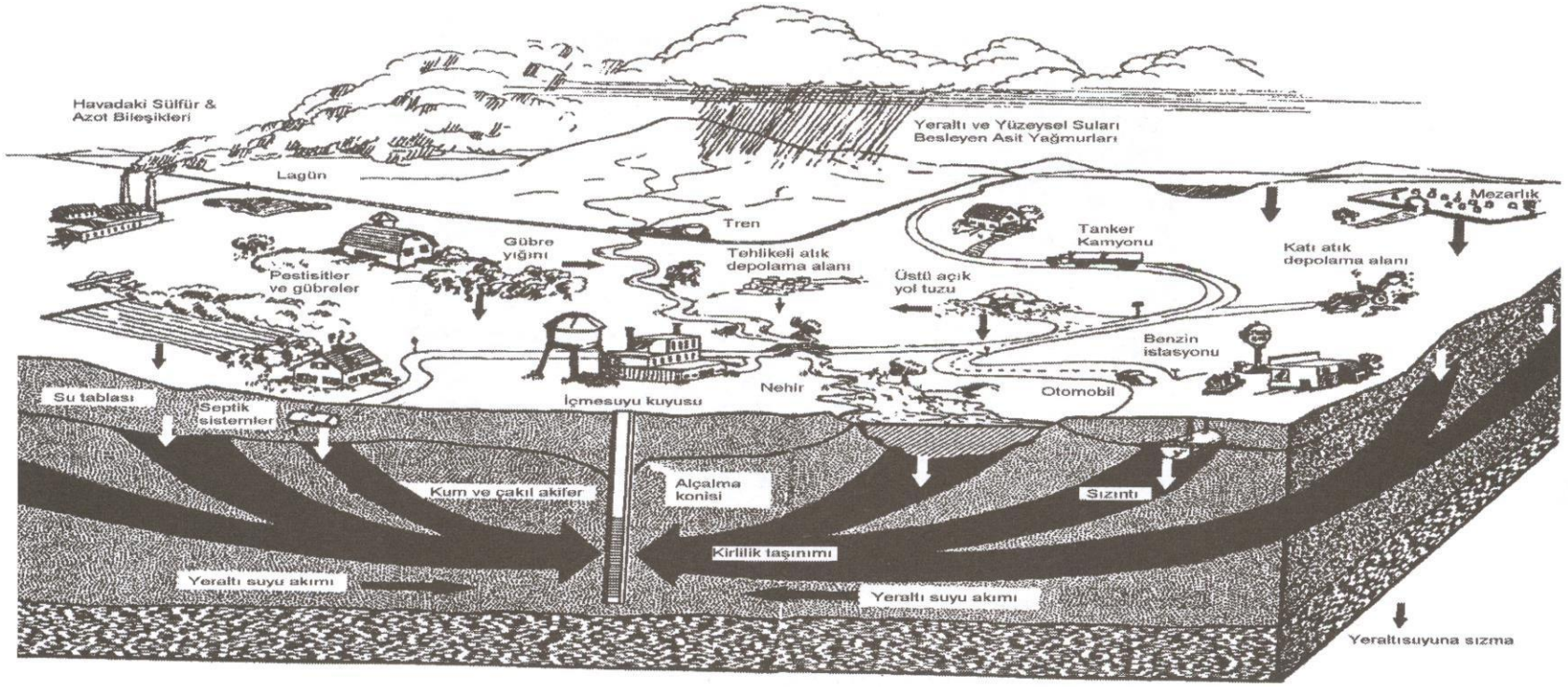
Herhangi bir maddenin su içindeki derişimi tanımlanabilir. Şekil 9'da yer altı sularını tehdit eden bazı kirletici kaynakları görülmektedir. Bu çerçevede çeşitli kimyasalların sınır değerleri de tanımlanmaktadır. Örneğin, bir kimyasalın bir litre suda mikrogram olarak değeri (µg/L) C_j ve o madde için sınır değer G_j (µg/L) ise $(C_1/G_1 + C_2/G_2 + C_3/G_3 + \ldots \geq 1$ bağıntısı korunmalıdır. Suda tek bir yabancı madde varsa, bunun sudaki derişiminin en yüksek sınır değer kadar olacağı açıktır. Yani $C_1/G_1=1$ ya da $C_1=G_1$'dir.

Sudaki iki madde için (örneğin Arsenik ve Bor) sınır değerler 25730 nolu yönetmeliğe göre, Arsenik için, $G_{As}=10$ µg/L ; Bor için , $G_{Bor}=1000$ µg/L dır. Eğer sudaki arsenik derişimi örneğin 5 µg/L ise, $(5/10)+(C_{Bor}/1000)=1$ olup, buradan da bor derişiminin: $C_{Bor}=(1- 0,5)\times1000=500$ µg/L değerini geçmemesi gerektiği bulunur.

Suda başka maddeler varsa, bunların aşılmaması gereken derişimleri yukarıda sunulan ilişkiler gözetilerek çıkarılabilir. Ayrıca kimi maddelerin sudan süzülmesi ya da suyun bekletilmesi gibi yollarla elenmesi sağlanabilir. Ayrıca içilebilir suların bileşimi ve alıcı ortama verilecek kullanılmış sulara dair sınırlamalar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nden çıkarılabilir. Çeşitli faaliyetler nedeniyle oluşan su kirliliği su kaynakları ile ilgili temel bir sorundur.

Ayrıca ülkemizde kuraklık olgusu da doğal bir afet olarak değerlendirilmektedir. Kuraklık insan ve çevreye en çok zarar veren ve önemli sosyoekonomik kayıplara yol açan afetlerden biridir. Kuraklık iklim koşullarına göre yeterli yağışın olamaması nedeniyle meteorolojik kuraklık olarak başlayarak yağışların azalması sonucu toprağın nem içeriğinin düşmesi nedeniyle Zirai kuraklık haline dönüşmektedir. Yağışların az olması akarsuların debisinin düşmesine neden olur. Bu durum ise hidrolojik kuraklık olarak tanımlanmaktadır. Sonuç olarak kuraklık insan yaşamını büyük ölçüde etkileyen sosyoekonomik kuraklık biçimine de dönüşebilir (Birkan, 2014).

Her ne kadar iklimlerin değişkenliğini kabul etsek bile, yaşamakta olduğumuz kuraklık küresel iklim değişikliği, plansız kentleşme ve yeşil doğal ortamın yok edilmesinin bir sonucudur. Birleşmiş Milletler Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) raporunda kuraklık tehlikesinin Anadolu'yu da çok aşırı bir düzeyde etkileyeceği belirtilmektedir. NASA tarafından yapılan araştırmaya göre iklim değişikliği ve aşırı erozyon nedeniyle 2040 yılında Türkiye'nin büyük bir bölümünün çöl olması beklenmektedir.



Şekil 9. Yeraltı sularını kirleten bazı potansiyel kaynaklar (Akpınar, 2008).

Türkiye'nin artık Kriz Yönetimi anlayışından Risk Yönetimi anlayışına geçmesi gerekmektedir. Bu anlamda suyun son derece önemli ve yaşamsal düzeyde bir yer alacağı bilindiğine göre, ülkemizde aynen mali bir bütçe gibi bir su bütçesinin yapılması ve her yıl Ekim ayı itibarıyla Su Bütçesi'nin değerlendirilmesi zorunludur.

Öte yandan ormanların yok edilerek bu bölgelerden yapılaşmaya gidilmesi ya da sanayi bölgelerinin tarım alanlarına ve su havzalarına kurulması Ülkeye ve çevreye yapılan en büyük kötülük ve ihanet olarak düşünülmelidir. Tarımda ise yağmurlama ve damlama sistemlerine geçmek şarttır (Birkan 2014). Önemli olan büyük su kaynaklarına sahip olmak değildir. Su kaynaklarının sürdürülebilir bir anlayışla ve en verimli bir biçimde kullanılması daha önemlidir.

Ülkemiz, su kaynakları açısından görünürde oldukça zengin olsa da su kullanım oranı da bir o kadar yüksektir. Sadece Türkiye'de değil, Dünya'nın neredeyse her ülkesinde benzer sorunlar yaşanmaktadır. Suyun sürdürülebilir çerçevede sorumluca kullanılması konusunda ***'Su ayak izi'*** kavramı giderek önem kazanmaktadır.

Su ayak izi, aslında su kullanımının bir göstergesidir. Üstelik sadece direkt olarak kullanılan ve içilen suların değil, gerek giydiğimiz kıyafetler için harcanan suların, gerekse yediğimiz yiyecekler için harcanmış olan suların tamamının bir göstergesidir. ***Su ayak izi; yeşil su, mavi su ve gri su*** olmak üzere 3 bileşenden oluşur. Mavi ve yeşil renkler su tüketimini gösterirken, gri renk ise suyun kirliliğinin bir göstergesidir. Örneğin yalnızca bir fincan kahve için tamı tamına 130 litre su kullanılmaktadır ve bu suyun % 96'sı yeşil, % 1'i mavi, % 3'ü ise gri su olarak tanımlanmaktadır. (Mekonnen, ve Hoekstra, 2011). Giydiğimiz normal pamuklu bir tişört için bile yaklaşık 2700 su harcanırken bunun oranları ise % 54 yeşil, % 33 mavi, % 13 gri olarak işlem görmektedir. Bu oranlardaki yeşil ve mavi su yüzdeleri bize bu söz konusu işlemlerde harcanan suların ne kadar çok önemli olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla da su ayak izi çok boyutlu bir göstergedir. Buna bağlı olarak aynı zamanda, bir coğrafyadaki veya belirli bir bölgedeki su kıtlığına etki eden su kullanımının oluşturduğu etkileri hesaplamaya da fırsat vermektedir.

Yeşil su ayak izi, yeryüzüne düşen yağış miktarının ve yağış sularının yüzey üzerinde kalıp yeraltına geçmediği ve bitkiler tarafından kullanıldığı zamanlarda oluşur. Suların yüzeyde kalması nedeniyle de yeşil su ayak izinin belirttiği miktar, buharlaşan su ve bitkiler tarafından kullanılan suyun miktarının bir göstergesidir. ***Mavi su ayak izi,*** yeşil suyun tam tersine yeraltından veya yüzeysel kaynaklardan gelen suyun buharlaşması sonucu, geldiği su kaynağına geri dönmesi ve üretim amacıyla kullanılması ile meydana gelen tüketim miktarının bir göstergesidir. Mavi su, yeşil suya göre daha geniş çaplı olup, yalnızca tarımda değil; bunun yanında evsel kullanım suyu olarak ve fabrikalarda üretim aşamalarında kullanım suyu olarak da değerlendirilir ve mavi su ayak izi oranını oluşturur. ***Gri su ayak izi,*** üretimde kullanılıp atık suya dönüşen ve kirletilen temiz su miktarını belirtir. Gri su ayak izi, bir boru ile akma yoluyla veya dolaylı şekilde topraktan sızıntı olarak noktasal kaynaklı ortaya çıkan kirliliği de belirler [https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/82-haberler/yazar-za/1539-su-ayak-izi-ve-surdurulebilirlik (22 Şubat, 2021)].

Yukarıda görüldüğü gibi, üç su ayak izi bileşeni de suyun nerelerde nasıl kullanıldığına ya da doğanın ne kadar çok kirletildiğine dair bilgi içermektedir. Dolayısıyla, su ayak izine dair değerlendirmelere ve suyun tasarrufu konusuna sürdürülebilir bir yaşam için özen göstermek gerekir. Bunun başka bir yolu da yoktur.

Küresel düzeyde, % 87'si Yeşil ve % 13'ü mavi olmak üzere tatlı su, endüstriyel ve tarımsal üretim alanlarında ya da evsel su ihtiyacını da karşılamak üzere tüketilmektedir. Tarım, küresel su tüketiminin % 99'unu, yani neredeyse tümünü oluşturan en büyük tatlı su kullanım alanıdır (Hoekstra ve Mekonnen, 2011). Dolayısıyla, tarımda suyun yeni teknolojileri de kullanarak, en verimli bir şekilde kullanılması zorunludur.

KAYNAKLAR

Akpınar, K., 1999, Su Kuyularının Açılması ve İşletilmesi, Sorunlar ve Çözümleri: Mapek Makine ve Sanayi Ltd. Şti., Ankara, 696 s.

Akpınar, K., 2008, Yer altı sularımızın sorunları, ülkemizin geleceği için önemi ve yeni bir yeraltı suyu yasası neler içermelidir: Kuraklık ve su yönetimi toplantısı bildiri kitabı, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, Ankara, s.81-90.

Apaydın, A., Aktaş, S. D. ve Kaya, S., 2008, Orta Anadolu Bölgesi' inde kuraklıkla mücadele de alternatif öneri: Yeraltı Barajları: Kuraklık ve su yönetimi toplantısı bildiri kitabı, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, Ankara, s.184-198.

Birkan, İ., 2014, Bilimsel anlamda kuraklık, Cumhuriyet Bilim Teknoloji, Sayı,1406; s.20.

Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.

Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997, Exploring Earth: A introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.

Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., 1973, Yeraltısuları Jeolojisi: İTÜ, Sayı, 967; Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 340 s.

https://www.cografyaci.gen.tr/wp-content/uploads/2018/10/Harita-1.5.25-T%C3%BCrkiye%E2%80%99de-ya%C4%9F%C4%B1%C5%9F-da%C4%9F%C4%B1l%C4%B1%C5%9F%C4%B1-www.mgm_.gov_.tr_.png

https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/82-haberler/yazar-za/1539-su-ayak-izi-ve-surdurulebilirlik (22 Şubat, 2021).

Mekonnen, M. M. ve Hoekstra, A. Y., 2011, The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 1577–1600, doi:10.5194/hess-15-1577- 2011,

Plummer, M.C. ve Mc Geary, 1988, Physical Geology. WM. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, 535s.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Bölüm 11. TEHLİKELER VE RİSKLER

GENEL BİLGİLER

Toprak ve su kaynaklarının iyi yönetilmesi, ekonomik yararlar sağlar. Yönetim aşamasında yapılacak yanlışlıklar sonucunda, bu kaynaklar kolaylıkla zarar görebilir. Arazi kullanımı hem doğa kaynaklı süreçlerden hem de yapay, yani insanın gerçekleştirdiği faaliyetlerden etkilenir. Örneğin verimli bir ovadaki tarım kuraklıktan etkilenir. Zararlı atıkların uygun olmayan bir bölgeye bırakılmasının da arazi kullanımını olumsuz bir biçimde etkilediği bilinmektedir. Öte yandan, petrol kaynaklarının işletilmesi, doğal ekosistemlere zarar verebilir. Sonuç olarak, böyle durumlarda önce ekosistemler sonra da halk, doğal ve teknolojik tehlikelerden ya da bu tehlikelerin yarattığı risklerden etkilenmektedir.

Toprak, su ve enerji kaynaklarıyla ilgilenen uzmanlar, tehlikeli durumlarla ilgili ayrıntılı bilgiyi üretmektedirler. Jeoloji mühendisleri, jeolojik olaylar ve süreçlerle ilgili bilimsel bilgi altyapısını sağlarlar. Sosyal bilimciler ise bu olaylara karşılık gelen kamu ve politik tepkileri analiz eder. Biyologlar ya da sağlık uzmanları çevresel değişimin bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerindeki etkilerini analiz ederler. Bu uzmanlar başlangıçta kendi uzmanlık alanlarına dayalı bilimsel analizlerle uğraşırlar. Daha sonra uzmanlar birbirini ve halkı, hatta yasa yapıcıları da bilgilendirirler. Böylece üretilen kapsamlı bilgileri, tehlikeler ve risklere ilişkin politikanın altyapısını oluşturmak üzere değerlendirirler.

Konunun teknik ayrıntılarını bilen uzmanlar, yetkililere 2. aşamada yardım edebilirler.

1. Yetkililerin, günümüzde gelişen olayların gelecekteki sonuçlarını anlamasına yardım ederek.
2. Yetkililerin, gelecekteki kayıplardan ve sorunlardan sakınmak üzere bu bilgiyi kullanmayı öğrenmesine yardım ederek.

Doğa bilimciler ve sosyal bilimciler ilk aşamada ortaya konulan bilgiyi değerlendirirler. Mühendisler ve planlamacılar ise 2. aşamayla ilgili olarak katkıda bulunurlar. Ancak, jeoloji mühendisleri ya da diğer bilim adamları, kaynak kullanıcılarına standart bilimsel yayınlardakinden farklı bir formatta bulgularını sunarak onları bilgilendirmelidir. Sunulan bilgi, ikna edici ve konunun uzmanı olmayan yetkililerin anlayabileceği bir düzeyde olmalıdır.

Örneğin uzmanlar, haritaları kullanarak hangi arazi parçasının taşkınlardan ya da heyelanlardan etkilenebileceğini ortaya koyabilirler. Bunu yapmak için kullanıcıların da, gereksinim duyduğu bilgilerin neler olduğunu bilmek zorundadırlar.

Sunulan bu metin jeoloji mühendislerinin tehlikeli olguları sistemli bir şekilde tanımlamaya ilişkin yaklaşımlarını ve ortaya koyduğu bulguları halka nasıl aktarmaları gerektiğini açıklamaktadır. Jeolojik bilginin niçin sunulduğu ve risklerin niçin değerlendirildiği uygun bir yöntemle sunulmaktadır. Jeoloji mühendislerinin bu sorunlarla nasıl ilgilendiği de ortaya koyulmaktadır. Ayrıca, risk analizleri ve tehlike değerlendirmelerinde kullanılan bazı örneklerin yanı sıra tehlikelerin değerlendirilmesi ve risk analizini içeren genel bilgiler de aşağıda sunulmuştur.

TEHLİKELERİN TANIMLANMASI

Tehlike, insan ve teknoloji arasındaki ya da insan ve doğa arasındaki etkileşimler sonucu ortaya çıkan zarar verme potansiyeli olarak kullanılır. Dolayısıyla tehlike insanın ya da herhangi bir varlığın güvenliğini tehdit eden bir durum olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşım, insan ve diğer olaylar arasındaki etkileşimlere bağlı olarak tehlikelerin doğasına öncelik veren sosyal bilimciler tarafından geliştirilmiştir.

Tehlikelerle ilgili görüşlerin çoğu depremler, yer kaymaları (heyelanlar), taşkınlar, kasırgalar, harikanlar ve volkanik patlamalar gibi doğa kaynaklı olaylara ilişkin değerlendirmelerden oluşmaktadır.

Diğer tehlikeler ise teknolojik tehlikeler olarak adlandırılan insan faaliyetlerinin sonucu olarak ortaya çıkan olaylardır. Bu tehlikelerin kapsamlı bir listesi çeşitli araştırmacılar tarafından sunulmuştur. Bu liste aynı zamanda nükleer santrallerle birlikte kömür, petrol, nükleer fisyon enerjisi kullanan çeşitli toksik kimyasalların uzaklaştırılması ya da kullanımıyla beraber ortaya çıkan tehlikeleri içermekte ve giderek artan bir kaygıyı ortaya koymaktadır. Çizelge 1'de tehlikeleri içeren olayların genel bir listesi sunulmuştur. ABD Geological Survey (USGS) ve benzeri kuruluşların uzmanları, ayrıca jeolojik süreçlerin ve insan faaliyetlerinin diğer tehlikeli süreçler üzerindeki etkilerini de incelemektedir.

Çizelge 1. Doğa kaynaklı ve teknolojik tehlikelerin türü ve bunlara ilişkin olaylar (Lundgen, 1986).

Tehlikenin türü	Olaylar
Doğa Kaynaklı:	
Tümüyle doğa kaynaklı ve insan tarafından denetlenemeyenler	Depremler Volkanik patlamalar Karstik bölgelerde çökme Akarsu taşkınları Kıyılarda meydana gelen taşkınlar Heyelanlar
Karışık:	
Niteliği doğa kaynaklı ancak insan faaliyetlerinden etkilenenler	Sıvı atıkların olduğu bölgelerdeki küçük depremler Gelişmekte olan bölgelerdeki heyelanlar Gelişmekte olan bölgelerdeki taşkınlar Göllerdeki kıyı taşkınları
Teknolojik:	
İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan	Yeraltı işletmelerinde çökmeler Toksik atıkların gömülü olduğu yerler Barajların çökmesi Nükleer enerji santrallerinin çökmesi

Amerika Birleşik Devletleri'nde, doğal ya da yapay olsun tüm tehlikelerle ilgili bilgi ve uyarıları yönetme konusunda kurumlar arasında bir iş bölümü vardır. Çizelge 2'de çeşitli tehlikeler ve bu tehlikelerden sorumlu olan kurumlar görülmektedir. Ülkemizde de benzeri bir yapılanma vardır. Ancak bu iş bölümünün daha somut olarak yapılmasında yarar vardır.

USGS, yukarıda özetlenen kavramlara dayalı olarak jeolojik tehlikenin tanımını ortaya koymuştur. Buna göre ***Jeolojik tehlikeler*** insana ve topluma, canına, malına, sağlığına, güvenliğine tehdit oluşturan jeolojik koşul, süreç ya da potansiyel bir olaydır.

Jeolojik tehlike, jeolojik olgu açısından insan yaşamına tehdit oluşturan bir terim olarak tanımlanır. Başka bir deyişle bir deprem, insan yaşamını etkilemiyorsa jeolojik bir tehlike değildir, basit bir olaydır. Ancak insanın yaşamına bir tehdit oluşturuyorsa, bu da deprem tehlikesi olarak adlandırılır. Bu tehlike tanımı, diğer doğa ve teknolojik tehlikelere de uyarlanabilir.

USGS, bir tehdit oluşturan jeolojik koşulları, süreçleri ve potansiyel olayları tanımlama sorumluluğuna da sahiptir. Bu yaklaşım özel bir alanda kolaylıkla ortaya konulabilir. Bir bölgedeki jeolojik araştırmaların yardımıyla, yöreye özgü herhangi bir gelişme ya da bir topluma önemli bir tehdit oluşturan koşullar, süreçler ve potansiyel olaylar tanımlanabilir. Bu çerçevede, bazı faktörler tanımlanmış ve daha sonra kamu yetkililerine hangi olayların daha önemli olduğu bildirmiştir. Ne var ki, bu konuda üretilen bilgi, toplumu doğal yer süreçlerinden koruma yeterliliğine sahip olmalıdır.

Çizelge 2. Amerika'da bazı tehlikeli olaylardan sorumlu olan kurumlar (Lundgen, 1986).

Tehlikeli Olaylar	Sorumlu Kurumlar
Rüzgârlar:	
Sert rüzgârlar	National Severe Storms Forecast Center; National Weather Service; National Meteorological Center.
Harikanlar	National Hurricane Center, Coral Gables, Florida.
Taşkınlar:	
Tsunami	Pasific Tsunami Warning System of the National Weather Service, Honololulu Observatory, Hawaii.
Rüzgâr sorgucu	National Weather Service.
Nehir taşkınları	National Weather Service; U.S. Forest Service; U.S. Army Corps of Engineers; Tennessee Valley Authority; Bureau of Reclamation; Soil Conservation Service.
Jeolojik tehlikeler	
Depremler Heyelanlar Volkanik aktivite Çökmeler	U.S. Geological Survey (USGS)

USGS'nin ilgilendiği tehlikeli olaylar, oluşan süreçler ve sonlanan olaylar Çizelge 3'de sunulmuştur. USGS California'da bölgesel planlamaya ilişkin jeolojik bilginin kullanımını geliştirme çabası içindedir. Bu çaba, 1970'den beri sürmektedir. Dünyanın diğer bölgelerinde henüz bu konuda herhangi bir çaba yokken önemli bilgiler üretilmiştir. Dolayısıyla USGS birçok konularda danışılan kurum olmuştur (Brown ve Kockelman, 1983).

Çizelge 3. Bazı tehlikeli olaylar, süreçler ve sonlanan olaylar (Lundgen, 1986).

Tehlikeli olaylar	Süreçler	Sonlanan olaylar
Fay	Kabuk deformasyonu	Faylanma ve deprem
Volkan	Magma yerleşimi	Volkanik patlama
Kısmen duraylı yamaç/eski heyelan	Derinde yeraltı su rejimindeki dereceli değişim	Heyelan
Karbonat, jips ya da tuz kayacı	Kayaların çözünmesi	Çökme
Su ile doygun iyi boylanmış kum katmanları	----	Sıvılaşma (San Fernando Valley, California, 1971)
Taşkın ovası	Rüzgâr oluşumu	Akarsu taşkını
Kıyı ovası	Rüzgâr oluşumu	Rüzgar sorgucu ve taşkınlar
Terk edilen madenler	Dereceli çözünme, kırılma ve yeraltı patlamaları	Çökme

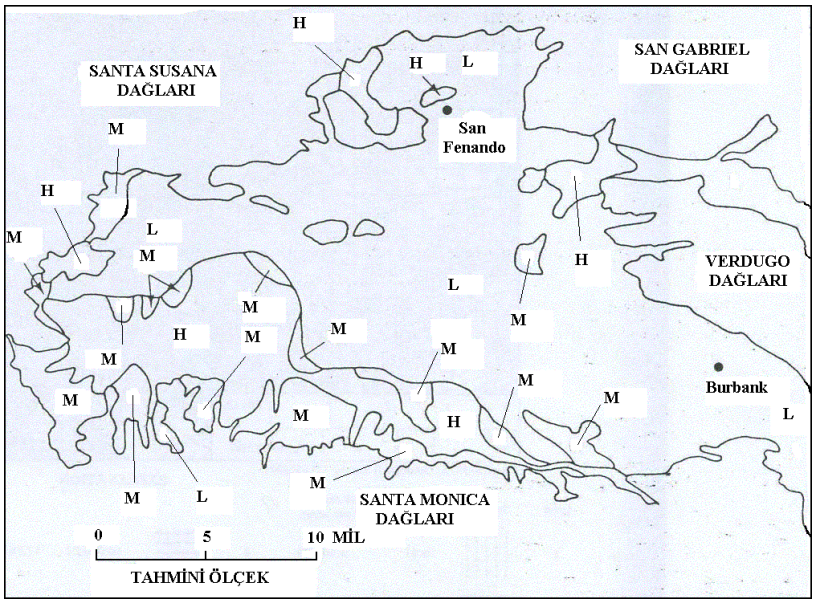
Tehlike yaratan olaylar

Tehlikeli olaylar gelecekteki zararlarına göre belirlenir. Oluşan zararlar, tehlikelerin insanın dikkatini çektikleri evrede tanımlanabilirler. Tehlikeli olgular titiz bir haritalamayla ortaya konulabilir. Güzel bir örnek, California'nın San Fernando Vadisi ve San Francisco Bay bölgesindeki depremlerle ilgili çalışmalarda irdelenmektedir. Bu çalışma, günümüzdeki koşulların sıvılaşma tehlikesini yarattığı bölgelerin haritalarını ortaya koymuştur (Şekil 1).

Yapılan çalışma sonucu, iyi boylanmış kil ve silt katmanlar ve su açısından doygun olan katmanların yeraltındaki süreklilikleri belirlenmektedir. Bu katmanlar duraylı ve katmanların üzerinde inşa edilen yapılar ise güvenlidir. Yapılan çalışmaya göre deprem sırasında bu katmanlar suyla temasa geçtiğinde duraysız hale geçebilirler. Bu değişim, sıvılaşma olarak tanımlanır ve depremler sırasında da büyük kayıplara yol açar.

Sıvılaşma tehlikesi, sondaj logları ve geçmişte olan depremler sırasında iyi boylanmış kumlar ve siltlerdeki kayıtların incelenmesiyle tanımlanabilir. Sondaj logları, çeşitli derinliklerdeki katı gereçlerde bulunan verileri sağlar ve bu gereçlerin su ile doygun olup olmadığı konusunda bilgi verir.

Sıvılaşmanın neden olduğu duraysızlık sorunları bir harita üzerinde gösterilebilir. Örneğin, Şekil 1'de sunulan harita, bir deprem olayında oluşan sıvılaşmanın yol açtığı duraysızlığın derecelerini göstermektedir. Böyle haritalar, halkın ve yetkililerin dikkatini çekmeyebilir. Ancak, yer seçiminde bu tür haritaların göz önüne alınması zorunludur. Dolayısıyla, bu tür haritaların sürekli olarak güncellenip yayımlanması gerekir.



Şekil 1. Kaliforniya'daki San Fernando Vadisi'ndeki alüvyal çökellerin duraylılığı: H=Yüksek derecede duraylılık, M=Orta derecede duraylılık, L=Düşük derecede duraylılık. (U.S. Geological Survey Yıllığı, 1982, s. 57).

Tehlikeli süreçler

USGS, tehlikeli süreçleri tehlikeli olaylardan ayırmaktadır. Bu ayrım, Mount St. Helens yanardağının altında devam eden tehlikeli süreçler göz önüne alarak yapılabilir. Tehlikeli süreçler tehlikeli olayların, örneğin volkanizmanın oluşumuyla ilgili hazırlık evresini temsil eder. Süreç ile olay arasındaki fark açıktır Süreç, tehlikeli olayın bir habercisi olarak yorumlanabilir.

Mount St. Helens yanardağında patlamalar dereceli olarak meydana gelen değişimlerin sonunda meydana gelmektedir. Oluşan değişimler, süreç olarak tanımlanır. Patlamalar ise sonlanan olayları temsil eder.

Bir dereceli değişimi tanımlamak için, gözlemler, kapsamlı bir zaman aralığında yapılmalıdır. Mount St. Helens yanardağında volkanın yavaş bir biçimde yukarı doğru hareketi (devinimi) yüzeydeki çeşitli noktalardan uzun süreli günlük aramalarla belirlenebilir. Yukarı doğru devinim, mağma yerleşiminin derindeki süreçleri tarafından yönlenir.

Tehlikeli olaylarla sonuçlanan süreçler çoğunlukla büyük sahaları etkiler ve uzun bir zaman aralığında etkili olurlar. Bu nedenle izleme olgusu uzun süreli, büyük ölçekli ve iyi belirlenmiş sistemler gerektirmektedir. Mount St. Helens yanardağı olayında magma yerleşiminin son belirtileri oldukça küçük bir sahada görülebilir. Fakat bu sürecin ilk evreleri ise daha geniş alanlarda görüldüğünden kolaylıkla gözlemlenebilirler. Büyük boyutlu izleme verilerinin azlığı durumunda ilk evrelerdeki veriler görülemeyebilir. Ayrıca, çökme, harikanların neden olduğu taşkınlar ve depremlerden önceki süreçler de iyi bir biçimde tanımlanmıştır.

Tehlikeli bir sürecin tipik olarak izlenmesine diğer bir örnek tropikal fırtınaların hareketi ve büyümesidir (Simpson, 1973). Burada önce harikanların büyümesinden yana olan koşullar tanımlanmıştır. Bu koşullar, bir ya da daha fazla tropikal karışıklıklar oluşturmuştur. Koşulların değişimi, enerjinin değişimi, toplanması ya da dağıtımına neden olur. Karada meydana gelen hareketlerin ve harikanın büyüme sürecinin düzenli izlenmesi önemlidir. Çünkü, izleme, tropikal fırtına ya da harikanın zaman ve boyutunun tahmin edilmesine yardımcı olur.

Sonlanan olaylar

Çoğu tehlikeler (deprem tehlikesi, çığ tehlikesi, taşkın tehlikesi ve yangın tehlikesi) adını bizzat olaydan alır. Bu olaylar radyodan günlük olayları dinleyen, televizyondan izleyen, gazete okuyan tüm insanların yakından bildiği olaylardır. Tehlikeli olaylar, uzun süre devam etmezler ancak büyük kayıplara yol açarlar. Tehlikeli olaylar ve tehlikeli olmayan olaylar meydana gelen çeşitli kayıplardan sistemli olarak izlenirler. Geotimes'in her sayısında, Amerikan Jeoloji Enstitüsü'nün ya da EOS'un bir yayını, Amerikan Jeofizik Birliği'nin bir yayını bu kayıtları içermektedir.

Önce bu olaylar başlar. Ancak olayları durdurmak için yapılacak işler ise azdır. USGS ve diğer kuruluşların görevi gelecekte oluşacak olayların tahmin edilmesi için yeterince bilginin elde edilmesidir. Çünkü bu her zaman mümkün değildir. Aşağıda, bir tehlikenin türü ve ilgili bir soru ortaya konulmaktadır. Bu olay, daha önceden kestirilebilir mi? Ya da bu olaylar niçin tahmin edilememektedir?

Bir olası yanıt şu olabilir: Evet, bir olay önceden tahmin edilebilir. Çünkü ilgili süreçleri yöneten yeterince sağlıklı bilimsel bilgi vardır. Ancak oluşum süreçleri yeterince izlenemediği için olayın kendisi de önceden kestirilememektedir.

İkinci bir olası yanıt şu olabilir: Evet bir tahmin ortaya konulmuştur. Ancak bu olayı oluşturan süreçler hakkında yeterince bilgi yoktur. Dolayısıyla olayı daha önceden emin bir şekilde tanımlayabilmek için yeterince bir deneyime sahip değiliz. Böyle bir durumda bu olayı tahmin etmeye çalışmak yarardan çok zarar da verebilir. Dolayısıyla öncelikle olayı daha ayrıntılı çalışmayı yeğlemeli ve daha doğru bir tahmin yapmak için çaba harcamalıyız.

Bu iki yanıt, gelecekteki olayları temsil eden bazı koşulları göstermektedir ve bu koşulları iyi bir şekilde tanımlamaktadır. Söz konusu koşullar da aşağıda sunulmuştur:

1. Olaylara dayalı ve tarihi değeri olan bilgiler eksiksiz bir biçimde var olmalıdır.
2. Veri toplama, veri analizi, izleme sistemleri olaydan çok daha önce geliştirilmelidir ve bu sistemler olaydan çok önce iyi bir biçimde devreye konulmalıdır.

3. Oluşum süreçleri iyi bir biçimde anlaşılmalıdır. Böylece analizi yapanlar hangi evrelerin olaya yol açtığını ve olayın nasıl sonlanabildiğini bilebilirler.
4. Sonuç olarak, analiz yapanlar başarılı bir öngörüyü ortaya koyan kuralları bilmelidir.

Bu dört koşul göreceli olarak çok az sayıdaki tehlikeler için sağlanabilir. Her tehlike için öngörü sağlayan veriler vardır. Aşağıda bir harikana ilişkin öngörü kısaca ortaya konulmuştur.

Harikan'a ilişkin öngörünün ölçeği, zamanı ve yeri için Amerika seçilmiştir. Çünkü yukarıda belirtilen dört koşul Amerika'da sağlanmıştır (Simpson, 1973). ***Birincisi,*** geçmişteki harikanlar hakkında zamanla ilgili kapsamlı bir bilgi vardır ve haritalardan da izlenebilir. Bu haritalar ABD'nin Gulf ve Atlantik kıyıları boyunca harikanların oluşumu ile ilgili olasılıkları göstermektedir. ***İkinci olarak***, büyük boyutlu izleme sistemi aracılığıyla veri toplama ve analiz işlemi yapılmaktadır. Bu sistem uydu görüntülerini de kapsamakta ve doğrudan uçaktan izlemeyi de kapsamaktadır. Denizdeki izleme ile Florida'da Coral Gables Ulusal Harikan Merkezi'nde elde edilen bilgi analiz edilmektedir. ***Üçüncü olarak,*** oluşum süreçleri göreceli olarak iyi anlaşılmıştır. ***Dördüncü olarak***, analizi yapanlar, öngörünün başarı oranını geliştirmenin niçin güç olduğunu anlamakla beraber bunu başarılı yapmak için bazı önlemler ortaya koyabilirler. Nihayet analizi yapanlar bir öngörünün gerçekleşmemesine ilişkin sonuçlardan bazılarını anlamaktadır (Simpson ve Riehl, 1981).

USGS'nin öngörüde bulunmakta, kestirmekte ve tanımlamakta olduğu olayların hiçbiri, harikanlar kadar başarılı bir şekilde henüz ele alınmamıştır. Bunun da bazı önemli nedenleri vardır:

1. Volkanik patlamalar gibi olaylar, göreceli olarak daha seyrek olmaktadır. Dolayısıyla analizi yapanlar için izleme olayını gerçekleştirmek üzere test etme şansı daha azdır.
2. İzleme olayı pek çok bölgede yerleştirilmiş sürekli kayıt yapan istasyonlara gereksinim duyar. Dolayısıyla, uzun süreli planlama ve parasal konulara gereksinim vardır. Bu çalışmalar, izlemenin ortaya konulduğu görünür verilerin olduğu bir yerde sürdürülmelidir. Her tehlike için böyle uygun yerler ve donanım sağlanamamaktadır.
3. Tehlikelere ilişkin kamu politikası büyük çabalarla desteklenmek üzere kurumsallaştırılmamıştır. Ülkemizde sadece deprem tehlikesine yönelik kurumsallaşma kısmen ortaya konulmuştur.

Tehlikelere ilişkin bilginin uygulanması

Tehlikeli olgular, süreçler ve sonlanan olayların tanımlanması, tehlikeleri azaltmaya yönelik ilk aşamadır. 2. aşamada her tehlikeli olayın halkı ve diğer varlıkları nasıl etkilediğini ortaya konulmaktadır. Bu aşama, genellikle ayrıntılı bir değerlendirmeyi gerektirmekte ve "risk değerlendirmesi" olarak tanımlanmaktadır. Risk değerlendirmesini, tehlikenin azaltılmasını temsil eden son bir aşama izler. Bu aşamaların her birinin ayrıntılı olarak ele alınması gerekmektedir.

RİSK DEĞERLENDİRMESİ

İnsanların tehlikeleri tanımlama ve yeni tehlikeleri sezme yeteneği vardır. Bu çerçevede bir tehlikeyi diğeriyle karşılaştırmak da mümkündür. Ayrıca bilimsel bilginin ve yasal çerçevenin, tehlikelerin niteliklerine göre yapılandırılması gerekmektedir.

Risk terimi bazen sadece bir olayın oluşumu ile ilgili olasılığı belirtmek için kullanılır. Ayrıca riskin tehlike ile aynı anlamda kullanıldığını da belirtmek gerekir. Jeoloji ve arazi kullanımı ile ilgili bazı çalışmalarda, risk ve tehlike terimleri birbirinin tamamlayıcısı olarak da kullanılmaktadır.

Günümüzde yapılan değerlendirmeler ve karşılaştırmalar ışığında, risk denilince, 2 farklı faktörün gözetilmesi zorunludur. Birinci faktör, tehlikeli olayın oluşumuna ilişkin olasılıktır. İkinci faktör ise bu olay nedeniyle ortaya çıkan maddi zarardır. Dolayısıyla risk, Row (1977) 'un Riskin Anatomisi adlı eserinde tanımlandığı gibi, bu iki faktörün ürünüdür. Sonuç olarak, ***risk***, bir olayın meydana gelme olasılığının ve bu olayın neden olduğu zarara ilişkin parasal değerin ürünü olarak ifade edilmektedir.

Risk yönetimi ise tehlike yaratan olguların tüm yönleriyle incelenmesi ve bu olguların kişilere ya da topluma verdiği zararlardan dolayı, mali portresini ve sorumlulukların paylaşımını belirleyen genel çerçevedir.

Örneğin, belli bir süre içinde büyük bir barajın yıkılma riskinin değerlendirildiğini varsayalım. Bunu yapmak için herhangi bir yılda barajın yıkılma olasılığını gözetmek gerekmektedir. Ayrıca barajın çökmesi durumunda ortaya çıkan kayıplar da tanımlanmaktadır. Mali kayıplar, yapılara olan hasarları yaralı ve ölen insanların enerji üretme kapasitesindeki kayıpları ve gereksinim duyulan tüm diğer kayıpları kapsamaktadır. USGS'ye ait analiz yapan iki eleman tarihi bir baraj yıkılmasından esinlenerek böyle bir bilgi altyapısını ortaya koymaya girişmişlerdir.

Bu iki araştırmacı, ABD'de büyük barajların çökme olasılığını öncelikle tahmin etmiştir. Bu bilgiler kullanılarak Idaho'daki Teton Barajı'nın çökme olasılığı belirlenmeye çalışılmıştır. Baraj gerçekte 5 Haziran 1976 yılında çökmüştür. Elde edilen veriler risk hesaplamalarında kullanılmış ve barajların yapımından önce barajların maliyet-kar analizlerinde değerlendirilmiştir. Ayrıca Teton Barajı'nın çökmesi ile ilgili parasal kayıpların hesaplanmasında da bu analizler değerlendirilmiştir. Teton Barajı'nın yıllık çökme olasılığı $1.5x10^{-4}$ olarak hesap edilmiştir. Çökmenin maliyeti yaşam kayıpları dışında 700 milyon $ olarak hesap edilmiştir. Ortaya konulan değerler, Risk Eşitliği'nde riskin beklenen değeri olarak adlandırılmıştır. Buna göre;

$$R = f.p_c.C_{(v)}$$

Burada, R: risk, p_c: olayın meydana gelme olasılığı ve $C_{(v)}$: olayın sonucunda meydana gelen toplam maddi zararı temsil etmektedir (Rowe, 1977). f ise böyle bir eşitlikte öngörülen sabit bir değerdir.

Barajın çökme tehlikesinden ortaya çıkan risk için yılda 105 bin $ değer biçilmiştir. Bu örnek, daha sonra tekrar incelenmiş ve sonuçlarından yararlanarak benzer bir hesaplama, barajların yer seçimindeki seçenekler gözetilerek diğer barajlar için de gerçekleştirilmiştir. Bu konuda hesaplanmış risk analizlerinin karşılaştırılması, barajların kâr-maliyet hesaplamalarında karar verme konusunda da kullanılabilir.

Risk analizinin nedeni

Risk analizleri, karşılaştırma yapmaya temel oluşturmak üzere geliştirilmektedir. Bir bölgede iki veya daha fazla tehlikenin tanımlanmasından sonra bu tehlikelerden hangisinin daha büyük zarara yol açtığını belirlemek gerekmektedir. Ayrıca arazi kullanımı ve olayların farklı biçimlerinin farklı tehlike türlerini nasıl yarattığının belirlenmesi arzu edilebilir. Bu da risklerin birbirleriyle karşılaştırılarak incelenmesini gerektirir.

Sigorta sanayi, sigorta için geçerli oranları ortaya koymak üzere otomobiller ve konutlara ilişkin riskleri değerlendirmektedir. Sigortacılar sel ve diğer tehlikelerle ilgili olarak benzer analizleri kullanırlar. Risk analizleri, enerji dönüşümündeki çeşitli sistemlerin göreceli yararlarını tartmada kullanılmaktadır. Arazi kullanımıyla çeşitli tehlikelerin değerlendirilmesinde, risk analizlerinin yapılması önerilmektedir.

Sayısal arazi yetenek analizleri

San Francisco körfez bölgesindeki çevre ve kaynak planlaması incelemelerinde, jeolojik tehlikeleri ve bunlarla ilgili sınırlamalar hakkında kapsamlı bir bilgi derlenmiştir. Bu bilgiler risk analizlerinde kullanılabilir. "Sayısal arazi yetenek analizleri" olarak adlandırılan bir çalışmada riskler tanımlanmış ve bu çalışma yayımlanmıştır. Buna göre, arazi kullanımında risk analizinin yapılması son derece önemlidir.

Laird ve diğ., (1979) tarafından San Francisco Körfezi'nin güney ucunda Santa Clara Vadisi'nde örnek bir bölge seçilmiştir. Bu bölgenin tehlikeli doğal olaylardan etkilendiği bilinmektedir. Bölgenin

tehlikeli koşullarını belirten haritalar hazırlanmıştır. Yerleşim yönüyle ve ticari açıdan çalışmaların geliştiği bu bölge için tehlikelere yönelik olarak insanların ilgisi artmıştır. Gelişmelere bağlı olarak insanların ortaya konulan bilgiyi kullanması hususunda çeşitli görüşler ortaya çıkmıştır. Bölge, risk analizi tekniklerinin kullanımında örnek bir bölge görünümündedir.

Analizi yapanlar amaçlarını aşağıda belirtildiği gibi tanımlamışlardır: "Bu rapor, yer bilimlerinin planlamacılar için daha yararlı bir bilgi olarak kullanımının yöntemini tanımlamakta ve planlama süreçlerini kolaylaştırmaktadır". Bu analiz, özel yöntemlerle Santa Clara Vadisi'ndeki her bir dönümün gelecekteki değerini hesaplama tekniklerine dayalı olarak hazırlanmıştır. Yorumu yapanlar, aşağıdaki belirtilen sistemli bir süreci izleyerek arzu edilen bilgiyi ortaya koymuşlardır:

1. Santa Clara Vadisi haritasından herhangi bir parselin seçimi.
2. Her dönüm özel bir kullanım için değerlendirilmişse bu konudaki sınırlamaların ve tehlikelerin her birinin belirlenmesi.
3. Tehlikeli olayları ve bunlarla ilgili sınırlamalar hususunda arazi kullanımında karşılaşılan kayıpların hesap edilmesi. Bu hesaplama için risk eşitliğinin kullanılması.
4. Gelişmeye yol açan faaliyetten önceki kaynakların değerinin ve gelişmeden kaynaklanan kayıpların belirlenmesi.
5. Gelişim planlama için gereksinim duyulan jeolojik çalışmaların bedelinin belirlenmesi.
6. Yapılan tüm harcamaların eklenmesi.
7. Bölgedeki her parsel için bu yöntemin yinelenmesi.

Yapılan çalışma sonucunda olası maliyetleri gösteren çizelgeler ortaya konulmuştur. Burada hafif sanayi ya da konutlar için kullanılan her bir dönüm tanımlanmaktadır. Bu çizelgelerden biri de herhangi bir ailenin konaklama amacıyla olası giderlerini göstermektedir (Çizelge 4). Her tehlike özelinde olası kayıpların listesi hazırlanmıştır.

Çizelge 4. Kaliforniya Santa Clara Vadisi'nde konutlara ilişkin olası kayıpların derecelendirilmesi (Laird ve diğerleri, 1979).

Tehlike, sınırlama veya kaynak kayıpları	Büyük kayıplar (dolar/yarım dönüm)		Orta derecede kayıplar (dolar/yarım dönüm)		Küçük kayıplar (dolar/yarım dönüm)
Fay boyunca yüzey kırılması	500	500	0	---	---
Yer sarsıntısı, San Andreas veya Hayward fayı	4,000	3,000	1,000	500	50
Yer sarsıntısı, Güneydoğu Hayward fayı	400	300	100	50	5
Yer sarsıntısı, Calaveras fayı	3,000	1,000	500	50	---
Akarsu taşkınları	9,000	0	---	---	---
Baraj çökmesi	0	---	---	---	---
Kanal çökmesi	20,000	0	---	---	---
Toprağın şişmesi	6,000	2,000	0	0	---
Yerleşim	30,000	30,000	20,000	2,000	---
Sıvılaşma	1,000	900	90	6	---
Çökme	0	---	---	---	---
Heyelan	40,000	20,000	8,000	2,000	0
Toprak kayması	10,000	4,000	0	0	---
Erozyon ve çökelme	200	30	10	0	---
Zehirli tanklar	0	---	---	---	---
Kum ve çakıl kasnaklarının kaybı	20,000	0	0	---	---
Civa kaynaklarının kaybı	0	---	---	---	---
Tarımsal arazinin kaybı	5,000	0	---	---	---

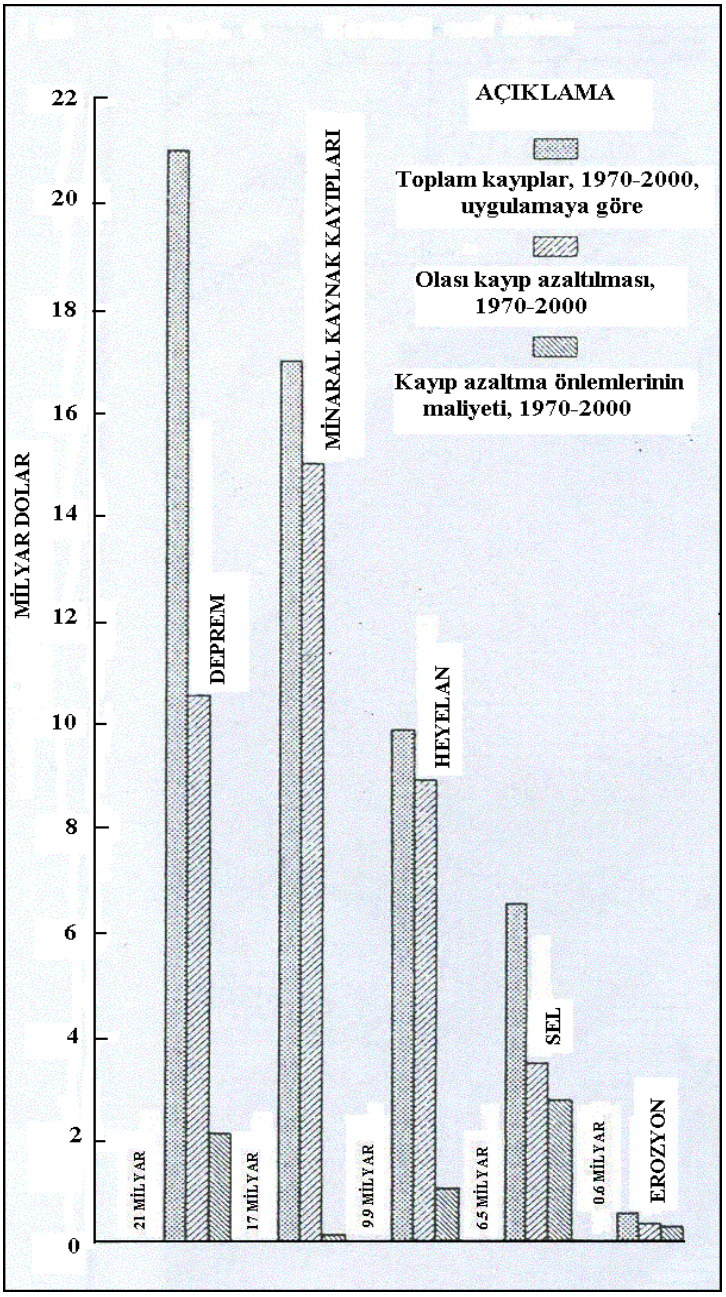
Bir tehlikeye ilişkin kaynak kayıpları olayın şiddetine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Örneğin heyelanların şiddeti geniş bir aralığı göstermektedir. Heyelan tehlikesinin şiddetli olduğu yerlerde dönüm başına kayıp 40,000 $'dır. Heyelan tehlikesinin orta şiddetli olduğu yerlerde her dönüm başına olasılı kayıp 8,000 $'dır. Başka bir çizelge de sanayinin gelişmesi ile ilgili olası kayıplar görülmektedir (Çizelge 5).

Bu çizelgeler, riskler tehlikelerle beraber değerlendirilirse kullanılabilir. Ayrıca bu veriler, her dönümü etkileyen tüm tehlikelerle beraber toplam riski belirlemek üzere kullanılabilir. Çizelgelerde görülen tüm bilgiler, CBS temelinde bilgisayarlarda depolanmıştır. Her dönüm için gerekli olan bilgiye kolaylıkla ulaşılabilmektedir. Bu da arazi yetenek haritalarına söz konusu bilginin aktarımı olanağını yaratmaktadır. Bu amaçla hazırlanan haritalar da olup bu haritalar olası maliyetlerin sahadaki dağılımını göstermektedir.

Çizelge 5. Kaliforniya Santa Clara'da Vadisi'ndeki sanayi kullanımı açısından olası kayıpların derecelendirilmesi (Laird ve diğerleri, 1979).

Tehlike, sınırlama veya kaynak kayıplar	Büyük kayıplar (dolar/yarım dönüm)		Orta derecede kayıplar (dolar/yarım dönüm)		Hafif kayıplar (dolar/yarım dönüm)
Fay boyunca yüzey kırılması	80	80	0	---	---
Yery sarsıntısı, San Andreas veya Hayward fayı	40,000	30,000	10,000	3,000	700
Yery sarsıntısı, Güneydoğu Hayward fayı	4,000	0	---	---	---
Yer sarsıntısı, Calaveras fayı	30,000	10,000	3,000	300	70
Akarsu taşkınları	40,000	0	---	---	---
Baraj çökmesi	70,000	0	---	---	---
Kanal çökmesi	70,000	0	---	---	---
Toprağın şişmesi	10,000	4,000	0	0	---
Yerleşim	10,000	10,000	6,000	700	---
Sıvılaşma	3,000	2,000	200	20	0
Çökme	0	---	---	---	---
Heyelan	100,000	70,000	30,000	10,000	0
Toprak kayması	20,000	8,000	0	0	---
Erozyon ve çökelme	200	30	10	0	---
Zehirli tanklar	0	---	---	---	---
Kum ve çakıl kasnaklarının kaybı	20,000	0	0	---	---
Civa kaynaklarının kaybı	0	---	---	---	---
Tarımsal arazinin kaybı	5,000	0	---	---	---

California Kent Jeolojisi Master Planı özelinde yapılan analizlerde 1970-2000 yılları arasında, bazı tehlikeli doğal yer süreçlerinden beklenen kayıplar da grafik biçiminde gösterilerek önemli bir sonuca ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda tehlike azaltma önlemlerinin kayıplara yansımasının etkilerinin görülmesi önemlidir (Şekil 2). Hazırlanan grafik hafifletme önlemlerinin uzun süreli riskleri önemli oranda azaltılabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla risk yaratan olayların türünü de göz önüne almak gerekmektedir.



Şekil 2. Kaliforniya'da tehlikelerin dolar düzeyinde olası değerleri. Grafik, herhangi bir önlem benimsenmeden ortaya çıkan olası kayıpları ve kayıp azaltma sonucu ortaya çıkan değerleri göstermektedir (Lundgen,1986) .

Sonuç olarak, arazi kullanıma ilişkin risk analizlerinin yapılabilmesi için son derece ayrıntılı bilgilere gereksinim duyulduğu açıktır. Bunun için öncelikle riskin olma olasılığını ve şiddetini, daha sonra riskin neden olabileceği zararı içeren verilerin üretilmesi ve bu bilgilerin CBS temelinde ve uygun standartlarda haritalara işlenmesi gerekmektedir.

TEHLİKELERE YÖNELİK DÜZENLEMELER

Çeşitli tehlikelerle birlikte, riskleri azaltmaya yönelik bilimsel verilerin kullanılması gerekmektedir. Etkilendiğimiz tehlikeli olayların engellenmesi her zaman mümkün değildir. Elbette büyük bir meteor taşının etkisi büyük bir olaydır. Böyle olayların geçmişte oluştuğu ve tekrar oluşabileceği bilinmektedir. Bu olaylar, tasarlanmamış risk olarak adlandırılmaktadır. Çünkü meteor taşı etkisi çok ender olup böyle bir tehlikeye pek dikkat edilmemektedir. Dolayısıyla böyle bir riski azaltmak için fazla bir çaba da harcanmamaktadır.

Varılan sonuçlar karşılaşılan diğer tehlikelere yönelik olarak bilinçli bir şekilde uyarlanabilir. Bu düzenlemeler ya da faaliyetler, bireysel ya da toplu seçeneklerin gerçekleştirildiği bilimsel bir alanda bulunmaktadır. Düzenlemeler, bilimsel bulgular ve risk analizleri tarafından önemli ölçüde etkilenebilir. Tehlikelere yönelik düzenlemeler sosyal bilimciler, politikacılar ve mahkemelerin ilgi alanında gelişmektedir.

Düzenlemeler, White ve Haas (1975) tarafından 3 aşamaya ayrılarak tanımlanmıştır:

1. İnsanın müdahalesi ile tehlikeli olayların nedenlerinin denetlenmesi.
2. Tehlikeli olaylara yönelik hasarların azaltılması.
3. Herhangi tehlikeli bir olay tarafından meydana gelen kayıpların dağıtılması.

Bunların ilk aşaması nedenin denetlenmesi; yapay bulutlanma, harikanların hızının azaltılması, ırmak üzerindeki bir barajın inşaatı, rüzgâr sırasında akarsu akıntılarının azaltılması gibi tüm önlemlerle temsil edilir.

Düzenlemenin ikinci aşaması hasarların azaltılması olup, binaların yüksek yerlerde yapılması dolayısıyla olası taşkın düzeylerinden korunmak gibi önlemlerle temsil edilir. Ayrıca uyarı sistemlerinin kullanılması da bu bölümde düşünülebilir. Düzenlemenin üçüncü aşaması sel sigortası hükümet tarafından sağlanan fonlarla temsil edilir. Sigorta ya da fonlar, ortaya çıkan kayıpların halk arasındaki paylaşımını kolaylaştırır.

Bu aşamaların her biri için çaba göstermek gerekir. Eğer düzenlemeler tümüyle bireysel ise bu düzenlemelerin hangilerinin uygulanabileceğine karar vermek kolaydır. Çizelge 1'de sunulan tehlikeler gözetildiğinde bireysel olarak yapılabilir düzenlemelerin en azından birkaçı tanımlanabilir. Ancak, düzenlemelerin çoğu birçok kişiyi ilgilendirir. Bu tür düzenlemelere karar verilirse, etkilenen halkın toplu olarak bilgilendirilmesi gerekecektir.

Herhangi bir seçenek, yeteri kadar bilgi alındıktan sonra uygulamaya konulabilir. Risk analizi yapılıp olası seçenekler değerlendirilebilir. Bu çalışmaların da çeşitli düzenlemelerde olduğu gibi bir maliyeti olacaktır. Bunun için, düzenlemeye çaba gösterenler, gereksinim duyulan yeni bilgileri pek çok araştırma raporlarında bulabilirler.

Potansiyel olarak tehlike yaratan olaylar, insan müdahalesi ile önlenebilir. Bunun için bilimsel bulgulara gereksinim vardır. Trans-Alaska boru hattının termal etkilerinin analizi sonucu, donmuş toprakların erimesini önlemek üzere gerekli önlemler ortaya konulmuştur. Rüzgâr erozyonunun analizi, bu tehlikenin insanlar tarafından nasıl denetlenebileceğini göstermektedir. Colorado Irmağı'ndaki taşkın analizleri ise barajların gelecekteki taşkınları önlemede gerekli olan altyapıyı ortaya koymaktadır.

Düzenlemelerin üçüncü aşaması da, yani tehlikeli bir olaya ilişkin kayıplarının dağılımı bilimsel bilgiye dayalı olmalıdır. Kayıpları herhangi bir politikayla dağıtmak sigorta işlemi gibi olmalıdır. Sigorta oranlarının tehlikeli bölgelerdeki konumu tehlikenin şiddetine bağlı jeolojik bilginin sağlanmasını gerektirmektedir.

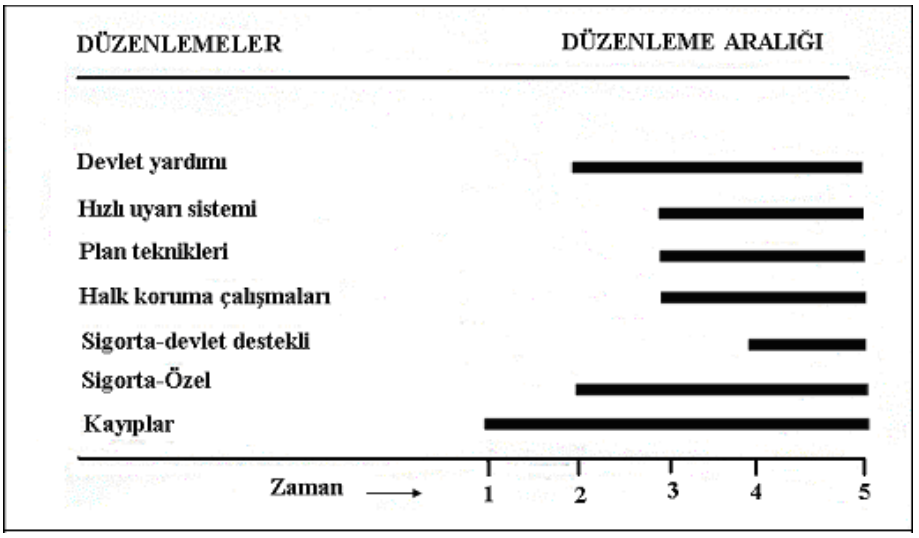
Bir tehlikeye yönelik düzenlemeler gözetildiğinde (bir harikan tehlikesi) harikanlar hakkındaki bilinenlerin daha fazlası değerlendirilerek yeni düzenlemeler yapılabilir (White ve Haas, 1975). Buna

göre, sadece düzenlemelerin ne olduğu önemli değil, düzenlemelerin zaman içinde değişimleri de önemlidir. Düzenlemelerin sayısındaki artış iş, harcamalar ve bilgideki artışı yansıtır. Böyle bir yapı diğer tehlikelerde olduğu gibi geliştirilebilir.

Şekil 3, bir kıyı bölgesinin sakinleri için hazırlanmış düzenlemeleri göstermektedir. Başlangıçta, bireyler sadece kayıpların bedelinin karşılanmasını arzu ederler. Harikanlara ilişkin uyarıların olmaması, harikanlardan ne gibi tehlikelerin beklenebileceği hususunda kapsamlı bir bilginin sağlanmasını güçleştirmektedir.

Özel sigorta sanayinin gelişmesi ile birlikte harikan sigortasının bazı fonları oluşturulabilir. Fakat bireylerin bu sigortayı kullanıp kullanmadıkları konusundaki bilgileri sınırlıdır. Bazı bireyler özellikle kendilerini özel olarak sigortalayabilirler. Ancak, halkın çoğu böyle bir kıyıda kendini risk altında görür. Sonuç olarak harikan kayıpları oldukça yüksek olmakta ve gerekli yardımlar devlet tarafından karşılanmaktadır. Ancak, söz konusu kayıplar bireylerden daha geniş bir halk kesimine vergiler yoluyla dağıtılabilir.

Bu yaklaşım, yetkililerin daha uygun bina tekniklerini gerçekleştirmesine ve harikan uyarı sistemleri gibi koruma sistemlerini sağlamasına yol açmaktadır. Yetkililere güven, devlet destekli sigorta sisteminin ortaya konulmasında kolaylık sağlar.



Şekil 3. Harikan tehlikesine yönelik hazırlanmış olan düzenlemeler ve düzenleme aralığı (Zaman- yıl olarak) (White ve Haas, 1975).

Bu düzenlemeler, halkın harcamalarının risk analizi ve bilimsel bilgiye göre yapılmasını gerektirir. Örneğin etkili harikan uyarı sisteminin gelişmesi bilgisayar sistemleri, uydu sistemleri ve bunlarla ilgili bilimsel çalışmaların gelişmesine bağlıdır. Konuya ilişkin gelişmeler birçok canın kurtulmasına ve halkın yapılan uyarıları gözetmesine katkı sağlayacaktır. Halk bu konudaki seçimini iyi yapmışsa, yani uyarı sistemlerinin kullanılmasına olanak sağlamışsa daha az can kaybı olacaktır.

Arazi kullanım seçeneklerinin sunulduğu düzenlemeler ışığında tüm tehlikeler büyük ölçüde denetlenebilir.

KAYNAKLAR

Alfors, J. T., Burnett, J. L., and Gay, T. E., Jr., 1973, Urban Geology Master Plan for California. California Division of Mines and Geology Bull. 198. 112 pp.

Baker, E. J., and McPhee, J. G., 1975, Land Use Management and Regulation in HazardousAreas. Univ. Colorado Inst. Behavioral Sciences, Boulder, Colorado. 122 pp.

Bates, T. F., 1979, Transferring Earth Science Information to the Decision Makers, U.S. Geol.Survey Circ. 813. 30 pp.

Brown, R. D., Jr., and Kockelman, W. J., 1983, Geologic Principles for Prudent Land Use. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 946. 97 pp.

Burton, Ian, Kates, R. W., and White, G. F., 1978, The Environment as Hazard. Oxford University Pres, London. 240 pp.

Hohenemser, C., Kates, R. W., and Slovic, P., 1983, The nature of technological hazard:Science, v. 220, pp. 378-84.

Inhaber, Herbert, 1979, Risk with energy from conventional and nonconventional sources: Science, v. 203, pp. 718-23.

Laird, R. T., et al., 1979, Quantitative Land-Capability Analysis. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 945. 115 pp.

Lundgen, L., 1986, Environmental Geology, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 07632, USA, 576 p.

Mark, R. H., and Stuart-Alexander, D. E., 1977, Disaster as a necessary part of benefit-cost analysis: Science, v. 197, pp. 1160-62.

Robinson, G. D., and Spieker, A. M., eds., 1978, Nature to Be Commanded: Earth-Science Maps Applied to Land and Water Management. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 950. 96 pp.

Rowe, W. D., 1977, An anatomy of Risk. John Wiley&Sons, Inc., New York. 488 pp.

Simpson, R. H., 1973, Hurricane prediction: Progress and problem areas: Science, v. 181, pp. 899-907.

Simpson, R. H., and Riehl, Herbert, 1981, Hurricanes and Their impact. Louisiana State University Press, Baton Rouge. 398 pp.

U.S. Geological Survey, 1977, Proposed procedures for dealing with warning and preparedness for geologic-related hazard: United States Federal Register, v. 42, no. 70, pp. 19292-96.

White, G. F., ed., 1974, Natural Hazards-Local, National, Global, Oxford University Press, London, 288 pp.

White, G. F., and Haas, J. E., 1975, Assessment of Research on Natural Hazards. M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 487 pp.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Bölüm 12. TEHLİKE YARATAN YER SÜREÇLERİ

Yer'in günümüzdeki görünümünü kazanmasında etkin olan tektonik süreçlerin bazıları, anlık bir zaman aralığında oluşmaktadır. Örneğin depremler, sel ve taşkınlar, heyelanlar ve çığ düşmeleri kısa sürede oluşan ve tehlike yaratan yer süreçlerinden bazılarıdır. Ayrıca yer kabuğundaki bazı kırıklar boyunca volkanik faaliyetler oluşur. Sel ve taşkınlar ile deniz kıyılarında oluşan diğer tehlikeler ise ağırlıklı olarak atmosferik yer süreçlerinin ürünü doğa kaynaklı afetlerdir. Bu bölümde tehlike yaratan yer süreçleri, yani doğa kaynaklı afetler tanıtılacak ve alınması gereken önlemler irdelenecektir.

Ancak her toplumun doğa kaynaklı afetler konusundaki duyarlılığı farklıdır. Ülkemizde ne yazık ki afetlere ilişkin duyarlılık çok düşük düzeydedir. Bunun nedeni toplumumuzun afetlerle ilgili ortalama bilgi düzeyinin düşük olmasıdır. Örneğin, 'Allahın hikmetinden sual sorulmaz. Allah isterse sağlam evi yıkar, çürüğü ayakta bırakır' türü bir bilgi dağarcığına sahip kimseler, bir kurtarma ekibinin katkısını ve özverisini ne ölçüde algılayabilir? Hatta doğa kaynaklı riskleri bile gözetmeden, riskli alanlara imar izni veren ve doğayı kirleten, arkasından imar affını da çıkaran yetkililer, utanmadan en çevreci olduklarını söyleyebilmekteler. TMMOB her şeye karşın büyük bir özveri ile kapsamlı bir 'Afet Sempozyumu'nu 2022 yılında düzenledi:

Gelişen bilim ve teknoloji sayesinde doğanın yıkıcı etkilerinden korunabilme, doğa kaynaklı afetlerle mücadele edebilme konusunda geçmiş medeniyetlere göre çok daha şanslı bir konumdayız. Ancak ülkemiz açısından baktığımızda sahip olunan imkânlara rağmen, yaşanan kayıplar yeterince azaltılabilmiş değil. Tüm insanlığı felakete sürükleyen afetlerin üstesinden gelebilmek için, her alanda toplumcu bir bakış açısına ve kamucu politikalara ihtiyacımız var. Mevcut haliyle devlet organlarının bu politikaları geliştirmesi mümkün görünmüyor. Bunu hep birlikte tartışarak, deneyimlerimizi ve birikimlerimizi bir araya getirerek yapacağız (TMMOB, 2022). Doğa kaynaklı afetleri bir bütün olarak çeşitli yönleri ile irdeleyen bu çalışma uyarıcı ve yol göstericidir.

Doğa kaynaklı afetlerle ilgili çalışmalar, doğanın karmaşık bir yapıda olduğunu ve bu karmaşık yapıya dair gizlerin de insan aklı ile çözülebileceğini göstermektedir. Söz konusu gizlerin çözülmesiyle doğa kaynaklı afetlerin denetimi de mümkündür. Doğa kaynaklı büyük afetler büyük toplumsal travmalara neden olurlar. Bu travmalar da ancak toplumsal dayanışma ile aşılabilir. Çevre jeolojisinin en önemli amaçlarından biri de doğa kaynaklı afetler konusunda koruyucu ve iyileştirici bilgi alt yapısını oluşturmaktır.

12. 1- DEPREMLER

GENEL BİLGİLER

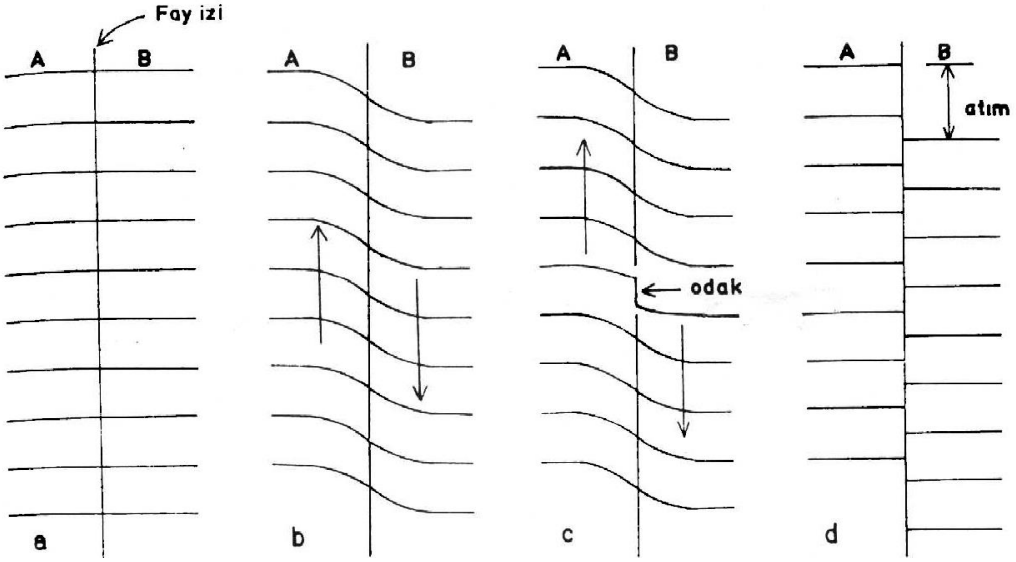
Çok büyük can ve mal kaybına neden olan depremlere karşı yeterli ve doyurucu önlemler alabilmek için, her şeyden önce deprem olgusunun tanımlanması gerekmektedir. Bu yaklaşım benimsenirse, deprem olgusunun ve bu olguya ilişkin çözümlerin sunulması bir ödev olarak kabul edilir. Sunulan çerçevede önce depremin tanımı ve önemli kavramları, daha sonra sıra ile depremlerin oluşum mekanizması, deprem dalgalarının türleri, depremlerin neden önceden kestirilemediği, deprem hasarlarını etkileyen öğeleri ve çevresel etkileri, depremlerden korunmanın yöntemleri ve ülkenin deprem politikalarının nasıl olması gerektiğine ilişkin görüşler, Yılmaz (2008; 2009)'dan güncellenerek sunulmuştur.

DEPREMLERİN TANIMI VE BAZI ÖNEMLİ KAVRAMLAR

Genel olarak yeryüzünde insan tarafından duyulabilen yer sarsıntılarına deprem ya da zelzele denilir. Üzerinde yaşamın hüküm sürdüğü yerkabuğu da biçim ve yapı yönüyle sürekli değişim geçiren bir varlıktır. Yerkabuğu irili ufaklı birçok levhadan oluşmaktadır. Levhalar sürekli devinim halindedir. Bu devinimler genel olarak yılda birkaç santimetre dolayında olup insan tarafından algılanamamaktadır. Ancak bazı devinimler saniyelerle ölçülebilecek kısa sürelerde çeşitli dalgalar yaratarak oluşur. Bu devinimler ***deprem*** olarak adlandırılmaktadır. Yer kabuğunda dalgalar halinde yayılan ani devinimler, ani enerji boşalmasının sonucu olup bu devinimlere bağlı olarak faylar meydana gelmektedir.

Dolayısıyla depremler, "yerkabuğunda biriken enerjinin faylar boyunca boşalması sonucu meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu dalga hareketleridir."

Fayların devinimi sırasında, fayın iki yanında bulunan bloklar kaymaya başlar. Kayma, fay çizgisinin iki ucunda biriken enerjinin, kütlenin dayanım direncini aşınca meydana gelmektedir. Depremler ve depremlerin ürünü fayların oluşumu H. F. Reid (1911) tarafından elastik kırılma (elastic rebound) kuramı ile açıklanmıştır (Şekil 1). Bu kurama göre faylanmadan önce, fay doğrultusunun her iki ucunda enerji birikmektedir. Günümüzde bu enerjinin, levhaların hareketini sağlayan termal konveksiyon akımları tarafından oluşturulduğu kabul edilmektedir. Biriken enerji, fay düzlemindeki elastik kırılma direncini aşınca kırılma ya da kırık boyunca yanal kayma oluşmaktadır. Kırılma ya da kayma sırasında boşalan enerji, sismik dalgalar (deprem dalgaları) şeklinde yayılarak depremleri oluşturmaktadır. Çevredeki yapıların yıkımına dolayısıyla can ve mal kaybına neden olan temel etken, meydana gelen ötelenmenin yanı sıra, deprem dalgalarının yarattığı titreşim hareketleridir.

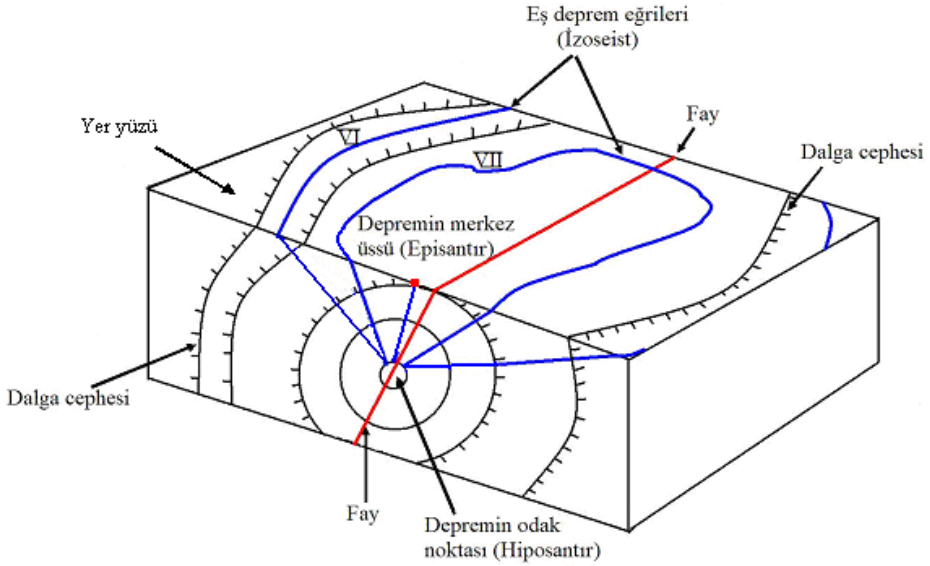


Şekil 1. Elastik kırılma kuramına göre, bir fayın yeniden devinmesi ve deprem oluşumu (Pres-Siever, 1974; Ketin, 1977'den). **a**' da: A ve B blokları fay izi boyunca bir kaymayı gerçekleştirecek kuvvetlerin etkisi altında bulunmaktadır. **b** ve **c**'de: deformasyon enerjisi birikmekte; **d**'de: depremi oluşturan kayma gerçekleşmektedir.

Kaymanın ilk başladığı yer ya da nokta ***depremin odak noktası*** (hiposantr), bu noktadan yeryüzüne çıkan dik çizginin yeri kestiği noktaya da ***depremin merkez üssü*** (episantr) olarak tanımlanmaktadır. Depremlerde en büyük hasarlar merkez üssü ve yakın yörelerinde gerçekleşir. Depremin aynı derecede etkilediği, az çok eşit ölçüde hasar gören yerleri birleştiren eğrilere ***eş deprem eğrileri*** (isoseist) denilmektedir (Şekil 2).

Deprem dalgaları yeryüzünün çeşitli yerlerinde bulunan deprem kayıt istasyonlarında (Türkiye'de Kandilli Rasathanesi) ***sismograf*** adı verilen aletler yardımıyla algılanır ve büyüklükleri tüm dünyanın benimsediği ***Richter ölçeği*** ile belirlenir. Richter ölçeğine göre ***depremin büyüklüğü*** (magnitüd), depremin merkez üssünden (Episantr) 100 km uzakta bulunan bir sismogramın kaydettiği hareketin yatay bileşenine ait en büyük dalga boyunun (amplitüdün) logaritmasıdır. Bu da depremin kaynağında açığa çıkan enerjinin ifadesidir.

Buna göre hazırlanan magnitüd cetvelinde en küçük depremin büyüklüğü 1.5, en büyüğünün ise 10'dur. 5 büyüklüğündeki depremlerde fay düzleminin yaklaşık iki-üç kilometrelik bölümü kırılır. İnsanlar böyle bir depremi kolaylıkla fark edebilir. Çağdaş yapılar bu büyüklükteki bir deprem sarsıntısına dayanıklıdır. 8 büyüklüğündeki depremler fay düzleminde yüzlerce kilometrelik bir kırılmaya neden olmaktadır. Bu depremler sırasında yırtılma yüzeye ulaşarak tüm yapıları etkilemektedir.



Şekil 2. Deprem dalgalarının ve deprem etkisinin Yer içinde ve yeryüzündeki yayılımı (VI, VII,: eşdeprem eğrileri = izoseistler) .

Depremin şiddeti ise, depremin yapılar ve insanlar üzerindeki etkisini yansıtır. Yani depremin şiddeti toplam hasara göre belirlenir.

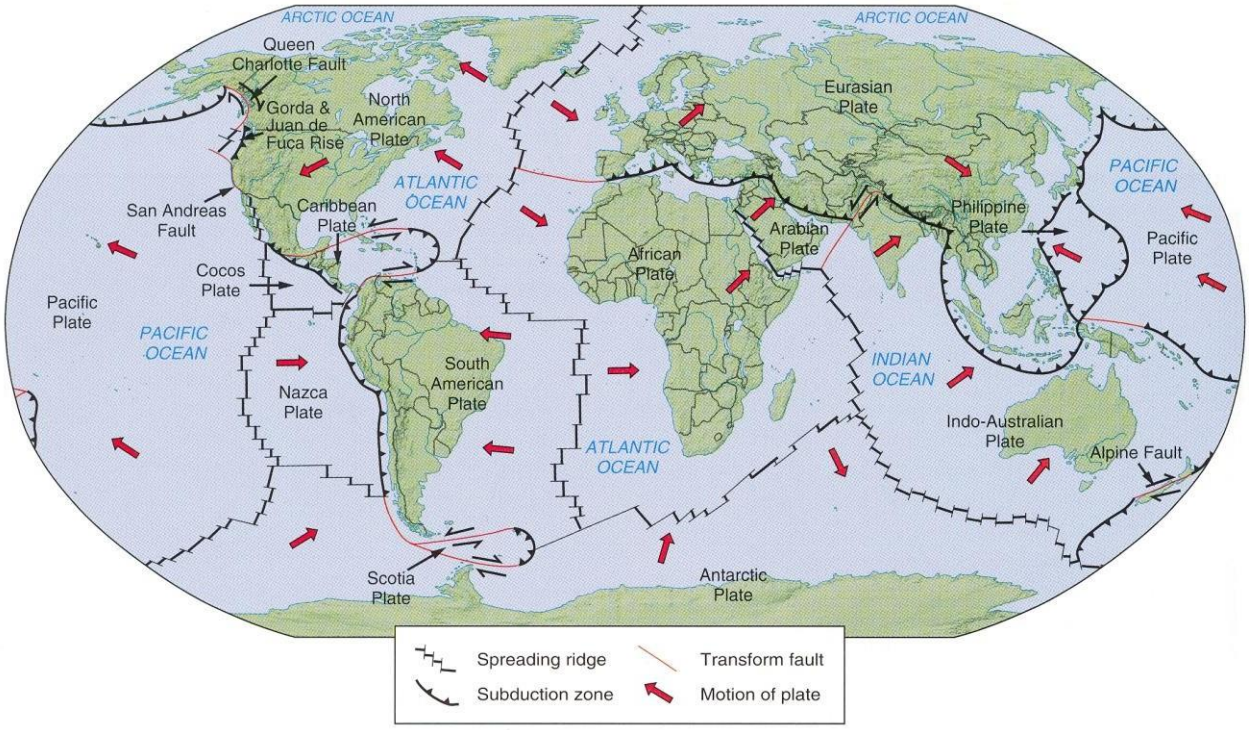
Bazı büyük depremlerden önce bir dizi küçük sarsıntılar kaydedilebilir. Bunlara ***öncü*** ya da ***haberci depremler*** adı verilir. Hemen tüm büyük depremler en şiddetli evrelerinden sonra, daha bir süre, aynı fay boyunca etkilerini sürdürürler. Bunlara da ***artçı depremler*** adı verilmektedir. Artçı sarsıntıların sayısı genellikle çok olup, büyüklükleri ise değişiktir. Ama bunlar hiçbir zaman asıl büyük depremin büyüklüğüne erişemezler. Artçı depremler aylarca devam edebilirler.

DEPREMLERİN OLUŞUM MEKANİZMASI

Yerkabuğu, birbirinden farklı yönlerde hareket eden levhaların oluşturduğu bir mozaik halindedir (Şekil 3). Levha kenarları, hareketin yönüne göre üç farklı tipte olabilirler. Gerilme nedeniyle levhaların birbirinden uzaklaştığı yerlerde yeni bir kabukta oluşur. Onun için bu tür kenarlara üreten ya da ***uzaklaşan*** (divergent) ***kenarlar*** denilmektedir. Gerilme rejimi uzun jeolojik zamanlar boyunca devam ederse bu kenarlar boyunca okyanuslar bile oluşur. Günümüzde Atlantik Okyanusu gerilme rejimi sonucu oluşan bir okyanusu ve bu okyanusun ortasında yer alan sırt ise uzaklaşan bir levha kenarını temsil etmektedir.

Sıkışma nedeniyle levhaların birbirine doğru yaklaştığı yerlerde, levhalardan yoğunluğu fazla olanı hafif olanının altına dalar ve dalan levha, yerin manto bölümünde ergiyerek tüketilir. Onun için bu tür kenara tüketen ya da ***yakınsayan*** (convergent) ***kenarlar*** denilmektedir. Yakınsamanın olduğu alanlar, en derin denizel çukurların (hendeklerin) izlendiği alanlardır. Günümüzde Japon-Kuril Çukurluğu ve Nankai Çukurluğu, Pasifik Levhasının Filipin Levhasının altına daldığı yakınsayan levha

kenarlarına örnek olarak verilebilir. Sıkışma rejimi uzun jeolojik zamanlar boyunca devam ederse bu kenarlarda levhalar çarpışır ve dağ dizileri meydana gelir. Bunun için, ülkemizin de içinde yer aldığı ve geniş anlamda güneydeki Gondowana Levhası ve kuzeydeki Avrasya Levhası'nın yakınsaması ve çarpışması ile meydana gelen Alp-Himalaya dağ dizileri tipik bir örnek olarak sunulabilir.



Şekil 3. Litosferi oluşturan levhalar ve levha sınırları. Dalma-batma zonları (Subduction zone), okyanus ortası yayılma sırtları (Spreading ridge) ve transform faylar (Transform fault) boyunca levhalar birbirinden ayrılırlar. Oklar ise levhaların devinim yönlerini göstermektedir (Davidson ve diğerleri, 1997).

Yerkabuğunun yer değiştirmesine neden olan gerilme ve sıkışma rejimlerini, dolayısıyla uzaklaşan ve yakınsayan levha kenarlarını birbirine bağlayan ve bir yönüyle iki farklı hareketi birbirine dönüştüren levha sınırlarına ***dönüşüm*** (transform) ***kenarları*** denir. Bu kenarlar boyunca birbirine komşu levhalar, birbirlerine göre yanal yönde hareket ederek yer değiştirmektedir. Dönüşüm levha kenarları, benzer ya da farklı niteliklerdeki diğer levha kenarlarını birleştirebilirler. Ancak kıta kabuğunun değişik bölümlerinde ya da levha içlerinde yanal hareketi yansıtan faylar da oluşmaktadır. Bu tür faylar, gelecekte yeni bir levha kenarının gelişebileceğinin habercisidirler.

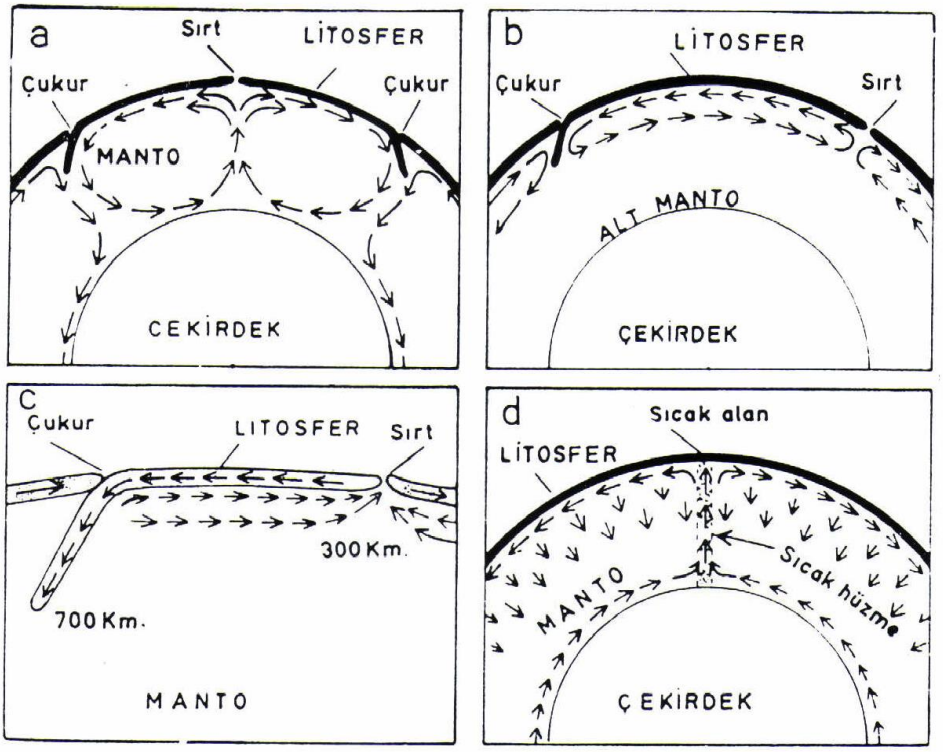
Levha hareketleri ve bu hareketlere bağlı olarak gelişen jeolojik olaylar levha tektoniği kuramı çerçevesinde bir bütünsellik içinde açıklanabilmektedir. Levha tektoniği kuramı aslında, 20.yüzyılın başından beri yerin yapısını, dağların oluşumu, volkanizma ve depremler gibi olayları açıklamaya çalışan pek çok kuramdan sadece biriydi. ***Alfred Wegener***'in ilk kez tanımladığı kıtaların kayması kuramı, Yeryuvarı'nın özellikle iç bölümlerinin nitelikleri anlaşıldıkça gelişti. Örneğin yerin manto bölümünde konveksiyon akımlarının varlığı ortaya koyulunca, bu akımların levha hareketleriyle ilişkisi de araştırılmaya başlandı. Buna göre yerin dış kısmı, yani kabuk, litosfer ile birlikte, daha altta yer alan yerin katmanları üzerinde devinmektedir.

Söz konusu devinimin başlıca nedeni, yerin bir ısıtıcı gibi çalışan çekirdeğinde ve mantonun büyük bir bölümünde egemen olan sıcaklık, basınç, yoğunluk ve bileşim farklılıklarından

kaynaklanmaktadır. Bu farklılıkların dengelenmesine yönelik süreç, konveksiyon akımlarının (Şekil 4) başlıca kaynağını oluşturmaktadır. Gelişen konveksiyon akımları genellikle okyanus ortası sırtlar boyunca levhaların birbirinden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Deniz tabanı yayılması adını alan bu olay sırasında mantodan yükselen gereç iki levha sınırının her iki yanına eklenerek, konveksiyon akımlarıyla birbirinden uzaklaşan levhaların arasını doldurmakta ve bir anlamda yeni yerkabuğu oluşmaktadır.

Sonuç olarak yerkabuğunu oluşturan levhaların devinimi doğrudan mantoda gelişen ***termal konveksiyon akımları*** nedeniyle olmaktadır. Konveksiyon akımları depremleri oluşturan enerjinin de başlıca kaynağıdır. Genel olarak yılda birkaç santimetre hızla hareket eden levhaların sınırları boyunca yer değiştirmeye bağlı olarak çeşitli niteliklerde faylar meydana gelmektedir.

Faylar ile kayalar iki bloğa ayrılır. Bu blokların birbirine göre hareketleri gözetilerek, faylara çeşitli isimler verilmektedir. Blokların yatay yönde hareket ettiği faylara, doğrultu atımlı faylar, düşey yönde hareket ettiği faylara da eğim atımlı faylar denilmektedir.



Şekil 4. Levhaların devinimini açıklamak amacıyla tasarlanmış konveksiyon modelleri. Konveksiyonda sıcak gereçler yukarı doğru, soğuk gereçler ise aşağı doğru devinirler. **a-** modelinde konveksiyon hücreleri tüm manto içinde yayılmış durumda; **b**- modelinde konveksiyon hücreleri yaklaşık 700 km derinliğin üstünde yer almaktadır; **c**- modelinde, konveksiyon hücreleri astenosfer içinde, 300 km derinliğin üstünde bulunmakta; **d-** sıcak huzme modelinde ise, bütün yukarı doğru devinimler birkaç sıcak huzmeye bağlı kalmakta, aşağı doğru akımlar mantonun kendi içindeki hafif devinimleri tarafından sürdürülmektedir (Wyllie, 1975).

DEPREM DALGALARININ TÜRLERİ

Deprem dalgaları deprem kayıt istasyonlarında sismogramlar halinde kaydedilir (Şekil 5A ve 5B). Bunlar, özelliklerine göre P, S ve L dalgaları olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Hasarların en fazla olduğu an titreşimlerin en yüksek olduğu andır.

P Dalgaları (Primer Dalgalar), hızları en fazla olan ve kayıt merkezine ilk gelen dalgalar olup, burada titreşim hareketi yayılma doğrultusuna koşuttur. Onun için bu dalgalar boyuna dalgalar olarak adlandırılır.

Bu dalgalar, içinden geçtikleri cisimlerin zerrelerini birbirine yaklaştırır ya da uzaklaştırırlar. Bu dalgaların yerkabuğu içindeki hızı 6- 7 km/sn'dir ve derinlere inildikçe hızı artar. Bu dalgalar, çok hızlı yol almalarına karşın çok büyük hasarlara yol açmazlar.

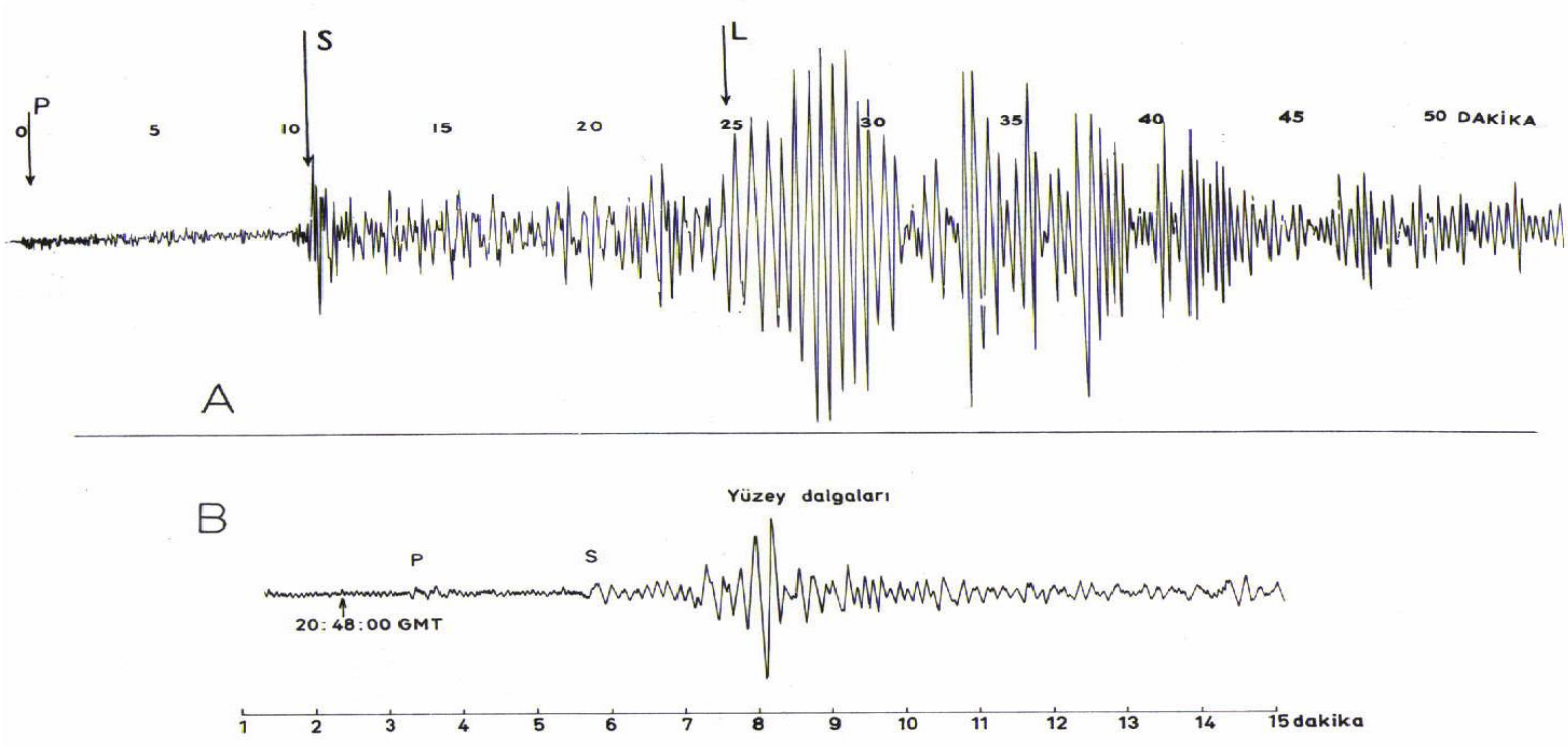
S Dalgaları (Sekonder Dalgalar), yüksek bir enerjinin ürünü olup okyanus dalgalarını andırırlar. Bunlar, hızları P dalgalarına göre daha az olan ve bu nedenle kayıt merkezine ikinci olarak gelen dalgalar olup, titreşim hareketleri hem yayılma doğrultusunda hem de bu doğrultuya dik düzlemde aşağıya ve yukarıya doğru devinir.

Bu dalgalar enine dalgalar olarak bilinir ve hızları içinden geçtikleri cisimlerin katılığına ve yoğunluğuna göre değişir. Dalgaların biçimi kırılan fay parçasının büyüklüğüne göre değişir ve en şiddetli sarsıntıları beraberinde getirir. Dolayısıyla, bu dalgalar büyük oranda hasar yaratırlar. P ve S Dalgalarının seyir zaman aralığı depremin merkez üssünden uzaklaştıkça büyür (Şekil 6).

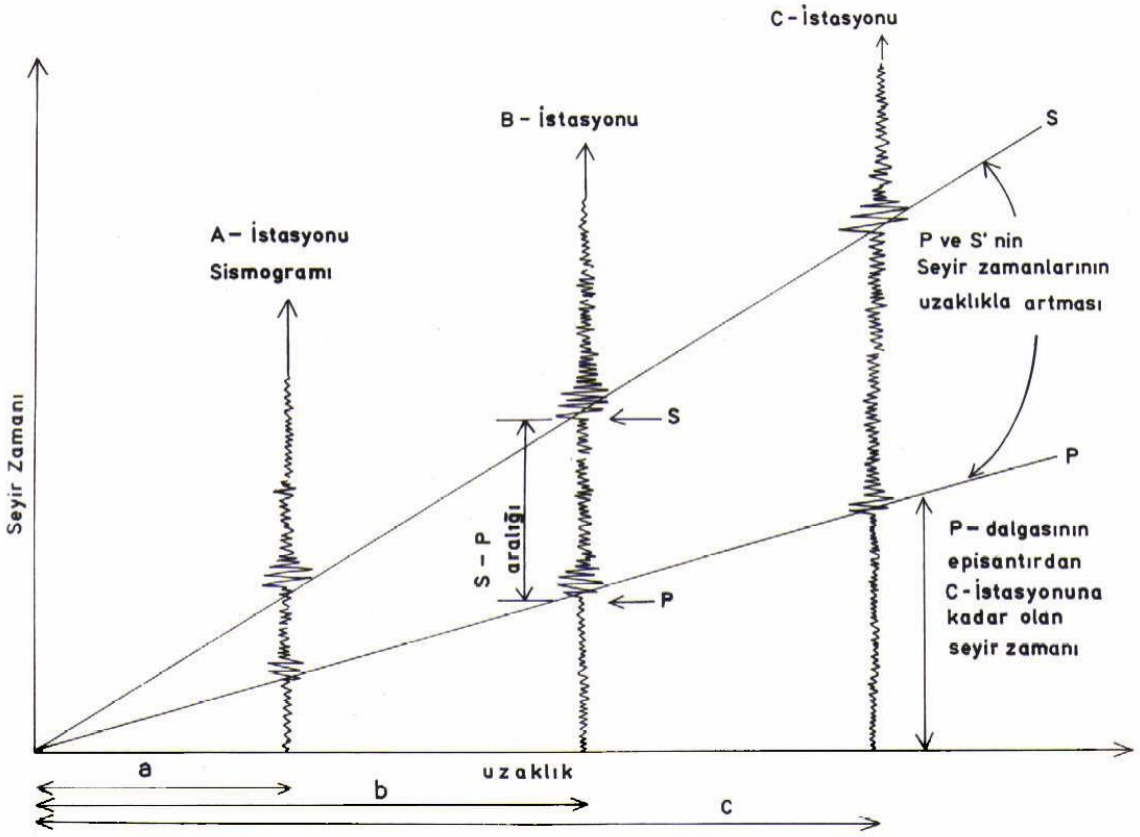
L Dalgaları (Longitudinal Dalgalar), P ve S dalgalarına göre hızları az, periyodları büyük ve boyları uzundur. Kayıt merkezine en son ulaşan bu dalgalar yüzey dalgaları olarak da bilinir ve sismogramlar üzerinde en şiddetli hareketleri yansıtırlar.

P, S ve L dalgalarının bir merkez üssünden kayıt merkezine gelişiyle ilgili zaman/uzaklık ilişkileri gözetilerek üç ayrı kayıt merkezi yardımıyla depremlerin merkez üsleri kolayca bulunabilmektedir (Şekil 7 ve 8).

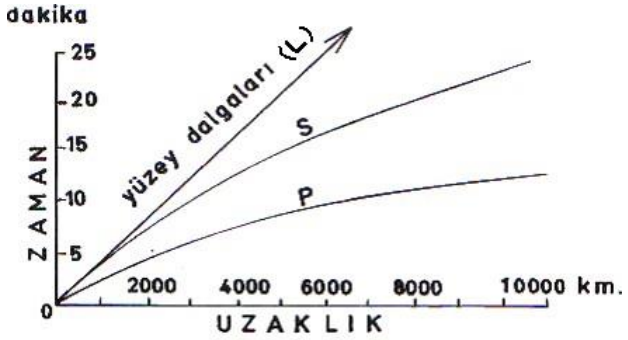
Yukarıda sunulan açıklamalardan anlaşıldığı gibi dalgaların hızı yayıldığı ortamın elastik özelliği, berkliğine (rijiditesine) ve yoğunluğuna göre değişir. Yapıların tasarımında, deprem dalgalarının mekanik özeliklerinin de gözetilmesi zorunludur.



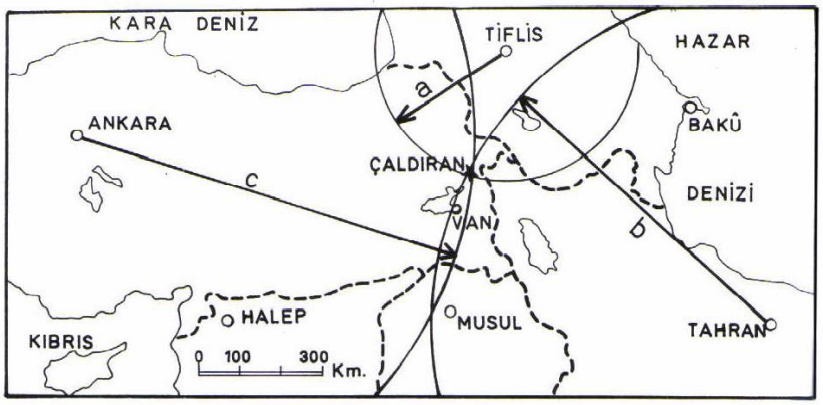
Şekil 5 A. 27 Aralık 1939 Erzincan depreminin Kuzey Amerika'da Harvard Üniversitesi laboratuarında kaydedilen sismogramı.
B, 25 Kasım 1976 Çaldıran depreminin İstanbul'da İTÜ-Arz Fiziği (Yer Fiziği) Enstitüsü'nde kaydedilen sismogramı
(Ketin,1977).



Şekil 6. P ve S dalgalarının seyir zaman aralığı (S-P) depremin merkez üssünden (episantrından) uzaklaştıkça büyür. Belirli bir deprem istasyonunda kaydedilen P ve S dalgaları arasındaki zaman farkı (S-P) belirlendiğinde, episantrın bu istasyona olan uzaklığı kolayca bulunabilir. Ayrıca, A, B, C gözlem istasyonlarının merkez üssünden uzaklıkları (a, b, c) bilindiğinde, episantrın yeri de saptanabilmektedir (Pres-Siever, 1974).



Şekil 7. P, S ve L (yüzey) dalgaları için zaman/uzaklık eğrileri (Ketin,1977).



Şekil 8. 24 Kasım 1976 Çaldıran depremi merkez üssünün (episantıının) Tiflis, Tahran ve Ankara'da bulunan kayıt merkezleri aracılığı ile bulunması. Episantır, yarıçapları a, b, c olan üç dairenin kesiştiği alandır (küçük yıldız) (Ketin, 1977).

DEPREMLERİN ÖNCEDEN KESTİRİLEMEMESİNİN NEDENLERİ

Deprem konusunda bunca bilgi olmasına karşın, neden depremin yeri ve zamanı kestirememektedir? Son yıllarda depremleri önceden kestirmek amacıyla yoğun bir çaba gösterilmektedir. Bu amaçla sismik açıdan aktif olan bölgelerde bazı fiziksel parametrelerin değişimlerini irdelemek amacıyla özel algılama aygıtları kullanılmaktadır. Ne var ki, elde edilen sonuçlarda bazı uyuşmazlıklar gözlenmiştir. Örneğin bir yerel depremde izlenen olağan davranışlar diğer depremlerde gözlenememiştir. Günümüzde deprem habercisi olduğu sanılan beş öğe sunulmuştur.

1- P ve S dalgalarının hızı ve bu dalgaların hızındaki değişimlerin, sismograflarca kolay çözülebileceği ve depremleri önceden kestirme konusunda önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir. Uyarı sistemleri aracılığı ile P dalgalarının biçimi irdelenerek büyük depremler saptanmaya çalışılmaktadır. Bu sistemler, farklı sismik istasyonlardan gelen sinyalleri birleştirerek büyük sarsıntılar arasındaki ilişkiyi ve merkez üssünü belirlerler.
2- Zeminin yükselmesi ve çökmesi, zemin düzeyindeki değişimler olup, bu değişimlerin depremleri kestirmede güvenilirlikleri konusunda kesin olmayan bilgiler sağlanmıştır.
3- Kuyularda radon gazı çıkışı, diri fay zonlarında özellikle yapısal olarak zayıf olan fay büklümü ve fayların kesiştiği yerlerde olmaktadır. Bu konuda yapılan istatistiksel çalışmalar, depremleri önceden kestirmede yeterli veriler sağlamaktan henüz uzaktır.
4- Kayalardaki özdirenç değişimlerinin, granit gibi suya doygun kayalardaki faylar boyunca belirgin bir biçimde azaldığı, diğer bazı kayalarda ise hiçbir değişiklik yaratmadığı belirlenmiştir.
5- Deprem sıklık sayısı ya da sismik etkinliklerde değişimlerde bir bilgi kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu değişimler, genellikle küçük depremlerin sayısındaki artışlarla ilgilidir. Bu öncü depremler, bazen hasar yapıcı bir depremin habercisi olabilir.

Öncü depremlere dayalı ilk başarılı tahminler Çin yerbilimcileri tarafından 1975 yılında Haicheng yöresinde 7.3 büyüklüğündeki meydana gelen depremi yeraltı ve yüzey sularındaki su düzeylerinin değişimine dayanarak tahmin ettiler (Bolt, 2008). İtalyan sismologlar ise İtalya'nın kuzeyinde Friuli yöresinde, 6 Mayıs 1976 tarihindeki ana şoktan önce oluşan öncü depremlerin sayısını ve büyüklüğünü irdelemiştir. Bu değerlendirmeye dayanarak, dayanıklılığı kuşkulu olan binalarda yaşayan insanların çadırda ya da dışarıda yaşaması için genel bir uyarı ilan edilmiş ve 15 Eylül 1976 tarihinde 5:15 sularında 6.0 büyüklüğünde büyük bir deprem olmuş, çok sayıda bina çökmüş ve deprem en az can kaybıyla atlatılmıştır.

Sonuç olarak depremlerin, yerkabuğunda özellikle fayların sonlandığı ya da büküldüğü yerlerde yer alan enerjinin boşalmasıyla oluştuğu ve bu enerjinin de yerkabuğundaki levhaların hareketini

sağlayan termal konveksiyon akımlarından kaynaklandığı bilinmektedir. Ne var ki, termal konveksiyon akımlarını yönü ve hızını, bu akımların söz konusu enerjiyi oluşturma hızı ve biriken enerjinin boşalarak diri faylara dönüşüm koşullarını izleyebilen bir teknoloji henüz ortaya koyulamamıştır. Dolayısıyla, uydu teknolojisinden yararlanarak atmosferde hava hareketlerinin izlenmesi ve meteorolojik kestirimlerin yapılması gibi, başka bir teknolojiden yararlanarak yerin içindeki devinimi izleyebilme olanağı henüz görülmemektedir. Bu nedenle hava tahminleri yapıldığı gibi, depremler önceden kestirilememektedir. Her şeye karşın, içinde yaşadığımız yüzyılda, insanoğlu, depremleri oluşturan parametreleri kaydeden teknolojiyi de üretecek ve depremlerin önceden kestirilmesinin sıradan rutin bir işlem olacağı öngörülmektedir.

Ülkemizde de deprem zararlarının azaltılması çalışmalarına koşut olarak, depremlerin önceden kestirilmesi çalışmaları yürütülmelidir. Yukarıda belirtilen yerkabuğundaki çökme ve yükselmeler, su düzeyi değişimleri, radon gazı ölçümleri, jeomanyetik ve elektrik ile sismik etkinliğin yer – zaman dağılımları ve bu dağılımları izleyen teknoloji, hatta bazı hayvanların anormal davranışları izlenmelidir. Ülkemizin % 90'nın deprem riski altında olmasına rağmen, halkımızın deprem konusundaki eğitimi ve deprem bilinci yok denecek kadar azdır. Özellikle deprem öncesi, deprem sırasında ve deprem sonrasında nelerin yapılması gerektiği, ne gibi önlemler alınabileceği konusunda, en başta yönetim kadrosu olmak üzere herkesin eğitilmesi gerekmektedir.

DEPREM HASARLARINI ETKİLEYEN UNSURLAR

Depremlerin en önemli etkisi çevrede yarattığı hasarlardır. Deprem hasarları, depremlerin büyüklüğüne (magnitüd), odak derinliğine, ana şokun süresine, deprem odağına olan uzaklığa, depremin olduğu yerin zemin özelliklerine, depremin oluş zamanına (gece, gündüz, tatil ya da çalışma saatleri), nüfus yoğunluğuna, yapı tekniğine, halkın deprem konusundaki eğitimine, deprem yönetim sisteminin gelişmişlik düzeyine göre değişmektedir.

Depremlerin büyüklüğü, süresi ve zamanı hasarların oranını artıran başlıca nedenlerdir. Doğu Marmara'da 7,4 büyüklüğündeki depremin yarattığı hasarlar, 1939'da Erzincan'ı yerle bir eden 8 büyüklüğündeki depremin hasarlarıyla kıyaslandığında, depremin büyüklüğü ile oluşan hasarlar arasındaki ilişki açıkça ortaya çıkar. Ayrıca Doğu Marmara'da depremin herkesin uykuda olduğu 03,02'de meydana gelmesi ve 45 saniye sürmesi de can kaybını artıran başlıca unsurlardır.

Yerin zemin özellikleri, hasarın büyüklüğünde belirleyicidir. Deprem bölgelerinde zemin profili genelde çok kalın, yumuşak kil ya da gevşek tutturulmuş kum katmanlarından oluşmaktadır. Bu zemin yapısı, binaların farklı biçimlerde oturmalarına, çökmelerine ya da yana yatmalarına neden olmaktadır. İzmit, Adapazarı ve Düzce'de hasarların çok büyük olmasının en önemli nedenlerinden biri de bu yerleşim birimlerinin alüvyon zemin üzerinde bulunmuş olmasından ileri gelmektedir.

İnşaatların kalitesi de hasarların büyümesinde çok önemli rol oynar. Özellikle kullanılan malzemelerin kalitesi ve yapı tekniğinde varolan sorunlar, zemin incelemeleri yapılmadan çok katlı binaların yan yana bir dizi halinde kondurulması deprem hasarlarını büyüten unsurlardır.

Nüfusun yoğunluğu, dolayısıyla depremden etkilenen insan sayısı, ölüm ve yaralanma olaylarının artmasında önemli rol oynamaktadır. Doğu Marmara Yöresi, nüfus yoğunluğunun çok yüksek olduğu bir yöreye karşılık gelmektedir. Bu da ölü ve yaralı sayısının yüksek olmasına neden olmuştur.

Deprem hasarlarının mühendislik açısından temel nedenleri

Depremler, diri faylar boyunca enerji boşalması sonucu meydana gelen doğa kaynaklı yer sarsıntılarıdır. Faylar boyunca biriken deformasyon enerjisinin kritik bir değere ulaşması sonucunda meydana gelen ani bir kırılma ya da yırtılma devinimiyle depremler olmaktadır. Yer içinde bir noktada oluşan herhangi bir deprem sonucu meydana gelen dalgalar, yerin katmanlarını geçerek yeryüzüne varıp yeryüzünde hava ortamında da yayılırlar. Mühendislik açısından depremlerin yıkıcı etkileri iki şekilde olmaktadır:

1- **Diri faylar boyunca meydana gelen yer değiştirme hareketi;** Böyle bir harekete karşı koyabilecek hiçbir mühendislik yapısı yoktur. Depremleri durdurmak da mümkün değildir. Onun için böyle bir sorunun çözümü, faydan uzak yerlerin seçiminden geçer.
2- **Yerkabuğunun ve çeşitli yapıların yer değiştirme sırasında geçirdiği sarsıntılar**; Sarsıntıların kaynağı da depremlerin dalga hareketidir. Sarsıntılara ilişkin yıkıcı etkileri en aza indirmek için çeşitli mühendislik çözümleri vardır. Bunların uygulanması da emek ve zaman gerekmektedir.

Deprem hasarları ile zemin arasındaki ilişkiler

Deprem hasarlarının dağılımı ile zeminin jeolojik, hidrojeolojik ve mühendislik özellikleri arasındaki ilişkiler uzun zamandan beri irdelenmektedir. Bu çalışmalar, her deprem sonrasında gözden geçirilerek, yeni gözlemlerle giderek gelişmektedir.

Fayların oluşumu sonucu açığa çıkan enerjinin yayıldığı her zemin türü farklı tepkiler göstermektedir. Zeminlerin türü, süreksizlikler, yer değiştirme miktarı ve deprem süresi, zeminlerin elastisite ve dayanım özellikleri hasarların boyutlarında belirleyici değişkenlerdir. Zeminlerin süreksizlik oluşturan yüzeylerde deprem dalgalarının kırılma, yansıma ve dağılma özellikleri de zeminlerin farklı biçimlerde sarsılmasına neden olmaktadır. Yani deprem dalgalarının özellikleri de, deprem hasarlarının boyutlarını etkilemektedir.

Örneğin, alüvyonal düzlüklerdeki zeminlerin üzerinde yer alan binaların, kaya zeminlerde yer alan binalara göre çok daha ağır hasara uğradığı genel olarak kabul edilmektedir. Kaya zeminlerden dayanımlı olanlarında hasar çok daha hafif olmaktadır. Bataklık alanlar da, depremsellik yönüyle zayıf zeminleri temsil etmekte ve deprem hasarlarının yoğun olduğu bölgelerdir. Bu bölgeler, sıvılaşmaya açık alanlardır. Örneğin, Şekil 9' da görülen bina sıvılaşma sonucu devrilmiştir. Yani binanın yapımında kullanılan malzeme yönüyle herhangi bir sorun söz konusu değildir.

Şekil, 9. 17 Aralık 1999 İzmit depreminde sıvılaşma sonucu gelişmiş yapı hasarı (Demirtaş ve Erkmen, 2000).

İvme genel olarak, saniyedeki hız değişimi olarak ifade edilir ve birimi cm/sn^2 'dir. Deprem sırasında oluşan ivme, depremin yarattığı devinim ile yerçekimi deviniminin bileşkesinde yer alır. Dolayısıyla, sismik devinimin ivmesi, hız, yer değiştirme miktarı, dalga periyodu, dalga frekansı ve dalga boyu gibi değişkenler gözetilerek değerlendirilir. Yüksek enerjinin boşaltıldığı yerlerde, yani deprem episantrında ya da fayın zemini ötelediği yerlerde yüksek ivme koşulları meydana gelir. Bu koşullar, alüvyal yumuşak zeminlerde deprem hasarlarının yüksek düzeyde oluşmasına yol açar.

Deprem sırasında zeminin yer değiştirmesi, yani fayın zemini ötelemesi kaçınılmazdır. Yer değiştirme miktarı, depremin şiddetine ve zeminin sertliğine bağlı olarak değişir. Depremin şiddetinin düşük ya da zeminin sert ve dayanımlı olması, yer değiştirme miktarının da düşük olmasına yol açar. Deprem sırasında oluşan salınım periyodu ile zeminin salınım periyodu birbiriyle örtüşürse, rezonans denilen olay meydana gelir. Bu gibi durumlar, deprem hasarlarını çok büyük oranda arttırır. Özellikle alüvyal zeminlerde rezonans olma koşulları vardır.

Zeminin tekdüze (homojen) olmadığı durumlarda, yani yapıların bir tarafta dayanımlı, diğer tarafta zayıf olan zeminlerin üzerinde olduğu durumlarda, deprem sırasında farklı burulma kuvvetleri oluşmakta, bu da zeminlerin bir yöne oturmalarına yol açmaktadır.

Zeminlerin dayanım sınıflaması, makaslama dalgalarının (s) hızı kullanılarak yapılmaktadır. Ayrıca, kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşma riski ile ilgili olarak zeminin penetrasyon değeri (N) çok yaygın olarak kullanılır. Bu amaçla yapılmış penetrasyon aletleri, penetrasyona karşı zeminin dayanımını tahmin etmek için kullanılır. N değeri, S dalgası hızı ile karşılaştırılır ve zeminin dayanımlılığı belirlenir. Buna göre, zeminler sert (H), orta sert (MH), yumuşak (S) ve çok yumuşak (VS) olarak ayırt edilir. Deprem sigorta şirketleri, bu sınıflamanın yanı sıra, yeraltı su düzeyi ve N değeri gibi bilgileri gözetirler.

Ayrıca topografik özelliklerde hasar dağılımında etkili olmaktadır. Örneğin, aynı zemin özelliklerine sahip sırtlar düz ovalık alanlara göre daha şiddetli sarsılmaktadır. Dolayısıyla jeolojik haritaların bulunmadığı durumlarda bir ölçüde topografik haritalardan yararlanılmaktadır. Deprem hasarlarının zeminle olan ilişkileri sonucu depremlerin doğrudan yarattığı can ve mal kaybı, depremlere bağlı olarak gelişen heyelan, sıvılaşma, tsunami, volkanizma gibi diğer doğa kaynaklı afetler yoluyla katlanmaktadır.

Deprem hasarlarının en önemli nedenleri: Yanlış yer seçimi, depreme dayanıklı olmayan yapı üretimi, yüzey kırıklarının uzunluğu ve meydana gelen yer değiştirme miktarı, depremin oluştuğu zaman ve süre, depremin büyüklüğü, depremin odak derinliği, depremin merkez üssünün yerleşim yerlerine uzaklığı, sanayileşmenin ve nüfusun yoğunluğu, zeminlerin türü ve dinamik özellikleri, depremlerden kaynaklanan heyelan, sıvılaşama, tsunami ile volkanizma ve diğerleri.

Depremlerin sık olduğu yerlerde yer seçimi için gözetilmesi gereken bazı ilkeler

1- Yapılar kaya zeminler üzerine oturtulup, toprak zeminler genel olarak tarım için değerlendirilmelidir. Sağlam kaya zeminler, toprak zeminlere göre en az 1000 kat daha güvenlidirler.

Kumtaşı ve kiltaşı ardalanması, zayıf bir temeli temsil eder ve elastiklik-young modülü, 1MPa olarak kabul edilir. Toprak zeminlerin elastiklik-young modülü ise 0,001 MPa'dır, yani çok daha zayıf bir temeli temsil eder. Zeminlerin dayanımlılığını değerlendirmek amacıyla Elastik Young modülü gözetilir.

Elastiklik-young modülü (Young's modulus- modulus of elasticity), elastik limit sınırları içinde bir cisme uygulanan gerilimin birim deformasyona oranı olup, mekanik açıdan cisimlerin katılılığının ya da sertliğinin göstergesidir.

Zayıf zeminlerde deprem dalgalarının etkileri sonucu yapının yükü temelin bir köşesine (özellikle en zayıf kenarına) doğru odaklanabilir. Bu durumda ani oturmalar meydana gelir ve bina eski konumuna gelmeden, aynı yöndeki ardışık devinimlerle yıkılmaktadır. Bu bağlamda, kaya zeminler en

az 100 kat daha güvenlidir. Deprem dalgalarının ritmik olması ve deprem odaklarından gelişlerine ilişkin yönleri, hasarların olmasını kolaylaştırmaktadır.

Toprak zeminlerde sismik dalga hızının yavaş (yani dalga boyunun uzun) olması durumunda bile çok katlı binalar yıkılmaya daha çok eğimlidirler. Böyle yerlerde çok katlı binalar yapılmamalıdır. Kaya zeminlerde, çeşitli dalga boylarıyla sallanmanın daha az etkili olduğu, dolayısıyla çok katlı yapıların da daha duraylı olduğu deneysel olarak ortaya konulmuştur.

2- Yapıların oturtulacağı alanlardaki yeraltı suları, akaçlama(drenaj) ile boşaltılmalıdır. Yeraltı sularının sıvılaşma, sıkılaşma, oturma ve benzeri duraysızlıkları yaratan olumsuz yönleri vardır. Bu duraysızlıklar da toprak zeminlere özgüdür. Toprak zeminlerde çekme gerilmeleri sırasında toprak taneleri üzerinde oluşmuş olan elektrik yükü ne olursa olsun su molekülleri tarafından sarılır. Böyle bir ortamda, ***sıkışmanın etkisiyle su önce suya sürtünmektedir. Suyun kayma dayanımı ise sıfırdır.***

Sonuç olarak deprem sırasında gelişen ardışık gerilmeler ince taneli toprak zeminlerde sıvılaşmaya yol açarken iri taneli ve heterojen olan toprak zeminlerde heyelanlara yol açan oturmalara neden olurlar. Ayrıca katmanlı toprak zeminlerde, iri taneli düzeylerle, ince taneli düzeyler arasındaki yüzeyler boyunca kaymalar olmaktadır. Bu şekilde meydana gelen kaymalara "***katman faylanmaları***" denilmektedir. Zeminleri oluşturan kırıntılı kayalarda, özellikle tane boyutunun yanal ve dikey yönde sıkça değişmesi çeşitli duraysızlıklara yol açmaktadır.

3- Diri (aktif) fay kuşakları boyunca alüvyonlardan oluşan ovalar meydana gelir. Bu ovalar, 1. sınıf tarıma uygun alanlar olup oluşumlarını sürdürmektedir. Böyle yerler yerleşim alanları olarak değerlendirilmemelidir. Ayrıca fay çizgisi boyunca hiçbir yapı tasarlanmamalıdır. Çünkü yerkabuğu hareketine karşı koyabilecek hiçbir mühendislik yapısı tasarlanamaz. 100'lerce km boyunca yerkabuğunun yer değiştirmesine neden olan depremleri durdurmak mümkün değildir. O halde diri fayların yeri belirlenip, yer seçimine karar verilmelidir.

Tüm bunlara karşın ***toprak zeminlerde yapılar*** kurma zorunluluğu doğarsa özel jeoteknik tasarımlar düşünülmektedir. Örneğin yapı temeli, 100 m^2'den küçük ise, yapılar:

- Kare ya da dairesel biçimde,
- Tekdüze – homojen bir zeminde,
- En çok iki katlı olmalıdır.

Ayrıca üst yapı tasarımı (ağaç ya da kolonlu olması) da zeminin (elastikiyet-dayanımlılık) özellikleri gözetilerek belirlenmelidir.

Otoyol gibi çizgisel mühendislik yapıları tasarlanırken bu yolların diri fay çizgisinden geçme zorunluluğu doğabilir. Böyle bir durumda ***köprülerin yapımı*** yerine ***dolgular***, ***tünellerin yapımı*** yerine ***yarmalar*** tercih edilmelidir. Ayrıca yer seçimi yapılırken, çizgisel mühendislik yapılarının fay hattını dik olarak geçmesi ve geçkinin fay kuşağını keseceği yerlerin köprü ya da tünel yapımına gereksinim duyulmayacak özellikler taşıması gözetilmelidir.

Deprem bölgelerinde tasarlanan tüm önemli yapıları denetleyen bir sigorta sistemi (DASK) oluşturulmuştur. Bu sistem, yer seçiminde ve inşaatın kalitesinde yaşanan olumsuzlukları tanımlama ve geleceği planlama konularında yetersiz kalmıştır.

DEPREME DAYANIKLI YAPILARIN TASARIMI

Deprem hasarlarının en alt düzeye indirilmesi amacıyla, yapılara özgü yer seçiminin yanı sıra, yapıların depreme dayanıklı biçimde tasarımına da özen gösterilmelidir. Deprem hasarlarının azaltılmasında, depreme dayanıklı yapıların tasarımı son derece önemlidir. Çünkü yapıların tasarımı, güvenli bir ortamın oluşmasına katkı sağlar. Ancak, unutulmamalıdır ki, jeolojik-jeoteknik bilgiye dayalı değerlendirme yapılmadan depreme dayanıklı yapı tasarımı gerçekleştirilemez.

Ülkemizde, iki türlü yapı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar, yığma yapılar ve betonarme yapılar olup, her yapı türünün tasarımında uyulması gereken ölçütler vardır.

Yığma yapıların tasarımı

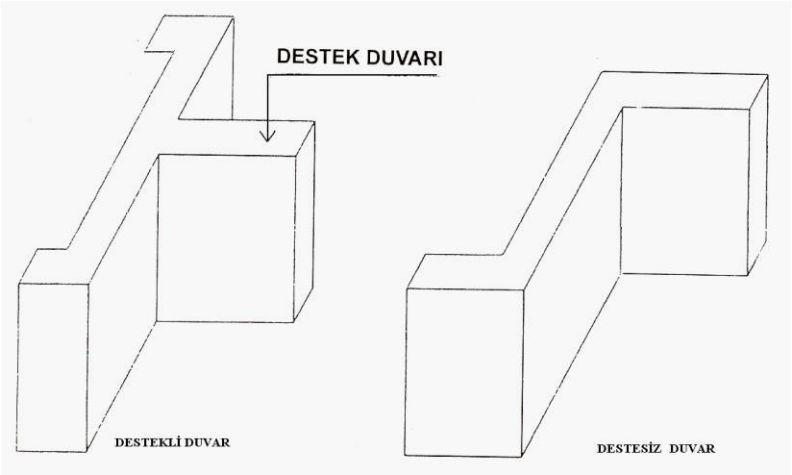
Depreme dayanıklı yığma yapıların tasarımında, temelden başlayarak kullanılan malzemeler, duvar dayanımı, duvarda öngörülen boşluklar, duvar kalınlığı ve gerektiğinde destek duvarının katkısı gözetilerek bir planlama yapma zorunluluğu vardır.

Yığma yapıların temelleri özenle hazırlanmalıdır. Zayıf bir temelin üzerine inşa edilmiş yapılarda, zamanla gerçekleşen oturma nedeniyle üst katlarda çatlaklar oluşur. Bu tür yapılar küçük bir depremle bile yıkılabilir. Temellerin hazırlanmasında, en azından afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmeliklere uyulmalıdır. Yığma yapılarda kullanılan malzemelerde önemlidir. Örneğin kullanılan tuğla ve harcın dayanımlılık özellikleri, gözeneklilik oranı ve derz kalınlığı, yığma yapılarda ölü ve diri yüklerin taşıyan duvarların dayanımlılığını belirler. Tuğlanın gözenekliliği arttıkça dayanımlılığı azalır. Duvar dayanımlılığı tuğla dayanımının %25 ile %50'sı arasında değişir [$f_{duvar} = (0.25\text{-}0.50) f_{tuğla}$]. Ayrıca derz kalınlığı azalınca, duvarın dayanımlılığı artar.

Düşük dayanımlı harç ve tuğlalardan yapılmış duvarların kesme (makaslama) dayanımı (τ), $\tau = \tau_o + \mu\tau_n$ denklemi ile temsil edilir. Burada τ_o, harç ile tuğla arasındaki aderanstır, ve harcın çekme dayanımı ile harç arasındaki yapışmaya bağlıdır. μ, duvarda çatlak oluştuktan sonra çatlak ara yüzeylerindeki sürtünme katsayısı; τ_n ise duvardaki düşey basınçtır.

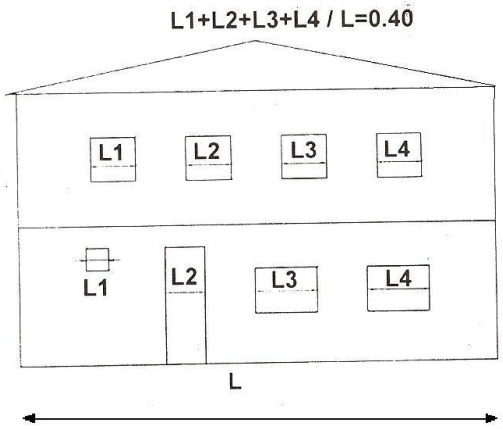
Duvarların kesme dayanımı (τ) arttırmak için, yüksek dayanımlı harç kullanmak, tuğlaların harca iyi yapışması için önceden ıslatarak su ile doygun duruma getirmek ve delik oranı az olan tuğlaları kullanmak gerekmektedir. Duvarın iç ve dış yüzeyindeki sıva kaplama da kesme dayanımına katkıda bulunabilir. Duvar kalınlığı da deprem bölgelerinin derecesine bağlı olarak değişir. 1. Derece deprem bölgelerinde, bodrum katı da varsa, bodrumların 50 cm taş duvar, zemin ve birinci katın bir tuğla kalınlığında olması gerekir. 2. ve 3. Derece deprem bölgelerinde yığma yapılar, 3 katlı olarak yapılabilir. Bunların zemin katları 1.5 tuğla, diğer katlar ise 1 tuğla kalınlığında olmalıdır.

Yığma yapılarda, duvarların hem mimari hem de taşıyıcı işlevi vardır. Deprem sırasında duvarların devrilmesini önlemek için, planlamaya ***destek duvarları***nın da eklenmesi yararlı olur. Çok uzun duvarların, arada bir dik yöndeki duvarlarla desteklenmesi gerekir. Şekil, 10' da destekli bir duvar ile destekli olamayan bir duvar görülmektedir.



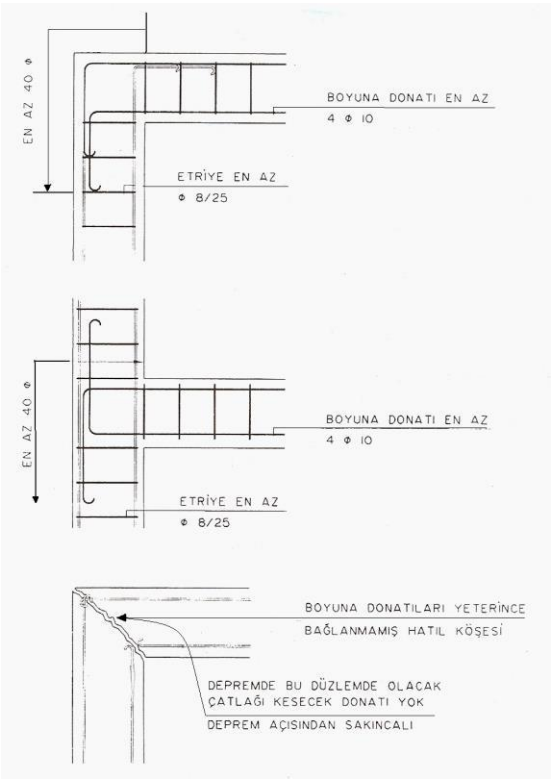
Şekil, 10.Destekli duvar ile desteksiz bir duvar (Demirtaş ve Erkmen, 2000'den).

Depremlerden sonra gözlenen yığma yapılarda kapı ve pencere boşluklarının, depremsellik açısından hiç de olumlu olmadığını göstermektedir. Bu nedenle deprem yönetmeliğinde, bu boşlukların az olmasını sağlayacak ve iki boşluk arasındaki dolu duvarın fazla olmasını sağlayacak hükümler de yer almaktadır. Şekil 11' de yığma yapılarda öngörülen dış cephe uzunluğunu ile toplam boşluk miktarı arasındaki ilişkiler görülmektedir.



Şekil, 11, Yığma yapılarda dış cephe uzunluğu ile toplam boşluk miktarı arasındaki ilişkiler (Demirtaş ve Erkmen, 2000).

Yığma yapıların en az 10 cm kalınlığında bir betonarme döşemesi olmalıdır. Döşemenin duvarlara oturduğu yerde, duvarın içinde en az 4Ø10 boyuna ve Ø 8/25 enine etriyesi olan bir hatıl yapılmalıdır. Hatılların donatıları duvarların köşelerinde bindirilip, ankrajmanlarla desteklenmesi gerekir. Şekil 12' de hatıl boyuna donatıların köşe bağlantıları görülmektedir.



Şekil, 12, Hatıl boyuna donatılarının köşe bağlantıları (Demirtaş ve Erkmen, 2000).

Betonarme yapıların tasarımı

Çoğu betonarme yapıların depremlerden sonra enkaz haline gelmesinin nedeni, kullanılan malzemenin kalitesi ve bu yapıların depreme dayanıklı bir biçimde tasarlanmaması ile ilgilidir. Şekil 13' de depreme dayanıklı olarak yapılmamış bir yapının depremden sonraki hali görülmektedir.

Şekil, 13. Kobe depreminde tümüyle yıkılmış olan depreme dayanıksız betonarme bir yapı (Demirtaş ve Erkmen, 2000).

Genel olarak iki tür betonarme yapı vardır.

1. Yalnızca kendi ağırlığı ve yapının içindeki canlı yükü (yani düşey yönde etkili olan yükler) taşımak için tasarlanmış yapılar,
2. Hem yukarıda belirtilen yükleri, hem de depremde oluşan yatay ve düşey yükleri taşımak için tasarlanmış yapılar.

Yukarıda sunulan sınıflama, çelik ve ahşap-karkas yapılar için geçerlidir. Ancak depreme dayanıklı yapıların tasarımında gereksinim duyulan bazı özel ayrıntılar da vardır. Depreme dayanıklı yapım kuralları ilk kez 1975'te yayınlanan deprem yönetmeliğinde ortaya koyulmuştur: Betonarme yapıların tasarımında, betonun içeriği ve dayanımlılığı, taşıyıcı sistemlerde kullanılan demir miktarı, kolon ve kirişlerin en kesiti ve sayısı, çok katlı binalarda perde duvarlarının yapılması, yapıların türü gözetilerek bir planlamanın yapılaması gibi unsurların gözetilmesi gerekmektedir.

Betonun içeriği yıkanmış, elenmiş ve uygun boyutlara getirilmiş kum, çakıl karışımı ile su/çimento oranı tanımlanmış gereçler topluluğu ile temsil edilmektedir. 160 kg/cm^2 dayanımlılığa sahip böyle bir beton, ancak ***beton santrali***nde üretilebilir. Örneğin deniz kumunda tuz vardır. Bu tuz, betonda kullanılan demirin paslanmasına yol açar. Betonarme yapıların kalorifer dairelerinde kullanılan kömürlerin yakılması sonucu ortaya çıkan kükürt dioksit gazları da nemli bir ortamda sülfürik aside dönüşmekte ve zaman içinde kolon donatılarında paslanmaya neden olmaktadır. Paslanma ile hacmi genişleyen demir, üstündeki beton kabuğu çatlatmakta ve bir sarsıntı sırasında beton kabuk dökülerek çevre için son derece zehirli olan demir ortaya çıkmaktadır.

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinde kullanılan demir miktarının yanı sıra, kolon ve kirişlerin en kesitleri ve bağlantıları da önemlidir. Boyuna demirlerin enine demirlerle (etriyelerle) sık aralıklarla sarılmış olması gerekir. Sık aralıklarla konulmuş etriye, betonun dayanımını artırır. Depreme dayanıklı yapılarda ***mafsallaşma*** kiriş uçlarında oluşur. Bu gibi durumlarda yapının yıkılması için yapının bütün kiriş uçlarının mafsallaşması gerekir.

Tehlike oranı yüksek deprem bölgelerinde, dört ve daha çok katlı yapılarda kesinlikle perde duvarlar bulunmalıdır. Perde duvarlar, 20-25 cm genişliğinde, içinde iki sıra hasır çelik bulunan ve 2,5-200 m ya da daha uzun düşey taşıyıcılardır. Perde duvar ve kolonlu yapılarda, depremde oluşan yatay kuvvetlerin en azından %75' i, perde duvar tarafından taşınır. Kolonlar genellikle daha az zorlanır. Tüm betonarme yapıların, deprem yönetmeliklerinde belirtilen sınırlamalara uyarak tasarlanması gerekmektedir.

Betonarme yapıların tasarımında projenin türü de önemli bir yere sahiptir. Nükleer reaktörler, çizgisel mühendislik yapıları, köprü ve üst geçitler, barajlar, rıhtımlar, fabrikalar, hastaneler ve okullar gibi mühendislik yapılarının tasarımı farklıdır. Örneğin, bir barajda yer seçimi yanlış yapılmışsa, yıkılma daha çok diri faylardan ileri gelir. Deprem sarsıntılarının neden olduğu hasar ise daha çok yapımda kullanılan malzeme ile ilişkilidir. Özellikle toprak dolgulu barajlarda kullanılan malzeme kum ya da sıvılaşmaya elverişli siltli malzeme ise, rezervuar kenarlarında farklı oturmalar ve kaymalar gelişebilir. Farklı oturmalar, sarsıntıdan da çok, kullanılan malzemenin özelliğine ve yapının tasarım kalitesine bağlıdır.

Günümüzde, depreme dayanıklı yapıların üretilmesi hususunda ARGE çalışmaları devam etmektedir. Özellikle ABD'de ve Japonya'da 100 milyonlarca dolarlık kaynaklar, depreme dayanıklı çelik yapı tasarımına ayrılmış bulunmaktadır. Son yıllarda prefabrik beton ile yapı üretiminde büyük mesafeler alınmıştır.

Binaların depreme dirençli tasarımı ve güvenliği önemlidir. Depremde meydana gelen sarsıntıya dair kuvvet, iyi bilinen Newton'un İkinci Hareket Yasası (F = mxa)'na dayanır. Bu eşitlikte atalet kuvveti F, kütle (m) ile ivme (a)'nin çarpımına eşittir. Mühendisler, binaları ve yapıları tasarlamak için yanal sismik kuvvetleri belirlemek için bu temel yasayı kullanmak zorundadır (https://www.structuremag.org/?p=8763#:~:text=The%20Earthquake%20Shaking%20Force%20is,for%20designing%20buildings%20and%20structures; 08 Şubat 2023, 10.10).

Prefabrik beton ile yapı üretimi

Prefabrikasyon, yapı elemanlarının fabrika ortamında üretilmesi anlamına gelmektedir. Yani yapıların önceden bileşenlerine ayrılarak tasarlanması ve fabrikalarda üretilip inşaat alanında monte edilmesi esasına dayanmaktadır. Böyle bir üretim çalışmalarda hız ve tasarruf sağlamaktadır. Bu inşaat yöntemi ülkemizde daha çok sanayi tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca prefabrik üretim köprü, raylı sistemler, alışveriş merkezleri gibi birçok yapılarda da tercih edilmektedir.

Prefabrikasyon, dayanım ve kaliteyi yükseltirken, yapılardaki kolon sayısını büyük ölçüde azaltmaktadır. Dolayısıyla daha ekonomik ve şekil değiştirme niteliğinden ötürü de depreme daha dayanıklı bir üretimdir. Prefabrik üretimde kullanılan çeliğin elastik modülü diğer yapı malzemelerine göre yüksektir. Bu da dinamik yüklere ve titreşimlere karşı duraylılığı sağlar. Çelik yapı elemanları yerlerine monte edildiklerinde tam yükle çalışırlar. Bu yapıların elemanlarında değişiklik yapma ya da güçlendirme amacıyla takviye etme olanağı vardır. Ayrıca yapı elemanları, sökülüp yeniden kullanılabilirler.

Hafif çelik yapıların tasarımı öngörülen taşıma gücü gözetilerek gerçekleştirilir. Projede kodlanan tüm profil türleri üretimden sonra profilin üstüne kodlanır. Böylece montaj ön denetimli, kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilir. Çelik yapı, betonarme temele sızdırmazlık contaları ve ankraj vidaları ile bağlanır.

Betonarme ve yığma inşaat teknolojilerinde yeni bir seçenek oluşturan ***Yapay Paneller*** de inşaat sektörünün önemli buluşlarından biridir. Bu yapay malzemeler depreme dayanıklı, su geçirmeyen ve yangından etkilenmeyen özelliklere sahiptir. Yapay paneller hafif, içi boş, dayanıklı ve sert bir yapıda olan polimerden yapılıdır. Bu modüllerin içi hazır çimento ile doldurulduğunda, gerilime

(strese) dayanıklı ve yanmayan bir yapı malzemesine dönüşür. Uygun bir biçimde modüllerin eklem yerleri ya da bağlantıları yapılırsa, birbiri üzerine kolaylıkla döşenebilir.

Modüllerin fabrikada istenilen boyutta kesilmesi mümkündür. Bu işlemler sırasında döşeme için ayrıca iskele gerekmemektedir. Bilim ve teknolojinin gelişmesine koşut olarak prefabrikasyonda kullanılan malzemenin kalitesi ve tasarım biçimleri giderek gelişecektir.

Gerek ülkemizde gerekse dünyada deprem etkisi altında mevcut binaların hasar görebilirliği; doğa kaynaklı afetlerin yanı sıra, taşıyıcı sistem yapısının yetersizliği veya düzensizliği, yapıda kullanılan malzemenin niteliği ve yapının oturduğu zeminlerin jeoteknik özellikleri ile diri fay parametreleri gibi temel nedenlerden kaynaklandığı bilinmektedir.

DEPREMLERE YÖNELİK BAZI DEĞERLENDİRMELER

Depremlere yönelik duyarlılık ve planlama, deprem hasarlarının tanımlanması, deprem hasarlarını artıran kaynaklar ve deprem hasarlarının azaltılmasına dair önlemler konularında yeni bazı değerlendirmeler yapılmaktadır. Türkiye'de bilinen 500'den fazla diri fay vardır. Bunlar geçmişte deprem üretmiş, gelecekte de üretme potansiyeli olan kırıklardır. Üstelik, Türkiye'nin birçok yerinde deprem üretme zamanı gelmiş ve yeterli gerilimi biriktirmiş çeşitli fayların varlığı da bilinmektedir.

Depremlere yönelik duyarlılık ve planlama

Gelişmekte olan ülkelerde depreme karşı duyarlılık, deprem olduğu ilk günlerde çok yüksektir. Ancak daha sonra duyarlılığın giderek azaldığı ve giderek sönümlendiği görülür. Duyarlılığın çabuk kaybolması, gelişmekte olan ülkelerde depreme hazırlık çalışmalarını da güçleştirmektedir. Bunun nedenleri, depremin teknik, toplumsal, psikolojik, eğitim, sağlık, sosyo-politik ve yasal düzenlemeleri içeren karmaşık bir yönetim sistemine sahip olmasıdır. Böylesine karmaşık bir yapı içinde, birkaç alanda beraber örgütlenme ve eşgüdümü sağlama geleneği kökleşmedikçe, sağlıklı bir planlama da yapılamaz.

Deprem afetinin zararlarını azaltmak üzere eşgüdüm içinde birkaç alanda etkinlik gösterilmesi zorunluluğu vardır. Bunun için bir tarafta depreme yönelik teknik çalışmalar yürütülürken, diğer tarafta derlenip toparlanmaya (rehabilitasyon) ve sonraki depremlere hazırlığı pekiştiren uzun sağlıklı planlamaları gerçekleştirmek gerekmektedir.

Deprem hasarlarının tanımlanması

Depremlerin neden olduğu zararlar yalnızca can kayıplarıyla ve bu kayıplara yol açan yıkık ya da ağır hasarlı binaların neden olduğu kayıplarla sınırlı değildir. Toplam zararın bilançosu daha karmaşık ve kabarık bir yapı sergiler.

Can kayıplarının yarattığı üzüntü, hiçbir zaman parasal olarak analiz edilemez. Böyle bir ortamda, hayatta kalan bireylerin iş verimi de kaçınılmaz olarak azalacaktır. Öte yandan ölenlerin ve hatta yaralanan bireylerin çalıştıkları yerlerde de genel iş verimi düşecektir. Böylece toplam maddi zararların "C" büyüklüğüne ulaştığını varsayalım. Binaların onarımı ya da yeniden yapımı için yapılacak harcamaların toplamı da "B" ile gösterelim. Bina yıkıntıları altında kalıp parçalanmış ev ve büro eşyasının yenilenmesi masrafları da "B" büyüklüğü içinde düşünülebilir.

Sanayi üretim tesislerindeki hasarlar üretimin kesilmesine yol açabilir. Bu ek zarar ise "Be" ile gösterilsin.

Tüm ulusal şebeke ve yerel altyapı tesislerinin onarım ve yenilenme masrafları "A" ile gösterilsin. Buna karşılık ulusal ağlardaki kesintilerin ülke ekonomisine dolaylı olumsuz etkilerinin ise "Ae" gibi ayrı bir büyüklük oluşturacaktır.

Afete uğramış bölgeye ekipman ve insan gücü yığmanın yanı sıra ulusal ve yerel dayanışma ile gönüllü katkılar ya da kamusal ve gönüllü kollektif desteklerin maddi karşılığı "G" ile gösterelim.

Depremden hemen sonra dayanışma amacıyla afet bölgesine doğru, bir süre sonra da psikolojik ve ekonomik sıkıntılarla, afet bölgesinden başka yerlere yönelen nüfus hareketlerinin ekonomik yükü de "Ne" olsun.

Böyle bir durumda toplam maddi zarar T ile, bu da **T = C+B+Be+A+Ae+G+Ne** olarak ifade edilebilir. Buna göre bir depremin gerçek maddi ve toplumsal zararı, sadece bina türü yapılarla, altyapı tesis ve şebekelerinin onarılıp, yenilenme masrafının epeyce ötesine geçmektedir.

Deprem hasarlarını artırıcı kaynaklar

Depremlerin etkisiyle meydana gelen hasarlar, çeşitli aykırılıkların, hataların ya da kusurların ortaklaşa ürünü olarak kendini göstermektedir. Hasar oluşturucu ya da artırıcı kaynaklar aşağıda sınıflandırılarak sunulmuştur:

- Deprem mühendisliği ve bağlantılı yerbilimlerindeki evrensel bilgi belirsizliği ve eksikliğinden kaynaklanan kusurlar
- Genel kamuoyunda deprem olayına karşı umursamazlık ve ilgisizlikten kaynaklanan kusurlar
- Yeni yerleşim yerlerinin seçiminde jeolojik ve jeoteknik unsurları göz ardı etmekten kaynaklanan kusurlar
- Yığma duvarlı taşıyıcı sistemlere özgü anlayış ve tasarım kusurları
- Betonarme yapılara özgü kusurlar. Bunlar da başlıca beton kalitesi düşüklüğü, plan ve kütle bozukluğu, kolon-kiriş zayıflığı, genel süneklik yetersizliği, donatı-detaylandırma eksikliği şeklinde sıralanabilir.

Bundan sonra yapılacak olan yapıların kalitelerinin denetimleri mutlaka sağlanmalıdır. Mevcut yapı stokunun da olabildiğince güçlendirilmesi yararlı olacaktır. Öncelikle kültür değeri taşıyan tarihi binaların onarılmaları sırasında, bu yapıların güçlendirilmesi için özel bir çaba harcanmalıdır.

Deprem zararlarının azaltılmasına yönelik önlemler

Ulusal Deprem Konseyi (2002), ülkenin deprem politikasını gözden geçirerek "Zarar Azaltma Sistemi'ni" Risk Yönetimi çerçevesinde, "Müdahale Sistemi'ni" ise Afet Yönetimi çerçevesinde ortaya koymuştur (Çizelge, 1). Risk Yönetimi, Bilgi Alt Yapısı, İmar ve Yerleşim Güvenliği, Yapı Güçlendirme, Yatırım Kaynakları, Eğitim ve Mesleki Yetkinlik, Yasal Düzenlemeler başlıkları altında irdelenmiştir.

Bilgi altyapısı

Ulusal düzeyde deprem zararlarını azaltma sisteminin oluşturulabilmesi öncelikle ülkedeki deprem tehlikesinin en doğru şekilde ortaya konulması ve bu bilgilerin yeterli teknik donanım ve araçlarla planlama ve uygulama sürecinde karar vericilerin kullanımına sunulabilmesine bağlıdır. Bu süreç sürekli yenilenebilir bir "Deprem bilgi altyapısını" gerektirir. Bu sistemi oluşturan bilgiler sismotektonik ve deprem kuşakları haritalarının da veri tabanıdır. Şu sırada ülkenin güncel sismotektonik haritası ve yeterli veri tabanı bulunmamaktadır.

Ülkemizde toplanan analog ve sayısal türde deprem verilerinin (sismik veriler) toplanması, bir araya getirilmesi ve kullanıcılara ulaştırılması için işbirliği konusuna genel bir bakış açısı ile yaklaşmak gereklidir. "Ulusal sismik ağın" tanımı, ülkemizdeki durumun değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine ilişkin görüş ve öneriler ışığında, teknik ayrıntıların ve kurum yapılarının öznel değerlendirilmelerine gidilmeksizin, temel sorunların somut bir şekilde ortaya konulması hedeflenmektedir.

Çizelge 1, Ulusal deprem politikası çerçevesinde öngörülen sistemler (Ulusal Deprem Konseyi, 2002).

Zarar azaltma sistemi	**Müdahale sistemi**
Risk yönetimi	**Afet yönetimi**
• Bilgi alt yapısı (Ulusal ağ, Bilgi bankası, İletişim, Mikro bölgelendirme haritaları) • Yer seçimi, İmar işleri ve Yapılaşma denetimi • Kentsel iyileştirme ve Yapı güçlendirme çalışmaları • Yatırım kaynaklarının oluşturulması (Sigorta sistemi) • Kamuoyu oluşturma, Eğitim araştırma ve Mesleki yetkinlik işleri • Yasal düzenlemeler	• Hazırlık çalışmaları (Acil hizmetler eğitimi, programlama, iş bölümü, stok yönetimi, uygulamalar) • Acil müdahale ve Yardım gücü kurma (Kurtarma, sağlık hizmetleri bakım, İvedi barınma, geçici iskan) • Hak sahibi belirleme, Zarar karşılama, Yeniden yapım çalışmaları

Ulusal Deprem Stratejisi'nin, Konsey tarafından en fazla durulması ve ayrıntılandırılması gerekli görülen bölümü, deprem öncesi döneme ilişkin risk azaltma konuları olmuştur. Depremlerin yol açtığı zararlar genellikle üç ayrı alt kategoride ele alınmaktadır: "can kayıpları", "ekonomik üretkenlik kayıpları" ve "fiziki yatırım kayıpları". Zararları azaltma stratejileri, bu kayıplardan hangisine öncelik verdiğine göre farklılaşabilir. Ulusal Deprem Konseyi açısından, zarar azaltma sisteminin sağlıklı bir biçimde kurulabilmesi için önce ülke depremselliğinin kapsamlı ve doğru bir biçimde algılanabilmesi, bu bilgilerle sistemli bir bellek oluşturulması ve bu bilgilerin yeterli teknik üstünlükte donanım ve araçlarla kullanıma sokulabilmesi gerekir.

İmar ve yerleşim güvenliği

Büyük ölçeklerde kayıp ve hasarlara yol açan ikinci etken ise, yapılaşmada jeolojik ve jeoteknik verilerin gözetilmemesi, başka bir deyişle, deprem kaynaklarının ve onların heyelan, çökme, sıvılaşma gibi olası görünüm biçimlerinin ve ayrıntılı zemin koşullarının yerleşim kararlarında gereğince dikkate alınmamasıdır. Bu verileri doğru biçimde kullanma yöntemleri geliştirecek olan, yerleşim planlaması uygulama kurallarıdır. Bu işleyişin ise, ayrıca yakın izlemeye alınarak denetlenmesi zorunluluğu vardır. Yeni yerleşim ve yapılaşmanın denetimli olarak daha yüksek standartlarda sürdürülebilir bir uygulamaya dönüştürülmesi yanında, mevcut kentsel kusurların giderilmesi ve "***kentsel iyileştirme***" projeleri aracılığıyla yeterli güvenliğe kavuşturulması gerekmektedir.

Yapı güçlendirme

Üçüncü olarak, yapı tasarım ve inşaat sürecinde gözlenen yetersizliklerin ve denetimsizliklerin azaltılması, mevcut özel kesim yapı stokunun ve kamu tesislerinin daha güvenli duruma getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca ülkenin tarihsel mirası olan değerli yapıların depreme karşı korunması, büyük yatırım değerleri olan bayındırlık yapılarının güvenliği, altyapı sistemleri için güvenlik ilkeleri geliştirilmesi, kentsel kaçak yapı stoku ve kırsal yapılar, üzerinde ayrı ayrı araştırmalar, uygulama denemeleri ve gerekli kararların alınması konulardır.

Yatırım kaynakları-sigorta sistemi

Bütün bunların gerçekleştirilmesi ve her alt sistemde risklerin azaltılması için uzun dönemli programlarla büyük ölçekli, düzenli ve sürekli kaynakların yaratılması gerekmektedir. Bu niteliklere sahip, günlük siyasal hesaplardan uzak tutulan ve yalnızca teknik gerekçelerle kullanılacak bir kaynağın oluşturulması önemli zorluklar göstermektedir. Ancak büyük ölçekli ve belirlenecek verimlilik esaslarına göre düzenli olarak işletilebilecek kaynakların varlığı, uzun dönemde çok yönlü zarar azaltma hedefine hizmet edecek bir temel olacaktır. Bu kaynak, daha etkin ve doğru projelerin geliştirilmesine, bireylerin ve kuruluşların daha güvenli bir çevreye katkılarda bulunmak üzere yönlendirilmesini sağlayabilecektir. Böyle bir kaynağın, (işleyişi deprem zararlarının azaltılmasına yönelik teşvikleri içeren bir) sigorta sistemi ile oluşturulması mümkündür. Günümüzde uygulanan "***Deprem Sigorta Sistemi***" de bu amaçla kurulmuştur.

Eğitim ve mesleki yetkinlik

Zarar ve risk azaltma çabalarının en önemli tamamlayıcı boyutu, bu konularda toplum bilincini yükseltmektir. Bu amaçla olağan eğitim-öğretim sürecinde deprem konusuna yer verilmesi önemli bir altyapı oluşturur. Ayrıca toplumun farklı kesimlerinin farklı programlarla eğitimi sağlanabilmelidir. Yerel toplulukların kendi yaşadıkları ortamlarda daha güvenli çevreler oluşturmak üzere örgütlenmelerinin özendirilmesi de bu programların önemli bir tamamlayıcısıdır. Yapılaşmayı ilgilendiren meslek sahiplerinin bireysel ve kurumsal ölçeklerde meslek içi eğitimi, kamu ve yerel yönetim yöneticilerinin ve çalışanlarının bilgi tazeleme programlarına zorunlu katılımları gibi önlemler de zarar azaltma önlemlerinin en önemsenmesi gereken halkalarındandır.

Yasal düzenlemeler

Zarar azaltma önlemlerinin, bütün bu uygulamalar aracılığıyla yerine getirilebilmesi için kimi yeni kurumsal yapılanmaların geliştirilmesi ve yeni yaptırım araçlarına yürürlük kazandırılması gerekmektedir. Her şeyden önce, zarar azaltmaya yönelik etkinliklerin, "afet yönetimi" ile ilgili yapılanmadan bağımsız olarak, kendi içinde tutarlı bir bütünlüğe kavuşturulması ve ***çevre mevzuatının*** yanı sıra ***imar sistemi*** ve ***mevzuatının*** geliştirilmesi zorunluluğu vardır. Deprem zararlarını azaltmak üzere alınacak önlemlerin tümünün sistemli birlikteliği için gerekli organların tanımlanması ve bunların eşgüdümünün sağlanması etkin bir yönetim için öncelikli görülmelidir. Afet zararlarını azaltma hedefine öncelik veren toplumsal yapılanma, kendine özgü mantığı ile kimi düzeltmeler ve yeni yasal düzenlemelere gereksinim duyacaktır.

Yukarıdaki genel başlıklardan da anlaşıldığı gibi, Türkiye' nin deprem konusunda çok yönlü-çok disiplinli bilimsel araştırmalar yürütme potansiyelinin örgütlenmesi ve performansını üst düzeylere yükseltebilmesi amacıyla entegre edilmiş bir bilimsel araştırma programını kurgulayacak ve izleyecek özel yapılanmaya gereksinim vardır. TÜBİTAK, Yüksek Öğretim Kurumu, Üniversiteler ve uygulamacı birimlerin temsilcileri, sürdürülebilir bir program geliştirmek ve araştırmacıların doğal afetler konusunda çalışmalarını sağlamak, üzere kurumsal yapılar oluşturmaları hedeflenmelidir.

2006 yılında yayımlanan Türk Deprem Yönetmeliği içerisinde ***'Performans Esaslı Tasarım ve Değerlendirme Yöntemleri'*** yer almaktadır. 06.03.2007 tarih ve 26454 sayılı Resmi Gazete'de ***'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'*** yayınlandı. Burada ilk kez çelik yapılar ile ilgili tasarım kuralları ve yine ilk kez 'Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi' konuları eklendi.

Günümüzde depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı ve değerlendirmeler deprem sırasında gelişen kuvvet ve yer değiştirme ilişkileri gözetilerek yapılmaktadır. Betonarme binaların tasarımında maksimum deprem ivmesi, yerçekimi ivmesinin %40'ı (0.40g) olarak kabul edilir. Ancak son zamanlarda ***enerji büyüklüğü gözetilerek tasarım ve değerlendirme yapılması*** ilgi görmeye başladı. Enerji esaslı yöntemler yapıya etki eden depremi bir enerji büyüklüğü olarak ele almakta ve etki-tepki ilkesiyle deprem enerjisinin yapı içinde bazı mekanizmalar tarafından paylaşıldığını kabul

etmektedir. Henüz değişkenleri ve değişkenler arasındaki ilişkileri yeterince tanımlanmamış olan bu çalışmaların da olgunlaşarak gelecekte yeni yönetmeliklere yansıması beklenmektedir.

Öte yandan, Resmî Gazete'nin 18 Mart 2018 tarihli, 30364 sayılı mükerrer sayısında Bakanlar kurulu kararı ve 21.01.2018 tarihli ve 2018/11275 sayılı kararname eki yayınlanmıştır. Bu kararın amacı, ülkede deprem tehlikesinin tespit edilmesi ile başta yeni yapılacak binaların deprem tehlikesine karşı tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesi olmak üzere deprem risk azaltma faaliyetlerinde etkin kullanımının sağlanması amacıyla Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve buna ilişkin parametre değerlerinin tespit edilmesidir.

Yukarıda sunulan karar ve ekleri çerçevesinde hazırlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 1.1.2019 tarihinde yürürlüğe girecek ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nı bağlı olduğu Bakanlık tarafından yürütülecektir. Bu yönetmeliğin EK'inde 'Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar' belirlenmiştir. EK, 17 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm'de genel hükümler sunulmuştur. Buna göre yönetmeliğin hükümleri, yeni yapılacak binaların deprem etkisi altında tasarımı ile mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirme tasarımı için uygulanır. 2. Bölüm'de ise deprem yer hareketine dair esaslar sunulmuştur. Diğer bölümlerde ise, deprem riski gözetilerek çeşitli yapıların tasarımına dair esaslar ya da özel kurallar değerlendirilmiştir. Ayrıca mevcut yapıların dayanımlılık testleri yapılmalı ve testlerin sonuçlarına göre yasal çerçevede gereken önlemler alınmalıdır.

YÜZEY FAYLANMASI TEHLİKESİ'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) tarafından 'Planlama ve Yapılaşma Açısından Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi Klavuzu (PYAYFTDK) hazırlanmıştır (Nurlu, 2017). Buna göre gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde gerçekleştirilmiş birçok jeolojik çalışmada, "yüzey faylanması tehlikesi" olarak kavramsallaştırılmış olan bu konu, kamuoyunun ve ilgili kamu kurumlarının dikkatini ancak 1999 depremlerinden sonra çekmeyi başarabilmiştir.

Böylece Mülga Bayındırlık ve İskân Bakanlığınca 1999 sonrası hazırlanan ve bugün de yürürlüğü süren İmar Planına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Raporları'na (İPEJJER) ilişkin mevzuat ile planlama alanındaki yüzey faylanması tehlikesinin araştırılmasına ve bu tehlikeye bağlı olarak tampon bölgelerin oluşturulması uygulamasına başlanmıştır. Bu teorik ve pratik birikim çerçevesinde, gerek yüzey faylanması tehlikesi araştırmalarına, gerekse yüzey faylanması tehlike kuşağı ve sakınım bandı oluşturulmasına yönelik ölçütler tanımlanmıştır.

Yüzey faylanması tanımı, bir deprem sırasında depremi üreten fayın yüzeydeki izi boyunca oluşan gözle görülür deformasyonları kapsar. Eğer bu deformasyon bir mühendislik yapısının (konut, köprü, köprüyol, fabrika vb.) temelinde gerçekleşirse, belirgin bir hasar ve yıkım ortaya çıkar; bu da can ve mal kaybına yol açar. Yüzey faylanması tehlikesinden kaynaklanan riski azaltmak amacıyla bu tehlikenin ve olası etkilerinin belirlenmesini amaçlayan özel bir jeolojik etüt yapılmalıdır.

Deprem bilgi altyapısının en önemli temel verileri arasında fayların yeri, uzunluğu, niteliği, geometrik özellikleri ve segmentasyonu, deformasyon zonunun genişliği, uzun ve kısa dönem kayma hızları, büyük depremlerin tekrarlanma aralığı, deprem sırasında meydana gelen yer değiştirme miktarı, fayın ürettiği büyük depremlerin tarihi gibi diri fay parametreleri bulunmaktadır.

Hedef alandaki diri fay(lar) veya fay segmenti(leri) 1/25.000 ölçeğinde Türkiye Diri Fay Haritası (TDFH; Emre ve diğerleri, 2013) veri tabanından sağlanır (TDFH hem sayısal hem de kâğıt çıktı olarak MTA Genel Müdürlüğü'nden 1/25.000 ölçeği hassasiyetinde temin edilebilmektedir). Hedef alanla ilgili TDFH veri tabanında bilgi bulunmaması veya TDFH bilgileriyle hemfikir olunmaması durumunda aynı standartlar kapsamında ve 1/25.000 ölçeğinde diri fay haritaları hazırlanır.

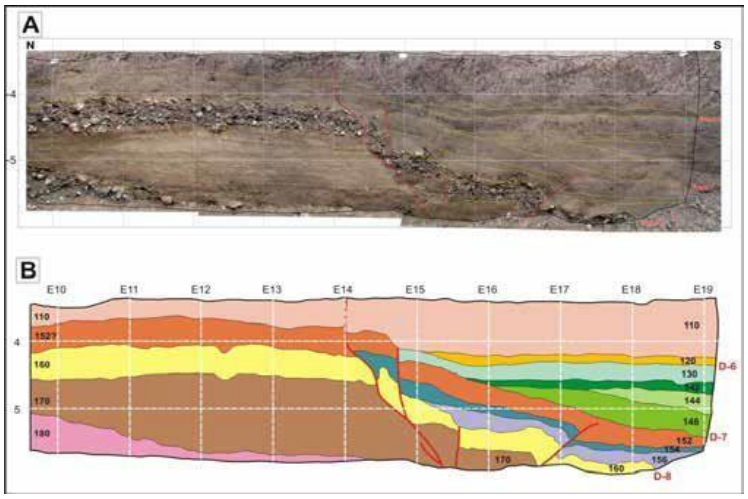
Ayrıca Paleosismolojik çalışmalar yapılır. Paleosismolojik araştırmalar, yüzey faylanmasına neden olmuş eski depremlere ait parametrelerin belirlenmesinde kullanılan en yaygın ve etkin

yöntemlerden birisidir. Paleosismolojik çalışmalar, yakın jeolojik dönemde yüzey kırığı oluşturmuş ve deprem üretmiş diri fayların aktivitelerinin belirlenmesi, gelecekteki davranışlarının tahmini ve deprem tehlike değerlendirmelerinde ihtiyaç duyulan fay parametrelerinin (yer, zaman, büyüklük, deprem tekrarlanma aralığı, en büyük kırılma uzunluğu, yer değiştirme miktarı vb.) elde edilmesine olanak sağlar. Bunun için hendek kazıları yapılır. Hendek alanı kazı öncesinde fotoğraflanır. Hendek alanı fotoğraflarında ölçek konmalı ve bakış yönleri (Şekil 14 A, B) not edilmelidir. Drone çekimlerinin yapılması hendek alanının morfolojik değerlendirmesine önemli katkılar sağlar.

Paleosismoloji çalışmalarında hendek açılmasının temel amacı, diri fayın kesin yerinin ve deformasyon zonunun genişliğinin belirlenmesi, yer değiştirme miktarı hakkında bilgi edinilmesi, fay üzerinde yüzey kırığı oluşturan büyük depremlerin tekrarlanma aralıklarının ortaya konması ve fay üzerindeki kayma hızının belirlenmesidir. Bu konularda bilgi toplanabilmesi için hendek kazılarının fayın türüne göre planlanması gerekmektedir.

Kazı sonrasında hendek duvarlarına dair tüm (yapısal, sedimentolojik, ve stratigrafik) ayrıntılar çeşitli programların yardımıyla çizilip, uygun formatlarda sunulur. Her bir duvar için log ve foto mozaik görüntüsünün birlikte bulunduğu final şekiller hazırlanır (Şekil 15 A, B). Bu şekilde mozaik ve log aynı ölçekte olur ve üzerlerinde grid bulunur. Sayfa kenarında log açıklamaları ve olay sayısı ve tarihlerini gösteren tektono-stratigrafik kolon kesit bulunur.

Şekil 14. 1939 depremi yüzey kırığı (Reşadiye segmenti) üzerinde Niksar GD'sundaki Köklüce köyü'nde açılan hendeğe ait görüntüler. (A) Bakış yönü kuzeye, (B) Bakış yönü güneye (Emre ve diğerleri, 2012).



Şekil 15. 1939 yüzey kırığı Reşadiye Segmenti üzerinde açılan Köklüce Hendeği doğu duvarı alt kesiminin fotomozaik (A) ve yorumlanmış (B) şekli (Emre ve diğerleri, 2012).

Rapor Formatı

"Planlama ve Yapılaşma Açısından Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi" raporu aşağıdaki formata uygun olarak hazırlanacaktır. Her rapor nüshası ciltli dış kapak, iç kapak, içindekiler listesi, ek listesi ve rapor metninden oluşur ve bir elektronik kopyası sayısal ortamda raporlara eklenir. Rapor metni A4 ebatlı kâğıda 1.5 aralıklı, 12 punto Times New Roman veya 11 punto Arial olacak şekilde yazılmalı, Metin içi şekiller ve ek'ler okunaklı ve anlaşılabilir olmalıdır. Raporun dış ve iç kapakları tanımlanmış (Nurlu, 2017), İÇİNDEKİLER bölümü ise aşağıda sunulmuştur:

1. İnceleme Alanının Tanıtımı
2. Amaç ve Kapsam
3. Kullanılan Yöntemler
4. İnceleme Alanının Jeolojik ve Sismotektonik Değerlendirmesi
5. Arazi Çalışmaları
5.1. Arazi gözlemleri
5.2 Hendek çalışmaları
5.3. Tarihlendirme (Varsa daha önce elde edilen veriler anlatılmalıdır)
6. Değerlendirilme
6.1. Fay Parametre Bulguları
6.2. Yerleşime Uygunluk Amaçlı Yüzey Faylanma Tehlikesi Kuşağı ve Sakınım Bandının Oluşturulması
7. Sonuçlar ve Plana Esas Öneriler
Kaynaklar
Ekler (Harita, Çizim vd.).

İnceleme alanında belirlenen her diri fay boyunca Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı en az 1/5.000 veya plan ölçeğindeki topoğrafik haritalar (hâlihazır paftalar) üzerinde gösterilmelidir. Yapılan araştırmalar sonucunda inceleme alanından geçen bir diri fayın mevcut olup olmadığı açık ve net biçimde ifade edilmeli, yüzey faylanması tehlike kuşağının ve bu kuşak üzerinde yer alacak sakınım bantlarının genişliği hakkında sayısal bilgiler verilmelidir. Sonuçlar; a) verilerin özeti, b) diri fayların yönelimi, geometrisi, fay boyunca net atım miktarı ve gelecekte beklenen atım vb. bilgileri içerecek şekilde konumu, c) verilerin güvenilirliği ve sınırlamaları, şeklinde uygun verilerle desteklenmelidir.

Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı ve Sakınım Bandı

Bir fayın yüzey izi, genellikle basit tek bir doğrusal çizgiden ziyade genişliği birkaç metreden yüzlerce metreye kadar değişebilen bir deformasyon zonu şeklindedir. Fayın türüne bağlı olarak

gelişen deformasyon zonu ***"Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı"***nı ifade eder. Yüzey faylanması deformasyon kuşağının genişliği aynı fay boyunca farklı lokasyonlarda değişkenlik gösterebilir.

Sakınım bandı, yüzey faylanması tehlike kuşağının her iki tarafında, fayın belirlenmesi ve haritalanmasındaki hata payını azaltmak ve güvenli bir mesafe bırakarak, tahmini yüzey faylanması tehlike kuşağının mühendislik yapılarında oluşturacağı deformasyonun etkisini düşürebilmek için oluşturulan bir kuşaktır.

Yatay Konum Hassasiyeti yapılan araştırmalarla genel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:
Ölçüt-1) Hendek çalışmalarının ya da yüzeyden takip edilebilen izlerin jeodezik GPS vasıtasıyla ölçülüp doğrulanmasıyla "yatay konum hassasiyeti" (±0,1m / 1m) olarak kabul edilebilir, bir başka deyişle göz ardı edilebilir,
Ölçüt-2) Fay yapısı belirgin / keskinse ve ortofotolarda açıkça görülebiliyorsa bu yapıların koordinatlandırılmasında doğruluk ± 5 metre olarak kabul edilebilir,
Ölçüt-3) Konumlandırmada belirsizlik, açıkça gözlenememe gibi bir sebepten dolayı hassasiyet problemi varsa, yaklaşık (±10m / ±15m),
Ölçüt-4) Ya da tahmini (±25m / ±30m) olarak haritalanabilir.

Güvenlik mesafesi 20 metre olarak kabul edilir, yatay konum hassasiyeti ise yukarıda bahsedilen fayların tanımlanabilme ölçütleri çerçevesinde fay türlerinin özelliklerine göre (King vd., 2003).

14 Haziran 2014 tarihinde yürürlüğe giren 'Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği'nde planlama hiyerarşisi üst kademeden alt kademeye doğru 1-Mekânsal Strateji Planı, 2-Çevre Düzeni Planı, 3-Nazım İmar Planı ve Uygulama İmar Planı'ndan oluşur. Söz konusu yönetmelik çerçevesinde, her plan kademesinde gerçekleştirilecek jeolojik-jeoteknik etüt ve değerlendirmeler tanımlanmıştır.

Planlamada ve Yapılaşmada Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı ve Sakınım Bandı

Yüzey faylanması tehlike kuşağı ve sakınım bandı olarak belirlenen bu alanların yerleşime uygunluk açısından "Uygun Olmayan Alan" olarak değerlendirilmesi (Şekil 16), bu alanlarda hiçbir şekilde bina ve bina türü yapılar, enerji tesisleri, sanayi tesisleri vb. açısından planlamaya gidilmemelidir. Bu alanlar toplumun faydasına açık park ve gezinti alanları (rekreasyon alanları), günübirlik tesis, pazar yeri, otoparklar olarak değerlendirilmesi önerilir. Ancak, tehlikeli madde içeren bir depolama alanı tesisi, hiçbir şekilde tehlike kuşağında yapılamaz.

Şekil 16. Şekilde yüzey faylanması tehlike kuşağı (sarı renkli alan) ve bu kuşağın etrafında çizilen sakınım bandı (yeşil renkli alan) "uygun olmayan alan" olarak tanımlanmıştır (Nurlu, 2017).

Yapının inşa edileceği alanın mesafesi yüzey faylanması tehlike kuşağının karakteristik özelliklerine göre sakınım bantları bölümünde açıklanmıştır (Nurlu, 2017). Yapının oturacağı zeminin

jeolojik, jeoteknik özellikleri ayrıntılı olarak belirlenmelidir. Daha sonra elde edilen yerel zemin etki katsayıları ile karakteristik özellikleri saptanmış diri fayların ve yüzey faylanması tehlike kuşağının oluşturacağı maksimum deprem büyüklüğü ve beklenen tasarım spektral ivme katsayılarına göre inşaat mühendisleri jeoloji mühendisleri ile koordineli şekilde yapıya özel tasarımlar ortaya koymalıdır. Söz konusu tasarımlar da üç boyutlu olarak hazırlanmalıdır.

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası'nın yaptığı tespitlere göre şu anda 18 kent, 80'ni aşkın ilçe ve 502 köydeki 100.000'in üzerinde bina, 600.000'den fazla insanımız "yüzey faylanması tehlike zonu" üzerinde yaşamaktadır. Dolayısıyla TBMM'ne Fay Yasası olarak tanımlanan bir öneri sunulmuştur. ***"Fay yasası"*** olarak bilinen teklifin temel hedefi, yüzeyde görülen ve aktif olan fayların her iki tarafına oluşturulacak "sakınım bandı içinde" kalan alanda bina ve bina türü yapılaşmaya sınırlama getirilerek yerleşim yerlerindeki afet riskinin, can ve mal kaybının azaltılarak afetlere karşı dayanıklılığın artırılması sürecine katkı vermektir. Önerilen yasanın tartışmaya açılmasında ve onaylanmasında yarar vardır.

TÜRKİYE'NİN DEPREM TEHLİKE HARİTASI

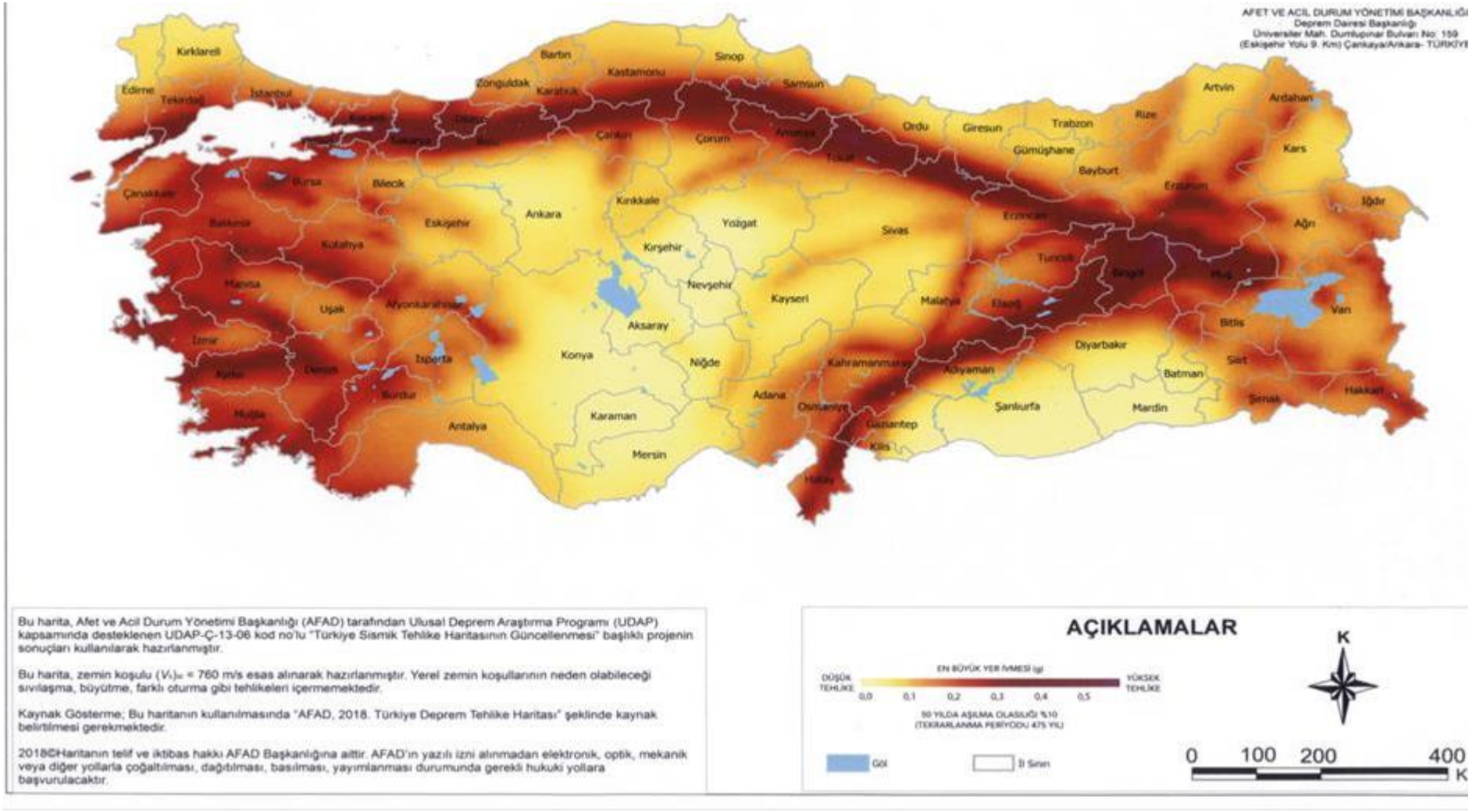
Ülkemizin önemli bir deprem kuşağında yer aldığı uzun zamandan beri bilinmektedir. Deprem ile ilgili yıllardır oldukça önemli önlemler alınıyor olsa da ancak 21 yıl sonra, ülkemizin deprem tehlike haritası güncellendi (Şekil 17).

Yeni haritaya göre, bir bölgede gelecekte, belli zaman dilimlerinde depremlerin olma olasılığı ve bu olasılığa karşılık gelen ivme ile tanımlanmaktadır. ***Deprem ivmesi,*** deprem dalgalarının bir bölge içerisinden geçtiği andaki Hız/Zaman'a göre davranışını, dolayısı ile deprem karşısında zeminin sarsılma miktarını gösterir. İvme ne kadar büyükse yüzeydeki sarsıntı ve buna bağlı olarak hasar da o oranda büyük olacaktır. Pik Zemin İvmesi ise, bir yerde deprem esnasında meydana gelen maksimum yer ivmesine karşılık gelir.

Daha yüzeysel olan eski deprem haritasına göre, Türkiye'nin yeni deprem haritasında tehlike mahalle mahalle gösterilmektedir. Mühendisler bu haritaya göre deprem yükünü hesaplayarak inşaat yapabileceklerini umuyorlar. Oysa haritanın ölçeği 1/.2.000.000'dır. Yani bu ölçekteki bir haritayı esas alarak yere özgü deprem yükünü hesaplamak mümkün değildir. Dolayısıyla Yer'e özgü testlerin yapılmasında yarar vardır. Yani, eski haritada uygulanan deprem derecesinin yerini, yeni haritada uzun yıllardır Amerika ve Avrupa'da uygulanan yerel zemin koşulları dikkate alınmaktadır. 1., 2. derece şeklindeki eski sistemin, yerini ***ivme yöntemi'***ni esas alan yeni sistem aldı. Yeni haritada, ***fay hatları****ndan* sismik kaynaklara yaklaştıkça deprem tehlikesinin arttığı, uzaklaştıkça azaldığı kabul edilmektedir.

18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmî Gazete'nin mükerrer sayısında, Bakanlar Kurulu'nun 2018/11275 sayılı kararı çerçevesinde Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve parametre değerleri hakkındaki yönetmelik yürürlüğe koyulmuştur. Bu yönetmelik, Başbakan Yardımcılığı (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı)'nın 12.1.2018 tarihli yazısı üzerine, 15.5.1959 tarihli ve 7269 sayılı Kanunun 2.maddesine göre Bakanlar Kurulu'nca 22.1.2018 tarihinde kararlaştırılmıştır.

Bu kararın amacı, ülke ölçeğinde deprem tehlikesinin tespit edilmesi ile başta yeni yapılacak binaların deprem tehlikesine karşı tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesi olmak üzere deprem risk azaltma faaliyetlerinde etkin kullanımının sağlanması amacıyla Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve buna ilişkin parametre değerlerinin belirlenmesidir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 1.1.2019 tarihinde yürürlüğe girdi ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nı bağlı olduğu Bakanlık tarafından yürütülecektir. Yönetmeliğin EK'inde 'Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar' belirlenmiştir. EK, 17 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm'de genel hükümler sunulmuştur. Buna göre yönetmeliğin hükümleri, yeni yapılacak binaların deprem etkisi altında tasarımı ile mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirme tasarımı için uygulanır. 2. Bölüm'de ise deprem yer hareketine dair esaslar sunulmuştur. Diğer bölümlerde ise, deprem riski gözetilerek çeşitli yapıların tasarımına dair esaslar ya da özel kurallar değerlendirilmiştir.



Şekil 17. *Türkiye'nin deprem tehlike haritası* (https://tdth.afad.gov.tr).

Afet ve Acil Durum Yüksek Kurulu kararına göre, afet yönetiminin etkinliğinin sağlanmasına katkıda bulunması için Jandarma Entegre Muhabere ve Bilgi Sistemi'nin (JEMUS) altyapısı, AFAD Başkanlığının kullanımına ücretsiz açılmıştır. Bu arada ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının katılımıyla "2018-2023 Afet Yönetimi Strateji ve Eylem Planı" onaylanmıştır.

Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (AFAD) internet sayfasında yayımlanmıştır. Haritayla, mahalle bazında deprem riski de sorgulanabiliyor. Deprem riski için, ODTÜ, Boğaziçi gibi üniversitelerin katkısıyla hazırlanan haritayla, zemin yapısı göz önüne alınmaktadır. Deprem riskini mahalle bazında ortaya koyan harita emlak piyasasını da etkileyecektir.

Oturduğu semtin deprem riskini öğrenmek isteyen vatandaşlar, "https://tdth.afad.gov.tr" adresinden koordinat ve adres bilgilerini girerek sorgulama yaparak öğrenebilir. Ancak, daha güvenilir bilgilere ulaşmak için Yer'e özgü testleri yapılmalıdır.

Deprem tehlikesi, fay parametreleri tarafından belirlenir. Bu parametreler başlıca diri fayın tipi, fay uzunluğu, kayma hızı, en son ürettiği deprem tarihi, deprem yinelenme aralıkları olarak kabul edilmektedir. Haritanın ölçeği 1/.2.000.000'dır. Dolayısıyla 1/5000 ve 1 /1000 ölçekli Mikro-bölgelemede ya da İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Raporlar ve Statik Projelere esas Zemin Etüt Raporları'nda kullanılamaz. Ayrıca tüm ülkeyi kaya zemin olarak kabul eden 1/.2.000.000 ölçekli haritanın daha büyük ölçekli haritalarda ve uygulamalarda kullanılması uygun değildir (Ramazan Demirtaş'ın Facebook sayfasından, 24. 03.2018).

Derecelendirmede ya da bölgelendirmede esas alınan zonlar, yaklaşık 10-20 km olup, bu zonlar içerinde yerel zemin koşullarına bağlı olarak yanal ve düşey yönde değişim gösteren kaya ve zemin ortamlar da yer almaktadır. Örneğin Tuzgölü Fayı'nın geçtiği 0.1-0.2 g olarak sınırlandırılan alanlarda 0.5 g ve üzeri ivmeler üretecek ortamlar olabileceği gibi, 0.4-0.5 g olarak gösterilen alanlarda 0.1 g ve daha düşük ivmeler üretecek kaya ortamlar da yer almaktadır (Ramazan Demirtaş'ın Facebook sayfasından, 24. 03.2018).

Ülkemiz depreme son derece açıktır. Özellikle Doğu Marmara ve İstanbul yakın gelecekte deprem riskini taşımaktadır. Bu bölgeler aynı zamanda ekonomik açıdan ülkenin lokomotifi konumundadır. Dolayısıyla, bu bölgeler başta olmak üzere tüm ülke yerel düzeyde depreme hazır hale getirmek için acil eylem planları hazırlanmalıdır.

DEPREMLERİN YÖNETİMİ: DEPREMLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE ACİL EYLEM PLANLARI

Depremlerin yönetiminde, depremlerin çevresel etkileri ve bu etkilere yönelik eylem planları entegre edilecek şekilde ele alınmalıdır. Depremlerin çevresel etkileri, sadece çevrenin fiziksel unsurları gözetilerek değil, depremin sosyolojik ve psikolojik etkileri de gözetilerek tanımlanmalıdır. Depremler can ve mal kaybına yol açtığı gibi, sağlık alanında da çevresel sorunlar yaratmaktadır.

Depremlerin ardında öncelikle kocaman bir enkaz ortaya çıkmaktadır. Çöken binaların, sanayi kuruluşları ve alt yapılarda oluşan hasarların yarattığı çevre sorunları büyüktür. Örneğin, depremde kanalizasyon hatları da zarar görmekte ve yağmurla birlikte çeşitli mikroorganizmaların da insanların kullandıkları sulara karışarak salgın hastalıklara neden olmaktadır. Örneğin, Doğu Marmara depreminde Tüpraş rafinerisindeki yangın sonucu atmosfere karışan SO_2, NO, çeşitli hidrokarbonlar ve uçucu organik bileşikler gibi hava kirleticiler çevresel değerler ve insan sağlığı için büyük bir tehlike oluşturmuştur. Körfez sularına yayılan petrolün sıyrılarak toplanması ve yayılması ile ortaya çıkan kirliliğin önlenmesi gerekir.

Çeşitli sanayi kuruluşlarının atık depolama alanında ya da arıtma sistemlerinde olabilecek herhangi bir hasar, çevrenin tümüyle kirlenmesine de yol açar. Hastanelerimizin röntgen servislerinden çıkan radyoaktif atıklarla beraber sanayi kuruluşlarının tehlikeli ve zehirli atıklarının çevreye zarar vermemesi için Acil Eylem Planları yapılmalıdır. Çünkü kirlenmiş bir çevrenin temizlenmesi önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Depremlerin can ve mal kaybına olan etkilerinin yanı sıra, ülkenin önemli sanayi kuruluşlarına dolayısıyla tüm ekonomisine olan etkileri gözetildiğinde sağlıklı bir örgütlenmeye olan gereksinim de açıkça görülmektedir. Yıllardır bilim ve teknolojiyi dışlayan yerel ve merkezi yönetimler, depremle beraber devlet sisteminin çökmesine neden olmuşlardır. Meslek kuruluşlarının ve üniversitelerin hazırladığı raporlar genellikle anlaşılamamış ya da göz ardı edilmiştir. Ancak yetkililer artık yerleşim alanıyla ilgili kararları, kentleşme ve sanayileşme konularında kararlar alırken ortaya konulan raporları anlamak ve gereğini yapmak zorunda olduklarını da göz ardı etmemelidirler.

Deprem, oluşumu bilimsel olarak açıklanabilen ve oluştuğu zaman çevreye çok büyük zararlar veren bir doğa olayıdır. Depremlerin yerini, zamanını ve büyüklüğünü önceden kestirmek üzere bir yüzyıla yakın zamandan beri çalışmalar sürmesine karşın, ne yazık ki bu konuda henüz bir sonuca ulaşılamamıştır. Ama gelecekte bu doğa olayının tüm gizlerinin ortaya konulacağına ve depremlerin yeri ve zamanını önceden kestirmek üzere yapılan çalışmaların bir sonuca ulaşacağına kuşku duyulmamalıdır. Depremleri, Tanrı'nın insanları cezalandırmak üzere ortaya koyduğu bir eylem olarak algılamak bilime inanmayan, beceriksiz ve zavallı kimselerin aczini yansıtır.

Depremlerden korunmak ve zararlarını en aza indirmek üzere uygulanan acil eylem planlarına ilişkin çalışmaları depremden önce, deprem sırasında ve deprem sonrasında olmak üzere üç bölümde irdelemek yararlı olacaktır. Bu konuda AFAD (2022) tarafından yapılan (https://bit.ly/deprem-ani ve https://www.afad.gov.tr/afadem/deprem) öneriler değerlidir. Aşağıda bazı hususlar irdelenmiştir.

Depremden önce yapılması gereken çalışmalar

1- Öncelikle toplumun deprem konusunda eğitilmesi gerekir. Toplum bireylerine depremle ilgili temel konularda ilk ve orta eğitim düzeyinde eğitim ve öğretim verilmelidir. Bu konuda verilecek eğitimde deprem olgusu, nedenleri, ülkedeki dağılımı, etkileri, hasarları artıran nedenler, depreme karşı can ve mal sigortası gibi konular işlenmeli ve toplum depreme karşı bilinçlendirilmelidir. İlköğretim çatısı içinde Hayat Bilgisi derslerinde diğer doğa kaynaklı afetlerle beraber depremler sunulmalı, ortaöğretimde yerbilimlerine yönelik programlar konulmalı ve programlarda doğal afetlerin türleri, oluşum mekanizmaları ve yaptığı hasarlar ve korunmaya yönelik önlemler işlenmelidir. Eğitim, ayrıca kültürel hazırlıkla ilgili bilgilendirme içermelidir. Yani, eğitimde yardımlardan pay kapmanın, ihtiyaç fazlası yardımları stoklamanın, daha iyi bir çadıra erişme çabalarının, yağmanın ve yaşanması olası salgınların da depremin yönetimini aksatacağı konularına da yer verilmelidir.

2- Günümüzde fay hattı üzerinde ne kadar sağlam bir yapı yaparsanız yapın, depremde yıkılır. Yerkabuğunu öteleyebilen bir güce karşı durmak olası değildir. Onun için yapılacak en etkin girişim, yerleşim birimlerini faylardan daha uzak bir yere, yani uygun yer seçimine öncelik vermektir. Uygun yer seçimi de doğrudan jeoloji mühendisliğinin uğraşı alanıdır.

Jeolojinin ve daha geniş anlamıyla Yerbilimlerinin uygulama alanı jeoloji mühendisliğidir. Jeoloji mühendisliğinin yer seçimine ilişkin bilimsel kazanımlarından yararlanmak ve ilgili yasalara önemli yapılar için bir jeolojik inceleme yapma zorunluluğu konulmaktadır. Diri fay haritaları sürekli güncelleştirilmeli ve diri fay yakın alanlara inşaat izni verilmemelidir.

Yüksek binalar için zemin incelemesi zorunlu kılınmalıdır. Gevşek zeminlerde inşaat yapımından kaçınılmalı, çok zorunlu ise az katlı küçük yapılara izin verilmelidir. Tüm yerleşim birimleri için yeni bir master planı yapılmalı ve "Yeni Yerleşim ve Çevre Planlaması Yasası" bir an önce çıkarılmalıdır.

3- Tüm yapılar ve özellikle sanayi tesislerinin tasarımlarında deprem dalgaları titreşimlerinin yıkıcı etkileri gözetilmelidir. Özellikle birinci derecede deprem bölgelerinde yer alan büyük sanayi kuruluşları yeniden gözden geçirilmeli, en azından acil durumda olanların yerleri değiştirilmelidir.

İnşaat Müteahhitliği Hizmetleri ile İhale Yasası yeniden gözden geçirilerek gerekli yasal düzenlemeler yapılmalı, her isteyenin müteahhit olması durumu ortadan kaldırılmalı ve belli bir eğitim zorunluluğu getirilmelidir. Yapılarda kalite denetimini sağlamak üzere bir an önce yasa ve yönetmeliklerde gerekli değişiklikler yapılmalıdır.

İmar Yasası ve bunlarla ilgili yönetmelikler yeniden düzenlenmeli ve imar affına son verilmelidir. Yapıların denetimi için gerekli yönetmelikler hazırlanmalı ve çeşitli dallarda eğitim görmüş mühendislerin ilgi alanları net belirlenmelidir. İmza yetkisi belli bir konuda uzmanlaşmış (en azından yüksek lisans ya da doktora yapmış) mühendislere verilmelidir.

Nüfusu 50 binin üzerinde olan tüm belediyelerin özellikle jeoloji yada çevre konularında eğitim görmüş mühendisleri kadrolarına alma zorunluluğu getirilmelidir. Aksi halde binaların yapımı, yerleşime açılacak alanların seçimi, sanayinin çevreye olan etkilerinin denetlenmesi gibi işlerin belediyelerden alınarak bu konuda uzmanlığı olan elemanlardan oluşan kurullara verilmelidir.

Depremden önce, ya da herhangi bir afetten önce tedbir olarak afet öncesi hazırlık kapsamında bir ***acil durum çantası*** hazırlanmalıdır. AFAD'da göre böyle bir çantadada bulunması gereken malzemeler aşağıda sunulmuştur (https://www.haberturk.com/afad-a-gore-deprem-cantasinda-bulundurulmasi-gerekenler-2525716; 27 Eylül 2019, saat 10.15):

Gıda yüksek kalorili, vitamin ve karbonhidrat içeren, su kaybını önleyen ve dayanıklı (çabuk bozulmayan) gıdalar (Konserve, kuru meyveler, tahinn–pekmez, meyve suyu, vb.).

Önemli belge fotokopileri kimlik kartları (nüfus cüzdanı, ehliyet vb.) tapu, sigorta, ruhsat belgeler zorunlu deprem poliçesi, diplomalar, pasaport, banka cüzdanı, evcil hayvan sağlık karnesi vb.

Diğer giyecekler, iç çamaşırı, çorap, yağmurluk, iklime uygun giysiler, su (her bir aile üyesi düşünülerek yeterli içme suyu alınmalı).

Hiyjen malzemeler sabun ve dezenfektanlar, diş fırçası ve macunu, ıslak mendil, tuvalet kâğıdı, hiyjen ped

Dğer malzemeler ilk yardım çantası, uyku tulumu ya da battaniye, çakı, düdük, küçük makas, kâğıt, kalem, pil, radyo, el feneri ve yedek piller (dayanıklı/uzun ömürlü pil seçilmeli)

Deprem sırasında yapılması gereken çalışmalar

Deprem genel olarak 30 saniye ile bir dakika gibi kısa bir sürede meydana gelmektedir. Bu kadar kısa sürede deprem bilinci ve deprem deneyimi olmayan bir kimse hiçbir şey yapamaz. Böyle bir doğal afet elbette tüm doğayı sarstığı gibi insanın bilincini de sarsar. Deprem deneyimi yaşamamış ve o korkunç anı görmemiş bir insan sadece her şeyin bitmesini bekler. 30 saniye ile bir dakika arasında da insanın yapabileceği şeyler sınırlıda olsa vardır.

Daha önceden acil eylem planın parçası olarak yapılabilir işler: Evimizde pilli el feneri ve ilk yardım çantası bulundurma alışkanlığını ve ilk yardımın nasıl yapılacağını aile bireyleri olarak bilincimize kazımalıyız. Evimizde neyin nerede olduğunu herkes bilmek zorundadır. Bir nesne gerektiği zaman saatlerce arayabilme şansımız yoktur. Evimizde elektrik sigortasının, su ve gaz vanalarının yerlerini ve bunların nasıl kapatılabileceğini öğrenmek zorundayız. Vanaların kapatılabilmesi için gerekli anahtarlar, vanaya yakın bir yerde bulundurulmalıdır.

Okulda yöneticiler, öğretmenler ve öğrenciler büyük bir topluluk oluşturur. Deprem anlarında büyük bir panik meydana gelir. Oysa kimin ne yapacağını bilmesi durumunda paniğin yapacağı hasarlar da önlenebilir. Yöneticiler en azından öğretmenlerle ve öğrencilerle birlikte deprem anının kısalığını gözeterek, korunma yöntemleri konusunda eğitici uygulamalar yapmalıdır. Örneğin deprem anında masa aralarına girerken ya da daha dayanıklı gereçlerin olduğu bir yere konumlanırken

özellikle baş kısmının korunması gerektiği herkese kavratılmalıdır. Vücudun başka bir bölümü ezilirse zamanla iyileşebilir. Fakat başın ezilmesi durumda kurtulma şansı yoktur.

İş yerlerinde ise acil durum planlarına göre size düşen bir sorumluluk olup olmadığını ve emniyeti sağlamak üzere nelerin yapılması gerektiğini mutlaka birey olarak hepimiz öğrenmeliyiz.

Evde, okulda ve işyerlerinde yüksek raflara ağır cisimler konulmamalıdır. Raflar, beyaz eşya, tüp ve ağır mobilyayı döşemeye ya da duvara vidalarla tespit edilmelidir. Özellikle büyük depremlerde bu tip eşyalar uçarcasına hareket eder ve çarpmalar nedeniyle can kaybına yol açar. Elektrik direklerinden ve tellerinden uzak durunuz.

Deprem anında yapılabilir işler: Deprem anında bulunduğumuz yere göre bir planımız olmalıdır (AFAD, 2022). Her şeyden evvel soğukkanlı olmak gerekir.

Çok katlı binada ve evde isek binadan dışarı kaçmaya çalışmak çok yersizdir. Çünkü buna zaman yok. Yaralanma ve ölümlerin çoğu bina dışına kaçarken ya da binaya girerken meydana gelmektedir. Binanın bir köşesinde ve metalik bir eşyanın kenarına ya da altına sığınınız. Özellikle başımızın korunması gerektiği yukarıda gerekçesiyle açıklanmıştır. Pencere ve balkonlardan uzak durunuz. Dışarıda bulunuyorsanız dışarıda kalınız ve binalardan düşecek cisimlerden korunacak şekilde uzak durunuz.

Arabada bulunuyorsanız, geçitlerden, köprülerden uzak bir yerde arabanızı durdurunuz ve deprem sarsıntısı sona erinceye kadar içinden çıkmayınız. Okul, cami, konferans salonu gibi toplu mekânlarda iseniz, bulunduğunuz yere göre, paniğe kapılmadan kubbe, geniş tavan ve avize gibi asılı cisimlerinde altlarından kaçarak yan mekânlara ve kolonlara yakın duvar kenarlarına sığınınız.

Dünyanın en tecrübeli kurtarma birimi Amerikan Uluslararası Kurtarma ekibinin kurtarma şefi ve afet olayları müdürü, Doug Copp'a kulak verelim. Bu bilgiler, deneyimlerin ürünü olup, bir deprem anında hayat kurtarabilecek niteliktedir:

1996'da benim hayatta kalma yöntemimin geçerliliğini ortaya koyan bir film yaptık. Türk hükümeti, İstanbul belediyesi, İstanbul Üniversitesi, Case yapımcılık ve ARTI, bu pratik ve bilimsel testin filme alınmasında iş birliği yapıldı.

İçinde 20 maket (mannequis) olan bir okulu ve evi yıktık. Daha önce, depremden korunmak için on makete "çömel ve korun" yöntemi, 10 makete de "hayat üçgeni" yöntemi önerilmişti. Tasarlanmış yıkımdan sonra görüntüleri filme almak ve sonuçları belgelemek için enkazı geçerek binaya girdik. Bina yıkım koşullarında, doğrudan gözlemlenebilen ve hayatta kalma tekniklerini uyguladığım film "çömelip korunan/saklanan" kişiler için hayatta kalma şansının sıfır olduğunu ortaya koydu.

Hayat üçgeni yöntemini kullananlar için hayatta kalabilme şansı yaklaşık olarak % 100 oldu.

Bu film, tüm Dünya TV'lerinin programlarında izlendi. Enkazına girdiğim ilk bina 1985 Mexico City depreminde bir okuldu. Bütün çocuklar sıralarının altındaydı. Her bir çocuk kemiklerinin kalınlığına kadar ezilmişlerdi. Sıralarının yanındaki koridorlara uzanmış olsalardı hayatta kalmış olabilirlerdi. Bu "ayıptı, gereksizdi" ve çocukların neden koridorlarda (sıraların arasında) olmadığını merak ettim. O an, çocuklara bir şeyin/eşyanın altına saklanmalarının söylendiğini bilmiyordum. Basitçe ifade edilirse, binalar yıkılırken, objelerin üzerine düşen tavan ağırlığı ya da içerideki mobilyalar bu nesnelere çarparken yanlarında bir yer, boşluk bırakırlar. Bu boşluk benim "hayat üçgeni" dediğim alandır. Nesne ne kadar büyük ve ne kadar dayanıklı olursa daha az ezilecektir. Nesneler ne kadar az ezilirse boşluk ve bu boşluğu kullanan kişinin yaralanmama olasılığı o kadar artar.

DOUG COPP'un deprem anı için diğer önerileri aşağıda sunulmuştur:

1. "Binalar çökerken basitçe "çömelen ve korunan" kişiler istisnasız her defasında ezilerek ölüyorlar. Masa, araba gibi nesnelerin altına giren kişiler her zaman ezilirler.
2. Kediler, köpekler ve bebeklerin hepsi doğal bir şekilde dizlerini ana rahmindeki gibi karınlarına doğru çekerek kıvrılırlar. Deprem anında sizde bu şekilde kıvrılmalısınız. Bu doğal bir güvenlik ve hayatta kalma içgüdüsüdür. Daha küçük bir boşlukta hayatta kalabilirsiniz. Hafifçe ezilecek ama yanında boşluk yaratacak bir kanepenin, geniş büyük bir eşyanın yanında dur.
3. Ahşap evler deprem anındaki en güvenli yapılardır. Sebebi basittir; ahşap esnektir ve depremin zorlamasıyla hareket eder. Eğer ahşap bina çökerse geniş yaşam boşlukları oluşur. Ayrıca, ahşap binalar daha az yoğunlukta yıkılış ağırlığına sahiptir. Tuğla binalar ayrı tuğla parçalarına ayrılacaklardır. Tuğlalar birçok yaralanmalara neden olacaktır, ama (beton) bloklardan daha az ezilmiş vücutlar yaratırlar.
4. Eğer gece yataktayken deprem olursa, basitçe yuvarlanarak yataktan düşün. Yatağın çevresinde güvenli bir boşluk oluşacaktır. Oteller müşterilerine deprem anında yatakların yanında yere uzanmalarını salık veren bir uyarı notunu odalarda her kapının arkasına asarlarsa depremlerde çok büyük hayatta kalma oranlarını sağlayabilirler.
5. Televizyon izlerken deprem olursa ve kolayca kapıdan veya pencereden dışarı kaçmak mümkün değilse, kanepe veya büyük bir koltuğun/sandalyenin yanında cenin pozisyonunda kıvrılarak yere uzanın.
6. Bina çökerken kapı kirişlerinin altına geçen herkes ölür. Eğer kapı kirişlerinin altına geçerseniz ve kapı kirişi öne veya arkaya doğru düşürse inen tavanın altında ezilirsiniz. Eğer kapı kirişi yana doğru yıkılırsa ikiye bölünürsünüz. Her iki durumda da ölürsünüz!
7. Hiçbir zaman merdivenlere gitmeyin/yönelmeyin. Merdivenler (ana binadan) farklı bir "frekans aralığına" sahiptir; ana binadan bağımsız/ayrı olarak sarsılırlar. Merdivenler ve binanın geri kalanı devamlı olarak birbirlerine çarparlar, ta ki merdivenlerin yıkılışı gerçekleşene kadar. Merdivenlere ulaşan insanlar basamaklar yüzünden yaralanırlar. Korkunç şekilde sakatlanırlar. Bina yıkılmasa dahi, merdivenlerden uzak durun. Merdivenler binanın hasar görmesi en muhtemel kısmıdır. Depremde yıkılmamış olsa dahi, merdivenler bağırarak kaçmaya çalışan insanların aşırı yüklenmesi ile çökebilir. Merdivenler binanın geri kalan kısmı zarar görmemiş olsa dahi her zaman güvenlik açısından denetimden geçirilmelidir.
8. Binanın dış duvarlarına yakın yerlerde durun, mümkünse dışına çıkın. Binanın iç kısımlarındansa dış kısımlarına yakın yerlerde olmak çok daha iyidir. Binanın dış çevresinden ne kadar içeride olursanız, çıkış yolunuzun kapanma ihtimali o kadar artacaktır.
9. Aynen Nimitz yolundaki katlar arasındaki (yıkılan) blokların meydana getirdiği gibi, deprem anında üst yolun yıkılmasıyla ezilen araçların içinde bulunan insanlar ezilirler. San Fransisco depreminin kurbanlarının hepsi araçlarının içindeydiler. Hepsi öldü. Araçlarının dışına çıkıp, aracın yanına uzanıp veya otururak kolaylıkla hayatta kalabilirlerdi. Ölen herkes eğer araçlarından çıkıp, araçlarının yanına oturabilseler veya uzanabilselerdi yaşıyor olabilirdi. Ezilen bütün araçların yanında-kolonların doğrudan üzerine düştüğü araçlar hariç, yaklaşık 1 metre yükseklikte boşluklar oluşmuştu.
10. Enkaz halindeki gazete ofislerini ve çok miktarda kâğıdın olduğu ofisleri dolaşırken kâğıdın sıkışmadığını/ezilmediğini keşfettim. Kâğıt yığınlarının/kümelerinin etrafında geniş boşluklar bulunur/oluşur.

Depremden sonra yapılması gereken çalışmalar

Tüm doğal afetler için Acil Eylem Planları hazırlanmalıdır. Acil eylem planının ilk aşaması yerel bir kriz masasının oluşturulmasıdır. Yerel kriz masası, yerel en yetkili mülki amirin başkanlığında ve başta belediye, sağlık örgütleri ve yerel sivil toplum örgütlerinin en yetkili amirlerinin yanı sıra, afetin idari bilimsel ve teknik ayrıntılarını değerlendirebilen uzmanlardan kurulu olması gerekir. Kriz masasını

oluşturanlar konum ve birikimlerine ve hemen bir iş bölümü yaparak zaman geçirmeden kurtarma çalışmalarına başlamalıdır.

Öte yandan kendinizin ve çevrenizdeki insanların yaralanıp yaralanmadığı kontrol edilmeli, gereksinim varsa ilkyardıma başlanmalıdır. Bu çaba ilkyardım görevlilerini olay yerine ulaşıncaya kadar sürmelidir. Su, gaz ve elektrik tesisatı denetlenmeli ve hasar varsa vanalar yada sigortalar hemen kapatılmalıdır. Gaz kaçakları varsa asla kibrit ya da çakmak kullanılmamalı ve elektrik düğmeleri açılıp kapatılmamalıdır. En azından gaz vanası kapatılıp sorumlular haberdar edilmelidir.

Çok gerekli olmadıkça telefon kullanılmamalı ve hatların daha acil işler için kullanılabilmesine yardımcı olunmalıdır. Kanalizasyon ve atık su tesisatlarının hasar görüp görmediği denetlenmeli ve bu konuda ortaya çıkan sorunlar en kısa sürede çözülmelidir. Gelen gönüllü yardımların en etkin biçimde amacına ulaşması için (iş bölümü çerçevesinde) oldukça özen gösterilmelidir. Yardımların akışı kolaylaştırılmalıdır. Hasar görmüş binalardan uzak durmalı ve yardımlaşma sırasında kırık cam, döküntü, çivi gibi tehlikelerden korunmak için bot ve eldiven giyilmelidir. Görevli ve sorumlu olmadığınız takdirde hasar bölgesine ve hasarlı binalara girilmemelidir. Ana şoku izleyen art sarsıntıların yeni hasarlara neden olabileceğini unutulmamalı ve yeni afetlere karşı hazırlıklı olunmalıdır.

Depremin odağının denizde olması durumunda tsunami ya da deniz dalgası, depremin sarsıntılarının sönmesinden uzunca bir süre sonra bile sahili basabilir. Onun için böyle bölgelerde deprem olduğunda plajlardan ve kıyılardan uzak durulmalıdır. Sorumluların emirlerine uyarak binaları boşaltılmalı ve binalar boşaltılırken asansörler yerine merdivenler kullanılmalıdır. Fakat merdivenlerin de hasar görebileceği ve böyle durumlarda paniğin deprem kadar tehlikeli olabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca, yerel eylem planı sürdürülürken, afetin büyüklüğüne göre gerektiğinde Kriz Masası'na bağlanıp, afetin idari, bilimsel ve teknik sorunlarını çözmek üzere olay yerinde çalışmalarını sürdüren ekiplerin koordinasyonu sağlanmalıdır. Eylem Planı, sorunları çözme ve yeni sorunlar yaratmamak üzere yapılandırılmalıdır.

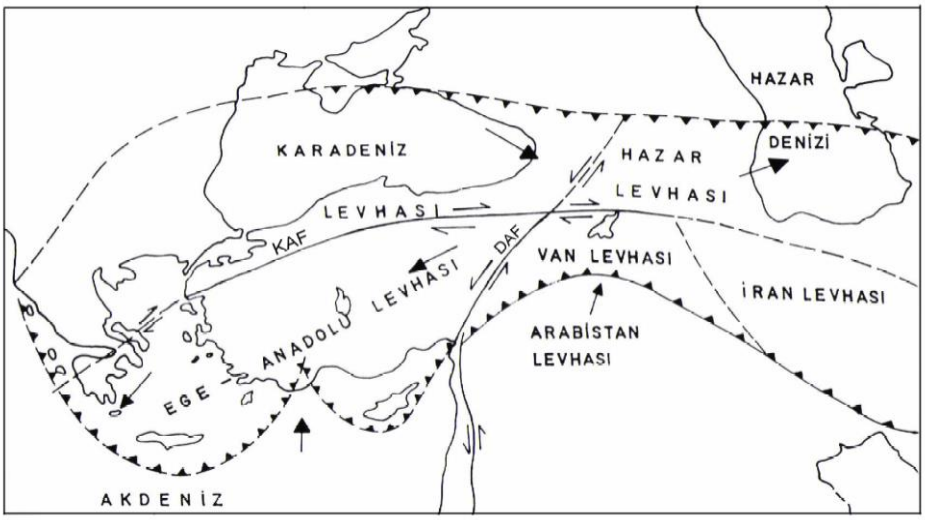
TÜRKİYE'NİN DEPREMSELLİĞİ VE GÜNCEL POLİTİKALAR

Depremlerin dünya üzerindeki dağılımını yansıtan kuşaklar irdelendiğinde, Türkiye'nin bir deprem kuşağında yer aldığı görülür. Bu kuşak, Alp-Himalaya dağoluşum sisteminin bir parçasıdır. Alp-Himalaya Sistemi, genel olarak kuzeyde yer alan Avrasya ile güneyde yer alan Gondowana kıtalarının çarpışmasıyla oluşmuştur. On milyonlarca yıl önce gerçekleşen çarpışma sonucunda Türkiye'nin de içinde yer aldığı Doğu Akdeniz Bölgesi yeni küçük levhacıklara bölünmüştür. Bu levhacıklardan biri de Anadolu levhası olup kuzeyde Kuzey Anadolu Fayı (KAF), güneydoğuda ise Doğu Anadolu Fayı (DAF) ile diğer levhalardan ayrılmakta ve bu levhacık yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bir sıkışmanın güdümünde batıya doğru hareket etmektedir (Şekil 18).

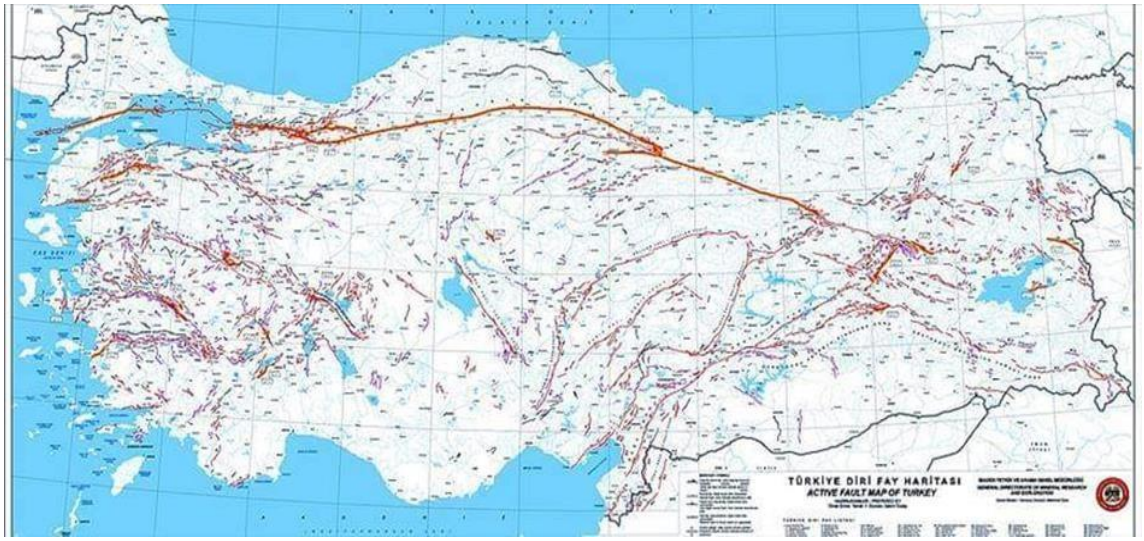
KAF sağ yönlü, DAF sol yönlü devinen faylar olup, Karlıova'da birleşmektedirler. Şekil 19'da ise Türkiye'nin önemli diri fayları görülmektedir. Burada sunulan yapıların dağılımına bakıldığında Türkiye'nin deprem açısından son derece riskli bir yerde bulunduğu kolaylıkla söylenebilir. Ancak, ***MTA'nın diri fay haritasının, yüzeydeki fay hatlarına ve morfolojiye dayalı olarak hazırlandığı unutulmamalıdır. Bu fayların yerin altındaki uzantıları da jeofizik yöntemlerle tanımlanmalıdır. Sakınım bantları da buna göre gözden geçirilmelidir.***

Türkiye, levha hareketlerinin yoğun olduğu bir bölgede yer almakta olup tipik bir deprem ülkesidir. Geçmişte olduğu gibi gelecekte de depremlerin oluşması kaçınılmaz bir olgudur. Türkiye'de 1900- 1996 yılları arasında büyüklüğü 5 ile 8 arasında değişen 143 adet deprem kaydedilmiş ve yaklaşık 70 bin kişi yaşamını yitirmiştir. Diğer önemli bir nokta da ülke nüfusunun % 95'i, sanayi kuruluşlarının % 75'i, barajların ise % 50'si birinci ya da ikinci derecede deprem bölgeleri içinde yer almaktadır.

Diğer taraftan Türkiye'de her yıl 1,5 adet orta büyüklükte, her iki yılda bir yıkıcı depremler olmaktadır. Bu genel açıklamalardan, Türkiye'nin yadsınamayacak ölçüde deprem tehdidi altında olduğu açıkça görülmektedir. Türkiye bu konuda yalnız değildir. Örneğin ABD, Meksika, Çin, Japonya, Filipinler, Yunanistan ve İtalya gibi ülkelerde aynı sorunu yaşamaktadır. Fakat bu ülkelerin depremlerin yıkıcı etkilerini en aza indirgemek üzere yaptıkları çalışmalar göz önüne alındığında, Türkiye'nin işin henüz başında olduğu ve aşması gereken uzun bir yol bulunduğu çarpıcı bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 18. Türkiye'nin ve komşu ülkelerin yeni tektonik döneme ait küçük levhaları veya levhacıkları (Mc Kenzie, 1972; Alptekin, 1973; Dewey ve diğerleri, 1973'ten alınmıştır).



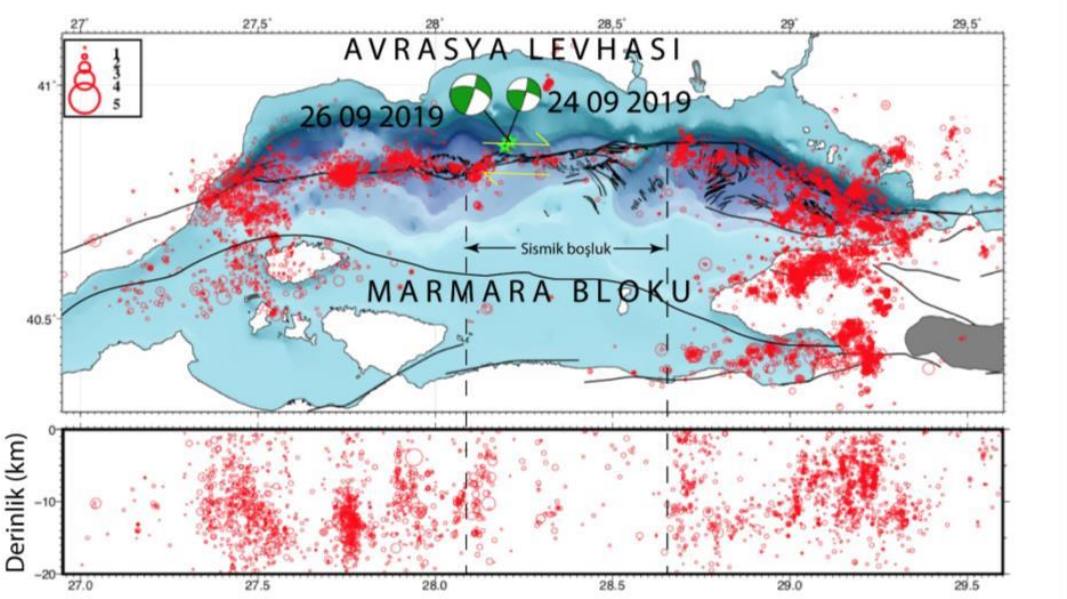
Şekil 19. Türkiye'nin önemli diri fayları (MTA, 2019).

Ülke, böylesine önemli bir deprem gerçeği ışığında zaman yitirmeden tüm politikalarını gözden geçirmelidir. Deprem sorununun kuramsal yönlerini tartışmak, ya da gereksiz bir biçimde birbirini suçlamak, hele böyle bir gerçeğin çözümlerini aramak yerine, ortaya çıkan sorunları bir sömürü aracı

olarak ya da bu gerçeği bir politika malzemesi olarak kullanmak son derece yanlıştır. Herkes sorumluluğu kendinde aramalı ve sorunların çözümüne ya da hafifletilmesine katkıda bulunmalıdır.

Çok daha kötü koşullarda ulusal kurtuluş mücadelesi vermiş olan bir neslin çocukları olarak, bu tür felaketlerin de aşabileceğine güven duyulmalıdır. Tüm tarih boyunca, felaketler halkımızı hep birbirine yaklaştırmış ve karşılıklı güveni tazelemiştir. Her şeyden evvel politikacısıyla, bilim adamıyla, mühendisiyle ve yurttaşıyla bu sorun tartışılırken aynı dil konuşulmalı ve yapılanların daha iyi yapmaya yönelmek üzere bir çabaya girilmelidir.

Doğu Marmara Depremi'nden sonra Marmara Denizi tabanı ayrıntılı incelenmiştir (Şekil, 20). İstanbul'da 26 Eylül 2019'da yerel saat ile 14:00 civarında meydana gelen 5,7 büyüklüğündeki depremin ardından yapılan jeoloji, jeodezi ve sismoloji çalışmaları Marmara Fayı Kumburgaz segmentinin çok uzun bir süredir kırılmadığı, kilitli olduğu ve Marmara Denizi'nde olması beklenen depremin de bu seğmentte olabileceği tahmin edilmektedir (İTÜ, 2019).



Şekil, 20. Marmara Denizi aktif fay haritası (İTÜ, 2019). Kırmızı yerler deprem aktivitesini göstermektedir. 24 Eylül ve 26 Eylül 2019 tarihlerinde meydana gelen depremlerin fay odak çözümleri yeşil-beyaz toplarla gösterilmiştir. Deprem verileri, B.Ü. Kandilli Rasathanesi'nden alınmıştır.

Doğu Marmara Depremi bir gerçeği ortaya koydu. Ülkemizin sanayinin yeri için doğru bir seçimin yapılmadığı anlaşılmıştır. Üstelik nüfusun büyük bir bölümü de sanayinin olduğu Doğu Marmara bölgesinde yoğunlaştı. Özellikle güncel politikalar üretilirken bu gerçek gözetilmelidir. Sanayinin tekrar aynı bölgede yapılandırılması yerine başka yerlere, örneğin Konya, Sivas ve Güneydoğu gibi deprem riski taşımayan yerlere kaydırılmalıdır. Böyle bir seçim, hem nüfusun gereksiz bir biçimde bir yerde yoğunlaşmadan dağılımını kolaylaştıracak, hem de geri kalmış olan yörelerin kalkınmasını sağlayacak, birliğin ve bütünlüğün pekişmesine katkı sağlayacaktır.

Öte yandan, doğa kaynaklı afetlerin ve özellikle depremin bir de yasal boyutu vardır. Hukuka bağlı idare anlayışının egemen olduğu, temel insan haklarına dayanan, hukuk devleti ilkesinin geçerli olduğu ülkelerde, ***"deprem vergisi"*** adı altında özel vergi alınmasa da başta yaşam ve mülkiyet hakkı olmak üzere insan haklarının korunmasında Devletin pozitif yükümlülüğü vardır. Ancak, 17.08.1999 Kocaeli-Gölcük depreminden sonra 4481 sayılı yasa ile toplanmaya başlanan ve halk arasında "deprem vergisi" olarak adlandırılan "Özel İletişim Vergisi" koyulmuştur. Ancak, bu verginin depremlerin yıkıcı

etkilerinin en aza indirilmesi ve yaşam kayıplarının önlenmesinde etkin olarak kullanılıp kullanılmadığı, Devletin pozitif edim yükümlülüğünü yerine getirip getirmediği yoğun olarak tartışılmaktadır. Depremlerin Türkiye'nin gerçeği olduğu unutulmadan, olası büyük depremlerde yaşanması olası can ve mal kayıplarını önlemek amacıyla her yıl merkezi ve yerel yönetim bütçelerine yeterli ödeneklerin koyularak, koordineli hazırlıkların tamamlanması tüm yurttaşlarımızın yararına olacaktır (Tekin, 2020).

85 yıllık Cumhuriyetin kazanımları elbette küçümsenemez. Ne var ki, bu 85 yıllık sürede daha doğru ve yapıcı politikalar üretilseydi, hiç kuşkusuz ülkenin bugünkü çehresi de bambaşka olurdu. Politikacısının bilim adamını, bilim adamının halkını anlamakta güçlük çektiği, okulda anlatılanların camide anlatılanları, camide anlatılanların okulda anlatılanları yadsıdığı bir ortamda daha fazlası yapılamazdı. Onun için önerilerin başına da eğitimi koyduk. Sağlıklı ve sorgulayıcı bir eğitim, aynı dili konuşmanın biricik aracıdır.

SONUÇLAR

Türkiye'de imar planlarına, inşaat ruhsatına aykırı biçimde yapılmış yüz binlerce, milyonlarca yapı vardır. Bu yapıların "Kullanma izni" olmadığı için pek çok mülkiyet sorunu ve çok çeşitli yönetim sorunu ortaya çıkmaktadır. Devlet, bu sorunu da "affederek" çözmeyi amaçladı, üstelik bu "affetme" ile ciddi bir kaynak da sağladı.

Mevcut siyesi erkin ***"imar barışı"*** dediği, aslında düpedüz "imar affı" olan düzenleme, 18 Mayıs 2018 tarihinde Resmî Gazetede yayımlanan 7143 sayılı Yasa'nın 16. maddesi ile somutlaştı. İmar affı ile ruhsata aykırı yapılmış eklentiler ***"bedeli karşılığı"*** affedildi. Ancak, yapının statiğine ilişkin ***"olabilecek sorunları"*** ise hiç dikkate alınmadı. Yasanın bir cümlesinde: ***"Yapının depreme dayanıklılığı hususu malikin sorumluluğundadır!"*** demektedir. Yani devlet "Senin yapını para karşılığı affederim, ama depremde yıkılırsa karışmam!" demektedir.

Aslında, ülkemizde doğa kaynaklı tüm afetlere dair bilgi birikimi ve söz konusu birikime sahip uzmanlar vardır. Özellikle her deprem olduğunda, kapsamlı uyarıları yapan deprem risklerine vakıf bilim insanlarımız elinden geleni yapmaktadır. Fakat bunca afete, uyarıya ve ortaya çıkan bilimsel birikime karşın Türkiye'nin henüz ***üzerinde uzlaşılmış ve toplumsal olarak görüş birliği sağlanmış depreme dair bir strateji yoktur.*** Deprem gerçekliğini anlama ve buna göre gereken önlemleri almak için önce sorunu algılama, sonrasında da çözüm bulma konusunda kararlı olmayı gerektirmektedir. Depremin bir doğa olayı ve merkezinde insan yaşamı olduğunu anlamak gerekir. Bu ülkenin insanları, özellikle 1950'li yıllardan sonra uygulanan politikalarla günü birlik yaşayan, bireyci ve arabesk kültürü içeren yaşam tarzıyla karşı karşıya bırakılmışlardır. Bu durumun ortaya çıkmasında en büyük sorumluluk aydınlarımızındır. Dolayısıyla "Ülkenin geleceğinde ***yönetimde belirleyici olan*** aydın birikimi mi yetersiz?" sorusunun yanıtı bulunmadan kapsamlı çözümlere ulaşmak mümkün görülmemektedir.

Deprem olduktan sonra, çoğu kez planlamada yapılan hatalar, göz ardı edilir. Oysa, planlamadan sorumlu tüm yetkililer ortaya çıkarılıp yargılanmalıdır. Yapı üretim ve denetim süreçlerini tanımlayan yasa ve yönetmelikler bunun için vardır. Aksi halde tüm yasal belgeler sadece yazılı bilgiler olarak kâğıt üstünde kalır. Hakkıyla yerine getirilmeyen sorumluluklar nedeniyle, bir sonraki depremde de ülkemiz insanı yaşamını yitirmeye devam edecektir.

Acil olarak yapılması gereken, siyasi erkin iradesini ortaya koyması, üniversiteleri, meslek odalarını, sivil toplum örgütlerini ve ilgili diğer aktörleri bir masa etrafında toplayarak uygulanabilir planlama ve örgütlenmeleri yaparak harekete geçirmesidir. Ülkemizin mühendisleri, mimarları ve şehir plancıları bunları başarabilecek teknik beceri, bilgi birikimi ve deneyime sahiptir. Bunun farkında olmak gerekir. Tek olmayan şey ise ortak akıldır (Gündoğdu, 2020). Başka bir deyişle, eksiklik, üretilen mevcut bilimsel bilginin uygulanmamasıdır.

Ayrıca, doğa kaynaklı afetler ve özellikle deprem konusunda toplumsal eğitim önemlidir. İlk ve orta dereceli okullarda doğa kaynaklı afetler ve deprem ile ilgili dersler okutulmalıdır. İzmit ve Düzce depremlerinde görüldüğü gibi deprem sonrasında yapılacak olan çalışmalar ve yardımlar bir düzensizlik içinde yürütülmüştür. Tüm etkinliklerin bir düzen içinde yürütülmesi için, toplumsal bir örgütlenmeyi içeren eylem planları yapılıp uygulamalarla geliştirilmelidir. Konunun uzmanlarını da kapsayan bir örgütlenme, Japonya'da olduğu gibi sorumlu bir Bakanlık bünyesinde, ya da doğrudan cumhurbaşkanına bağlı bir yapı içinde yer almalıdır. Deprem habercisi olabilecek belirtiler, titizlikle ve sürekli olarak izlenmelidir. Bu arada, Çin'de gerçekleştirilmiş olan depremleri önceden kestirilmesi programlarının da istatistiki değerlendirmeler gözetilerek dikkate alınmasında yarar vardır. Özellikle son yıllarda canımızı inciten doğa kaynaklı afet, deprem olmakla birlikte, özellikle yer seçimlerinde sel ve taşkınlar ve heyelanlar başta olmak üzere, tüm doğa kaynaklı afetler gözetilerek, riskli yerlerden sakınılmalıdır.

JMO (Jeoloji Mühendisleri Odası) tarafından risk taşıyan iller, okullar ve hastaneler kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Depremlerle mücadele, toplumun barınma sorununu ve afet güvenliğini temel insan hakkı olarak ele alan, sosyal devlet ilkesi ve akılcı politikalara dayalı yaklaşımlarla kazanılabilir. Aynı zamanda JMO tarafından belirtilen deprem açısından riskli alanlarda yaşayan insanlarımızın yaşam hakkını savunmak ve buna yönelik girişimlerde bulunmak doğrudan kamu yararına ilişkin bir faaliyet olup, toplumsal ve mesleki sorumluluğumuzun da bir gereğidir. Sonuç olarak, JMO başta olmak üzere, depreme dair meslek kuruluşlarının uyarıları önemlidir ve kamusal alanda mutlaka dikkate alınmalıdır. ***Planlama evresinde imara dair düzenlemelere sorumsuzca imza atanlar dâhil, oluşan herhangi bir afete yönelik hataları olan tüm yetkili merciler mutlaka sorgulanmalıdır! Yasal çerçeve, böylesi bir yapıya kavuşmadıkça, geleceğe güvenle bakmak mümkün değildir.***

KAYNAKLAR

AFAD, 2022, Deprem anı ülke tatbikatı (https://bit.ly/deprem-ani; https://www.afad.gov.tr/afadem/deprem) Erişim: 12 Kasım 2022).

Alptekin, Ö., 1973. Focal Mechanism of Earthquakes in Western Turkey and Their Tectonic Implications ; Inst. Mining Tech., Doktora tezi, Soccoro,New Mexico.

Bolt, B. A., 2008, Depremler, Çeviri: Ülkü Tansel, TÜBİTAK Popüler Bilim kitapları, Ankara, 485 sayfa.

Bozkurt, E., 2001, Neotectonics or Turkey-a synthesis. Geodinamica Acta, 14, 3-30.

Buğdaycı, İ., 1999. Depremin dili: Sismoloji: Bilim ve Teknik, TÜBİTAK aylık popüler bilim dergisi, 382, 26-29.

Demirtaş, R. ve Erkmen, C., 2000, Deprem ve jeoloji: TMMOB jeoloji mühendisleri odası yayınları, no.52, Ankara, 390 s.

Demirtaş, R., 2018, Değerli Meslektaşlar, Facebook mesajı, 24.03.2018.

Dewey, J.F., Pitman ,W.C. ,Ryan ,W.B.F. ve Bonin,J. , 1973. Plate Tectonics and Evolution of the Alpine System : Geol.Soc.of Amer. Bull. ,84, 3137- 3180.

Dirican, M., 1999. Deprem, Bilim ve Teknik, TÜBİTAK aylık popüler bilim dergisi, 382, 18-22.

Emre, Ö., Özalp, S., Kondo, H., Kürçer, A. ve Elmacı, H., 2012, Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin orta ve doğu bölümünün paleosismolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 11569, Ankara, 66 s.

Gündoğdu, O., 2020., Yeniden 17 Ağustos depremini anımsarken. Bir gün Pazar eki, 16 Ağustos 2020 PAZAR, no 701, s. 8 (https://www.birgun.net/haber/yeniden-17-agustos-depremini-animsarken-312119).

http://www.usgbc.org/leed

http://www.sustainable.doe.gov/freshstart/articles/ptipub.htm

https://tdth.afad.gov.tr

https://www.haberturk.com/afad-a-gore-deprem-cantasinda-bulundurulmasi-gerekenler-2525716 (27 Eylül 2019, saat 10.15)

https://www.structuremag.org/?p=8763#:~:text=The%20Earthquake%20Shaking%20Force%20is,for%20designing%20buildings%20and%20structures (08 Şubat 2023, 10.00).

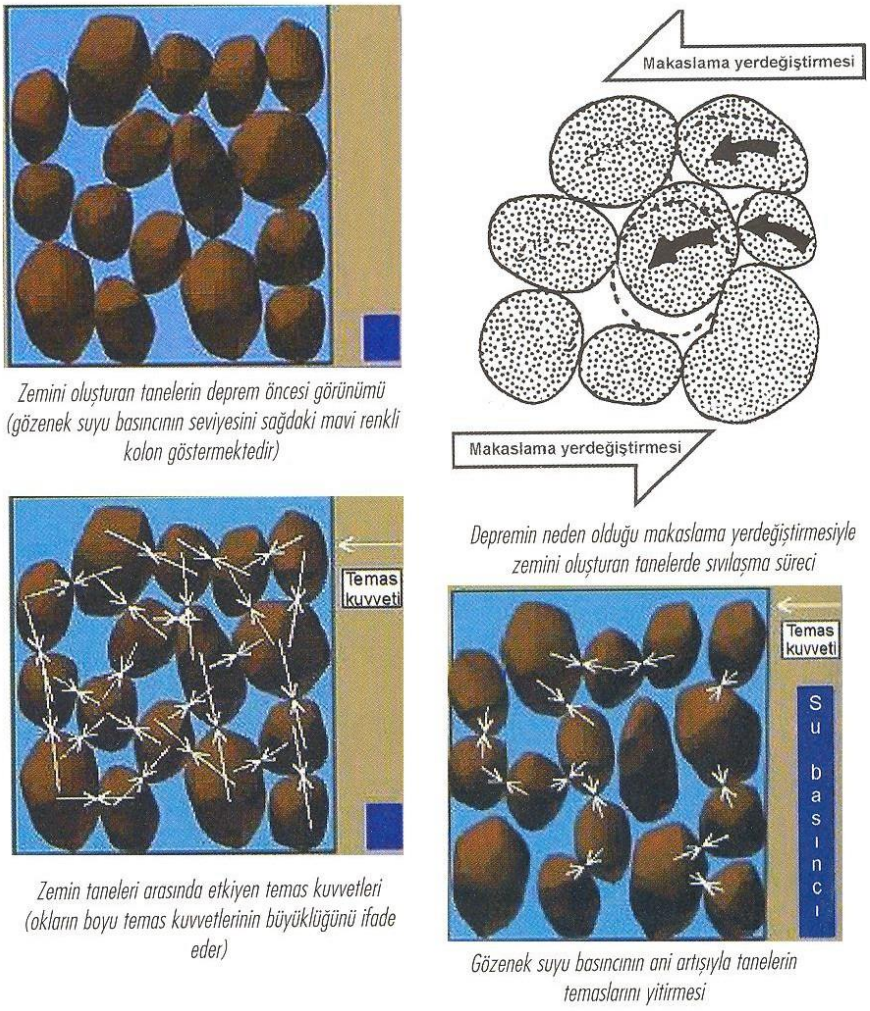
İBB, 1999. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, 1999. Deprem Zararlarından Korunmak İçin Yapabileceklerimiz, İstanbul, 8s.
İTÜ, 2019. Kamuoyu açıklaması, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), 26.09.2019.
Karaesman, E. 2002, Türkiye Penceresinden Deprem Olayı: Türkiye Mütahitler Birliği Yayını, Ankara, 106 s.
Karancı, A.N., 2003, Depremlerle Başa Çıkmak ve Psikoloji: Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, 7, 4-7.
Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.
Ketin, İ. ve Canıtez, N.İ 1972. Yapısal Jeoloji, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 508 s.
Knödel, K., Lange, G. Ve Voigt, H. J., 2007, Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer Berlin Heidelberg New York, USA, 1357s.
Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, Sh. and Kuloshvili, S., 2001, Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implications for transition from thrusting to strike-slip faulting: Geodinamica acta, 14, 177-195.
Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957, Principles of Engineering Geology and Geotechnics; Mc.Graw-Hill Comp. Inc., NewYork, USA, 730 s.
MTA, 1993. Büyük Dünya Atlası, (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) Yayını, 1. Baskı, Ankara, 267 s.
MTA, 2019., Türkiye'nin Diri Fay Haritası, MTA yayını, Ankara.
Mc Kenzie, D. P., 1972. Active Tectonics of Mediterranean region, Geophys. J.Roy. Astr. Soc., 30,109-185.
Nurlu, M., 2017, Planlama ve Yapılaşma Açısından Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi Klavuzu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 134, Ankara, 61 s.
Plummer, C.C., Mc Geory, 1993, Physical Geology, NewYork, USA Pres, F.ve Siever, R., 1974, Earth, W.H. Freeman and Company, USA, 945 s.
Spiegel, R. ve Meadows, D., 1999, Gren Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
Tekin, M. Ö., 2020. Depremlerde idarenin hukuki sorumluluğu, Cumhuriyet Gazetesi, Olaylar ve görüşler: http://www.cumhuriyet.com.tr/yazarlar/olaylar-ve-gorusler/depremlerde-idarenin-hukuki-sorumlulugu-1719305 (08 Şubat 2020 Cumartesi).
TMMOB, 2022, Afet Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara, 1066 s. (www.afetsempozyumu.org), 20-22 Nisan 2022
Ulusal Deprem Konseyi, 2002, Deprem Zararlarını Azaltma Ulusal Stratejisi, Tübitak Matbaası, Ankara, 100s.
Ulusay, R., 1994, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler; TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38, Ankara, 243 s.
Uzunpınar, B. A., 1998, Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği; Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 376 s.
Wyllie, P.J, 1975. The Earth's Mantle, Scientific American, March, 232/3.
www.deprem.gov.tr
www.koeri.boun.edu.tr, www.usgs.gov
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276s.
Yılmaz, İ., 2000, Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.
Yılmazer, İ., Yılmazer, Ö., Özkök, D. ve Gökçekuş, H., 1999, Jeoteknik Tasarıma Giriş; Yılmazer Eğitim ve Mühendislik, Ltd. Şti., 420. Sok, 259/1, 100.Yıl, 06530, Çankaya, Ankara, 216 s.
Yılmaz, Y., 1999, Kuzey Anadolu Fayı nedir? Levha Tektoniği açısından bir değerlendirme. Cumhuriyet Bilim Teknik, 652, s. 6-8.

12. 2. SIVILAŞMA

GENEL BİLGİLER

Depremlerin yan etkilerinden biri de sıvılaşmadır. Sıvılaşma olgusu yerbilimcilerimiz tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu bölüm de Ulusay'ın (2000 ve 2001) çalışmalarından yararlanarak hazırlanmıştır. Depremlerin oluşumu sırasında sismik dalgalar kaya birimleri içinde yayılırken, birbirine göre ters yönde çalışan kuvvet çiftleri (makaslama kuvvetleri) yaratarak kaya birimini oluşturan tanelerin yer değiştirmesine neden olurlar. Bu koşullar altında özellikle gevşek konumdaki kum tanecikleri birbirlerine yakınlaşma eğilimi gösterirken, bu yakınlaşma sırasında tanelerin temas noktalarındaki gerilim, taneleri çevreleyen suya aktarılır.

Depremlerin ani ve çok kısa süreli devinimlere neden olması, taneler arasındaki suyun kaçması (drene olması) için gereken yeterli süreye olanak tanımamakta, dolayısıyla ortamdan uzaklaşamayan gözenek suyunun basıncı aniden artmaktadır. Gözenek suyu basıncındaki bu ani artış, gereçleri bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek taneleri birbirlerinden uzaklaştırır ve böylece zemini oluşturan gereçler dayanımını yitirir. Etkili olan gerilimin de yitime uğradığı koşullar altında zemin de deprem öncesinde gösterdiği katı gereç davranışı yerine, bir sıvı gibi davranarak, suyla birlikte yüzeye doğru hareket eder ve yüzeyden çıkmaya başlar. Zeminin sergilediği bu davranış biçimi "sıvılaşma" olarak tanımlanır (Şekil 1).



Zemini oluşturan tanelerin deprem öncesi görünümü (gözenek suyu basıncının seviyesini sağdaki mavi renkli kolon göstermektedir)

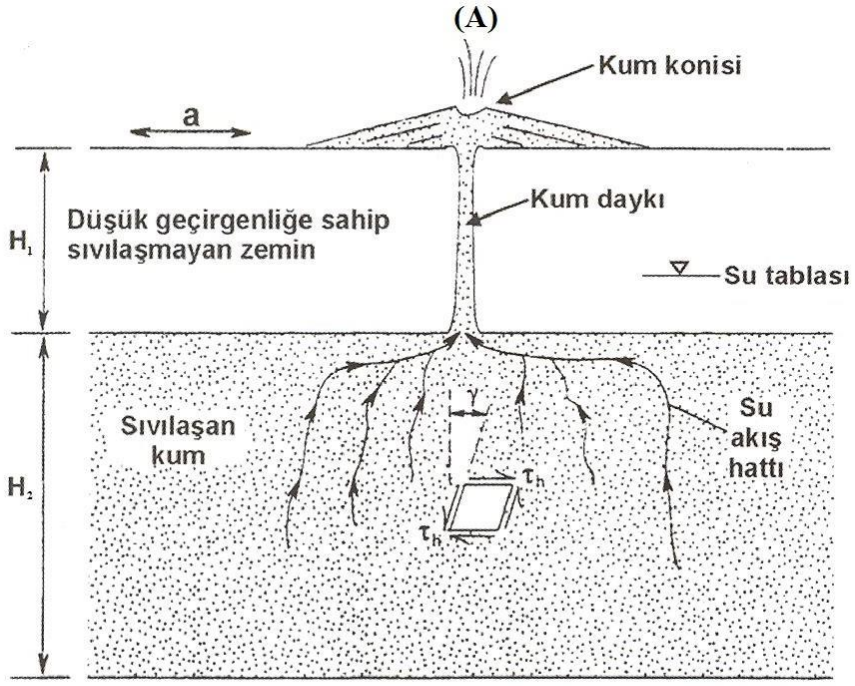
Depremin neden olduğu makaslama yerdeğiştirmesiyle zemini oluşturan tanelerde sıvılaşma süreci

Zemin taneleri arasında etkiyen temas kuvvetleri (okların boyu temas kuvvetlerinin büyüklüğünü ifade eder)

Gözenek suyu basıncının ani artışıyla tanelerin temaslarını yitirmesi

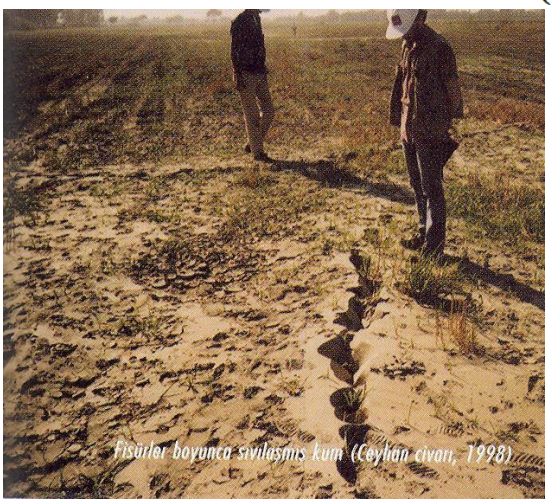
Şekil 1, Sıvılaşma süreci sırasında zemin taneleri arasındaki temas kuvvetlerinin yitimi (Ulusay, 2001).

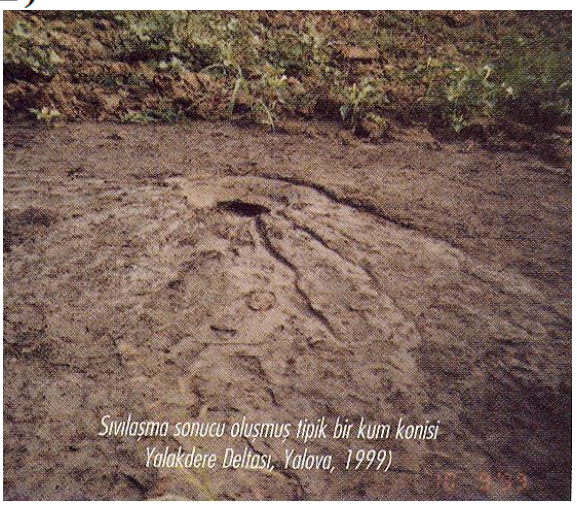
Sıvılaşma yüzeyde; kum fışkırması, tek başına veya art arda dizilmiş kum volkanları ve fisürler (yarıklar) boyunca kum birikmeleri şeklinde görülür (Şekil 2). Kum volkanları, sıvılaşan zeminin yüzeye doğru yükselmesi sırasında yüzeydeki toprak seviyesini yanlara iterek ve bir baca oluşturarak meydana gelmektedir. Bacanın oluşumuyla birlikte çapı 3m, derinliği ise 1-2 m civarında olan çukurlar oluşabilmektedir. Kum konileri ise, 10-50 cm arasında değişen çapa ve 15-25 cm yüksekliğe sahip olabilmektedir.



Sıvılaşma ve kum dayklarının oluşumunu gösteren kesit (a: yatay ivme; τ_h : yatay ivmeden kaynaklanan makaslama gerilimi; γ: makaslama yer değiştirmesi

(B)





Şekil 2, Sıvılaşmayla ilgili kum konilerinin ve dayklarının oluşumunu gösteren kesit **(A)** ve tipik bir kum konisi **(B)** (Ulusay, 2001).

SIVILAŞMA İÇİN BAZI PRATİK DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ

Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla incelenen bölgenin sismik etkinliğini (depremselliğini) ve zeminin mühendislik özelliklerini gözeten analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Oldukça ayrıntılı hesaplama ve değerlendirme aşamalarının izlendiği bu yöntemlerin burada verilmesi, daha çok pratik bilgileri içeren bu kitabın kapsamı dışında kalmaktadır. Bununla birlikte, sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik ayrıntılı çalışmalardan önce dikkate alınması gereken husus, sıvılaşmanın hangi koşullar altında meydana gelebileceğinin tahmin edilmesidir. Zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığını (hassasiyetini) belirlemede kullanılabilecek başlıca pratik ölçütler aşağıda verilmiştir.

Jeolojik ölçütler

Jeolojik ortam:

Sıvılaşma davranışının meydana geldiği ortamlar, "ayrık katı bileşenleri arasında doğal çimento görevi üstlenecek bir bağlayıcı bulunmayan veya çok gevşek haldeki bir bağlayıcının su etkisiyle ortamdan kolayca uzaklaştırılarak, tanelerin serbest hale geçebildiği ayrık kayatürü topluluğu" şeklinde tanımlanan ve toprak zemin olarak adlandırılan malzemelerdir. Buna karşın, iyi çimentolanmış, taneli ya da kristalli kayatürü zeminlerde ise, sıvılaşma meydana gelmemektedir.

Genellikle aşağıda belirtilen, jeolojik anlamda genç ve gevşek çökeller, zemin türü açısından sıvılaşmanın gelişmesi için uygun ortamlardır.

(i) Temiz kumlar ve siltli kumlar, özellikle güncel ve gevşek kumlar

(ii) Holosen'e (10000 yıl) ait delta, akarsu, taşkın düzlüğü, alüvyal düzlük ve plaj ortamlarına özgü toprak zeminler

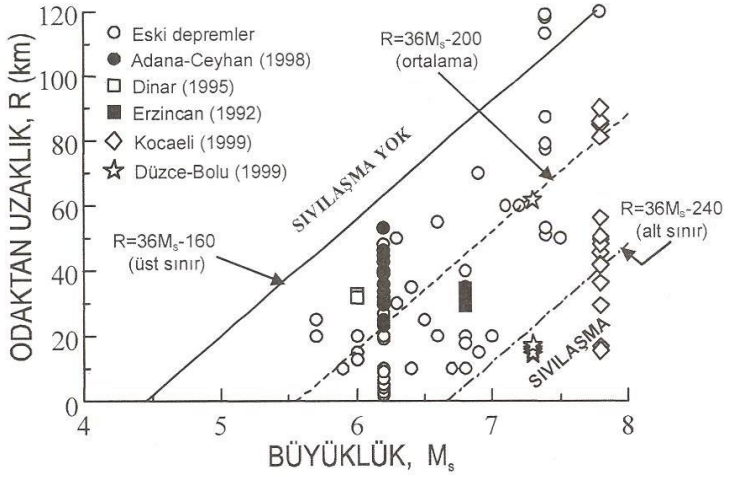
(iii) Gevşek dolgular ve maden atık barajlarında biriktirilen ince taneli malzeme

Yeraltı suyu:

Sıvılaşma için yeraltı suyu tablasının sığ olması gerekir. Bu derinlik, genellikle O ile 10 m arasında değişmektedir. Ender olmakla birlikte, su tablası derinliğinin 20 m civarında olduğu yerlerde de sınırlı miktarda sıvılaşmanın meydana geldiği bilinmektedir.

Sismik etkinlik

Sıvılaşmanın meydana gelmesinde rol oynayan yinelemeli gerilimlerin bir sismik etkinlik (deprem) aracılığıyla üretilmesi gerekir. Dolayısıyla deprem büyüklüğü ve odaktan uzaklık gibi değişkenler, sıvılaşma olgusu açısından önem taşımaktadır. Bu konuda okuyucunun bir fikir edinebilmesi amacıyla Türkiye'de meydana gelen depremlerde gözlenmiş sıvılaşmaları esas alan "sıvılaşma-deprem büyüklüğü-odaktan uzaklık" ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3, Deprem büyüklükleri ve Türkiye'de sıvılaşmanm gözlendiği yerlerin deprem odağına olan uzaklıklar arasındaki ilişkiler (Ulusay vd., 2000'den).

Jeomorfolojik ölçütler

Jeomorfolojik açıdan aşağıda belirtilen birimler, sıvılaşma potansiyeline göre sınıflandırılmıştır.

Sınıf	Jeomorfolojik Birim	Sıvılaşma Potansiyeli
A	Güncel ve eski akarsu yatakları, bataklık bölgeler, su altında iken yeniden kazanılmış alanlar, ovalar	Sıvılaşma olabilir
B	Yelpazeler, kum barları, taşkın düzlükleri, plajlar ve diğer düzlükler	Sıvılaşma olasılı
C	Teraslar, tepeler ve dağlar	Sıvılaşma olmaz

Zeminin bileşimi ve diğer özellikleri

Zemin türü:

İnce kumlar ve siltli kumlar sıvılaşmaya en yatkın zeminlerdir. Uzun süredir killi zeminlerde sıvılaşma olmayacağı bilinmekle birlikte, Japonya'da (Kobe'de) son yıllardaki depremlerden sonra yapılan gözlemler, depremin neden olduğu sarsıntı sonucu bazı killerin dayanımlarını önemli ölçüde yitirdiklerini ve çok az da olsa, sıvılaşan kumlarla birlikte yüzeye çıktıklarını göstermiştir. Bu tür zeminlerin bazı indeks özellikleri aşağıda verilmiştir.

0.05 mm' den ince tane yüzdesi < %15
Likit limit (LL) < 35
Su içeriği (w) > 0.9 LL

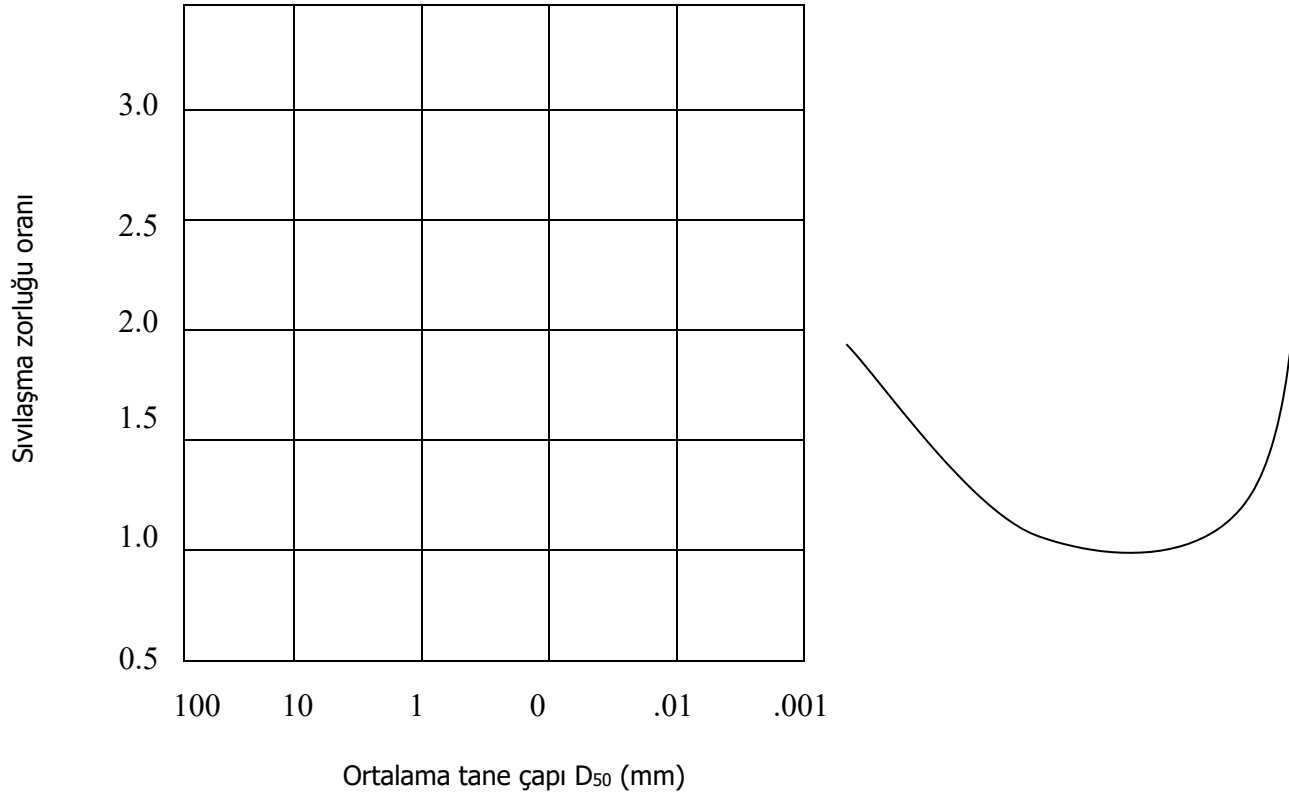
Eğer bu özellikteki killer plastisite abağındaki A hattının üzerinde yer alıyorsa, bunların devirsel yükleme koşulları altındaki davranışlarının ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir. Bununla birlikte, killi zeminler sıvılaşmaya duyarlı olmayan zeminler olarak kabul edilirler.

Tane boyu, derecelenme ve tane şekli:

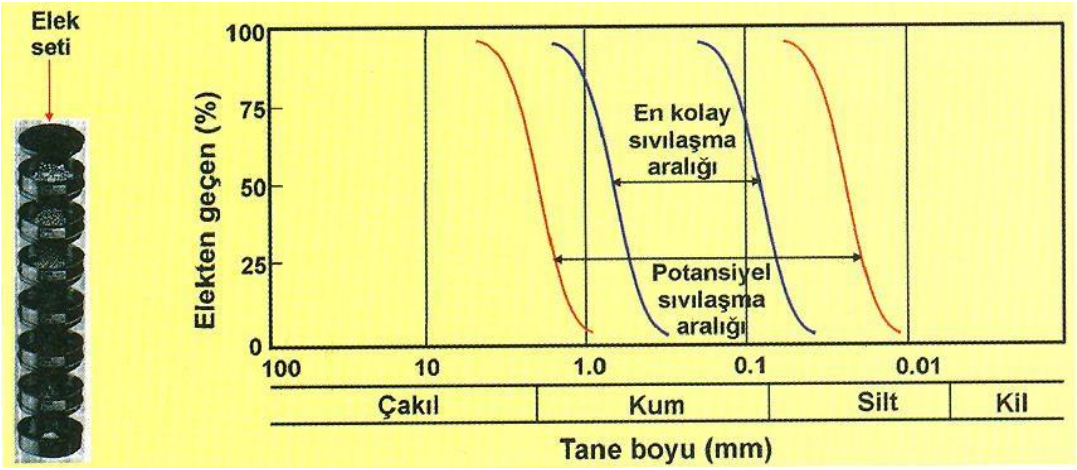
Tane boyu kavramı açısından sıvılaşmaya karşı en duyarlı zeminler ince kumlardır. İri taneli kumların geçirgenliği ince kumlarınkine oranla daha yüksek olduğu için, deprem sırasında gelişen aşırı gözenek suyu basınçları iri kumlarda daha kolay sönümlenir ve sıvılaşma riski azalır. Ortalama tane boyu (D_{50}) 0.05 ile 0.06 mm arasında değişen kumlar, en kolay sıvılaşabilen zeminler olarak bilinir (Şekil 4).

Tane boyu dağılımı açısından tekdüze olan zeminler, iyi derecelenmiş zeminlere oranla sıvılaşmaya daha fazla yatkındırlar. Şekil 5'te sıvılaşmaya yatkın zeminler için tipik olan tane boyu dağılımı aralıkları verilmiştir.

Yuvarlak taneler, köşeli tanelere göre daha çabuk bir araya gelme eğilimi gösterdikleri için, sıvılaşmaya daha yatkındırlar.



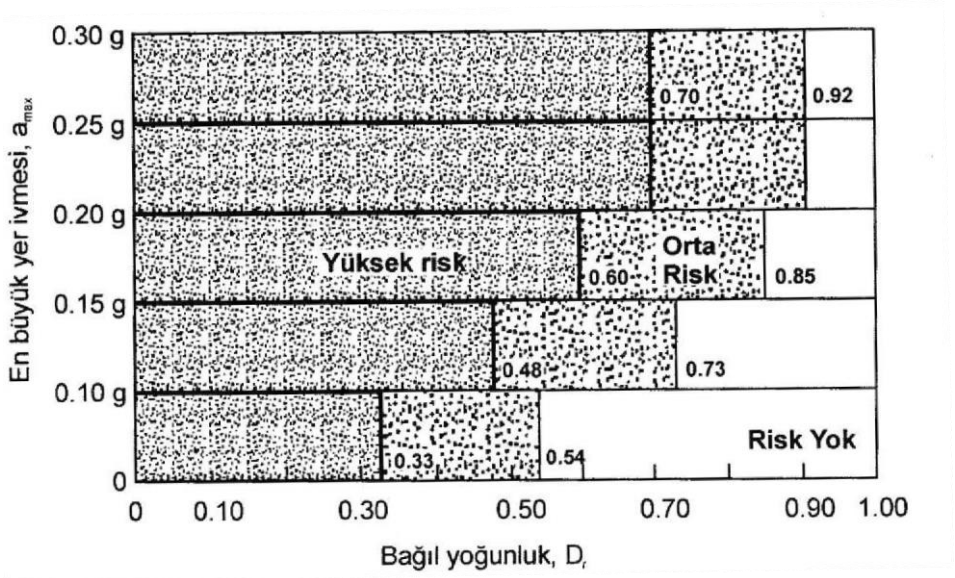
Şekil 4, Sıvılaşma zorluğu oranı-ortalama tane çapı ilişkisi (Ulusay, 2001).



Şekil 5, En kolay sıvılaşan ve potansiyel olarak sıvılaşma eğilimine sahip zemin/er için tipik olan tane boyu dağılımı aralıkları (Ulusay, 2000).

Zeminin bağıl yoğunluğu

Bağıl yoğunluk (D_r), taneli zeminlerde oturmanın ve/veya sıvılaşma riskinin tayininde dikkate alınan temel değişkenlerden biridir. Sarsıntı sırasında hem oturma, hem de gözenek suyu basınçları önemli ölçüde artar. Şekil 6'da sunulan "bağıl yoğunluk- en büyük yer ivmesi" ilişkisi, toprak zeminlerde sıvılaşma riski açısından bir ön değerlendirme yapılması amacıyla pratik bir ölçüt olarak kullanılabilir.



Şekil 6, Bağıl yoğunluk ve en büyük yer ivmesi arasındaki ilişkiye göre sıvılaşma riskinin öngörülmesi (Ulusay, 2001).

Diğer hususlar

Sıvılaşma için pratik değerlendirme ölçütlerinde verilen ölçütlerden sadece sıvılaşmaya karşı duyarlı olabilecek ortamların ve zeminlerin ayırd edilmesi için ön değerlendirme amacıyla yararlanılır. Dolayısıyla, bu ölçütler esas alınarak yapılacak ön değerlendirmelerin sonuçlarına göre, zeminlerin sıvılaşıp sıvılaşmayacağına kesin olarak karar verilmesi doğru bir yaklaşım değildir. Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, çok sayıda zemin ve deprem parametresinin dikkate alındığı ayrıntılı analiz yöntemleriyle yapılmaktadır.

Bu yöntemlerden arazi deney verilerini esas alanlar, yani standart penetrasyon deneyinin (SPT) verilerinin ve tane boyu dağılımı çözümlemelerinin kullanıldığı yöntemler ile konik penetrasyon deneyinin (CPT) verilerini esas alan yöntemler yaygın kullanımı ve daha ucuz olmaları nedeniyle en tercih edilen yöntemlerdir. Dinamik üç eksenli deney ise, genellikle azotla dondurularak alınmış örselenmemiş örneklere gereksinim duyulması ve uzun zaman alan pahalı bir deney olması nedeniyle, daha çok araştırma amaçlı kullanılmaktadır.

SIVILAŞMANIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Sıvılaşma, zeminlerde yarattığı duraysızlıklar nedeniyle binaları, köprüleri, yeraltına döşenmiş boruları ve diğer yapıları çeşitli biçimlerde etkilemektedir. Bu etkiler, başlıca zeminin taşıma gücünü yitirmesi, zeminin oturması ve salınımı, yanal yayılma ve akma türü kayma şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Zeminin taşıma gücünü yitirmesi

Yapıları taşıyan zemin sıvılaştığı zaman deformasyona uğrar ve taşıma gücünü yitirir. Sıvılaşan kum, yüzeye doğru yükselirken, zemin zayıflar ve yapılardan ileri gelen yükleri taşıyamaz duruma gelir.

Böylece yerin içinde gömülü olan, borular ve tanklar da zeminin sıvılaşmasına dolayısıyla deformasyonuna koşut olarak kırılmaya ya da bükülmeye uğrarlar.

Zeminin oturması ve salınımı

Sıvılaşma sırasında, tanelerin kohezyon eğilimi ve zeminin taşıma gücünü yitirmesi sonucu yüzeyde oturma şeklinde dikey, ya da yanal yönde bir yer değiştirme, zeminin üzerindeki bir yapıya da yansıyarak, yapının devrilmesine yol açabilirler. 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nın giriş katları zemine batan binalar, zemin oturmasının tipik örnekleridir. Alt yapı tesisleri zeminin oturması ve salınımından büyük ölçüde etkilenirler.

Yanal yayılma

Sıvılaşan zeminlerin üzerinde bulunan katmanların geniş bloklara ayırması ve blokların yanal yönde devinimi sonucu yanal yayılma olmaktadır. Bu devinim, depremden kaynaklanan yerçekimi kuvvetleri ile içsel sürtünme kuvvetlerinin birlikte gelişmesi sonucu meydana gelmektedir. Yanal yayılma, genellikle eğimi, 0.3-3 derece olan yamaçlar boyunca ve nehir yatağı, göl yada deniz kıyısı gibi devinime engel olmayacak serbest yüzeylere doğru gelişir. Yatay yöndeki devinim, birkaç metreden onlarca metreye kadar etkili olup buna bağlı olarak zeminde fisurler, kırıklar, küçük çöküntüler ve yükselmeler meydana gelir. Bu yapılar da zeminin üzerindeki tüm yapıları etkiler.

Akma türü kayma (akma sıvılaşması)

Bu tür zemin kaymaları, sıvılaşmanın yol açtığı en etkili duraysızlıklardır. Akma sırasında, çok düşük kütleler, çok kısa bir zaman aralığında ve saatte onlarca km' ye ulaşan bir hızla, eğimli yüzeyler boyunca km'lerce devinirler. Akma, tümüyle sıvılaşmış bir zeminde oluşabileceği gibi, sıvılaşmış zeminin üzerinden yer alan sert kayaların hareketiyle de meydana gelebilir. Bu tür devinimler, eğimi 3 dereceden daha büyük olan yamaçlar boyunca, gevşek ve suya doygun kumdan yada siltten yapılı gereçler de gelişmektedir. Ayrıca, maden işletmelerindeki atık barajlarda toplanan, suya doygun ve çok ince cevher arıklarının da depremler sırasında akma davranışı gösterdiği bilinmektedir.

Akma sıvılaşması, düşük dayanımlı bir zeminde, statik dengenin dinamik yükler tarafından ortadan kaldırılmasıyla meydana gelmektedir. Dinamik yükler, depremlere, patlatmaya ve kazık temellerin inşasına bağlı olarak oluşmaktadır. Dinamik yükleri zemini etkilediğinde, zeminin dayanımı, statik dengeye uzun süre karşı koyamaz ve akma gerçekleşir.

SIVILAŞMANIN DENETİMİ

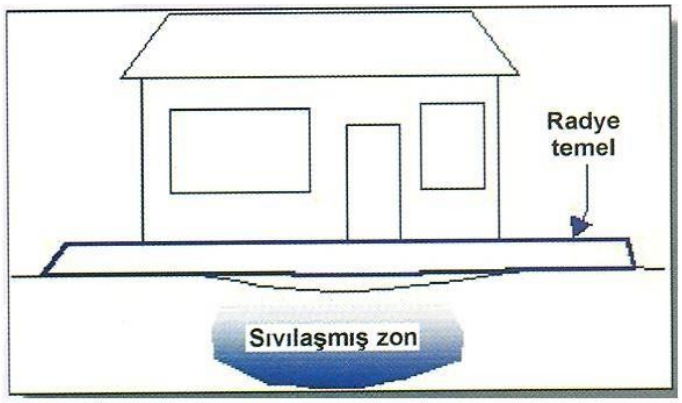
Çeşitli yapıların planlamasında ve inşasında gelecekte meydana gelmesi olası bir sıvılaşmadan kaynaklanabilecek zararların en alt düzeye indirilmesi için göz önüne alınan yöntemler 3 gruba ayrılabilir. 1- Sıvılaşmaya duyarlı zeminlerde yapı inşasından kaçınılması, 2- Sıvılaşmaya karşı dayanıklı yapıların inşası, 3- Zeminlerin iyileştirilmesi (Ulusay, 2000). Sıvılaşmanın etkileri ve denetimi ile ilgili bazı teknikler, Şekil 7 ve 8'de görülmektedir.

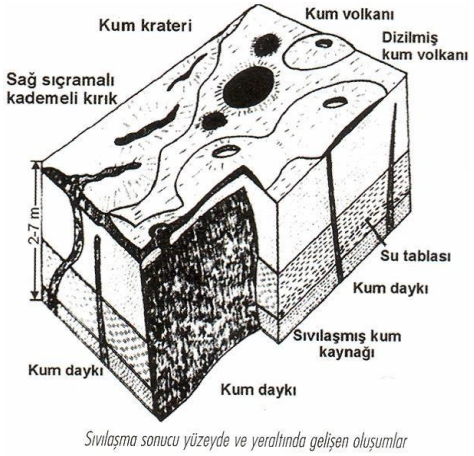
Sıvılaşmaya duyarlı zeminlerde yapı inşasından kaçınılması

Jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar sırasında, yörenin sıvılaşmaya yatkın olup olmadığı belirlenmelidir. Ortaya konulan veriler, zeminin sıvılaşma potansiyeline sahip olduğunu göstermesi halinde, planlanan yapının inşasından vazgeçilerek, yer seçimi açısından uygun seçenekler öncelikle araştırılır. Ne var ki, sıvılaşma gözetilip uygun bir alanın bulunmadığı durumlarda, sıvılaşmaya karşı dayanıklı yapıların inşası ya da zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulur.

Sıvılaşmaya karşı dayanıklı yapıların inşası

Sıvılaşmaya karşı dayanıklı yapıların inşasında, yapının temelini oluşturan yapı elemanları sıvılaşmanın etkilerini karşılayabilecek şekilde tasarlanır. Temel tasarımına ilişkin hususlar, sığ ve derin temeller için farklılıklar sunar.



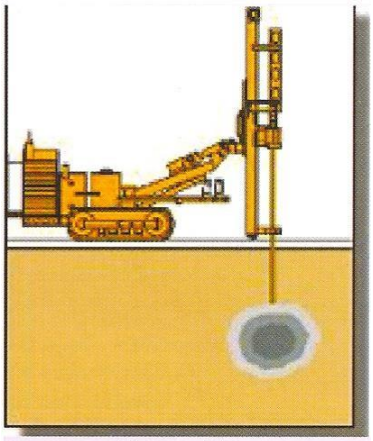


Şekil 7. Sıvılaşmanın etkileri ve denetimi ile ilgili bazı örnekler (Ulusay, 2000).

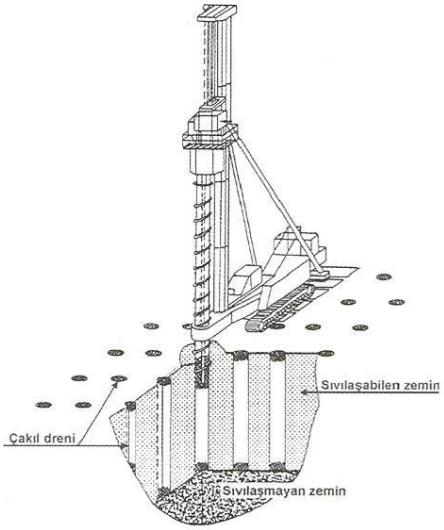
Sığ temeller için radye temel tipi iyi bir örnektir. Bu tür temellerin iyileştirilmesiyle, sıvılaşma zonundan kaynaklanabilecek yükler, sıvılaşan zonun çevresindeki sağlam zemine aktarılması mümkündür. Böylece yapıların görebileceği hasarlar en aza indirilmekte ve önlenmektedir.

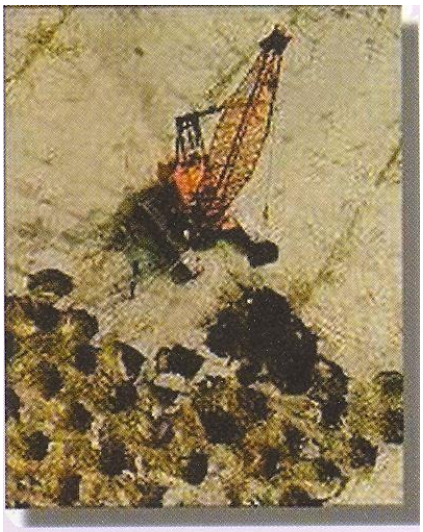
Ayrıca sığ derinliklere yerleştirilen ve zeminin içinde gömülü durumda bulunan atık su şebekesi ve su boruları gibi altyapı elemanlarının sıvılaşmadan kaynaklanabilecek hareketlerden ve oturmalardan etkilenmemesi için, bunların bağlantılarının mümkün olduğunca sünümlü (esnek) gereçlerden yapılmasına özen gösterilmelidir.

Derin temeller büyük yapıları taşıyamayan gevşek zeminler söz konusu olduğunda tasarlanmaktadır. Böyle bir tasarımda, kazık temeller tercih edilir ve kazıkların sağlam zemine yada ana kaya kadar indirilmesi lazımdır. Ayrıca, kazıkların hem yapının aktarabileceği yükleri taşıyabilmesi, hem de sıvılaşmadan ileri gelmesi olası yatay yüklere ve bunların bükülme momentlerine karşı koyabilmesi gerekir. Kazık temel uygulamalarında, kazıkların yapının tabanındaki bağlantılarının da sünümlü (esnek) gereçlerden yapılmasına özen gösterilir. Böylece, yapıların zeminle bağlantılı yerlerinin yenilmesi ve kopması, ya da herhangi şekilde rotasyona uğraması önlenebilir (Ulusay,2000).

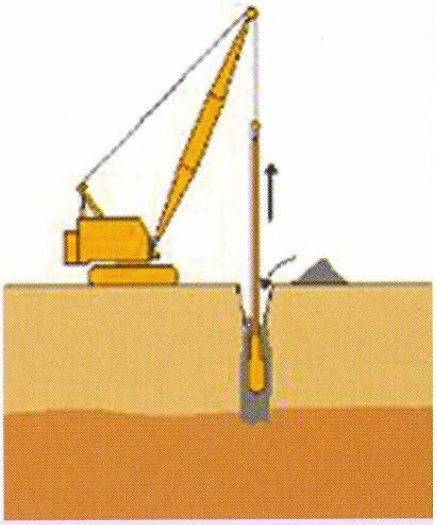


Sıkıştırma enjeksiyonu

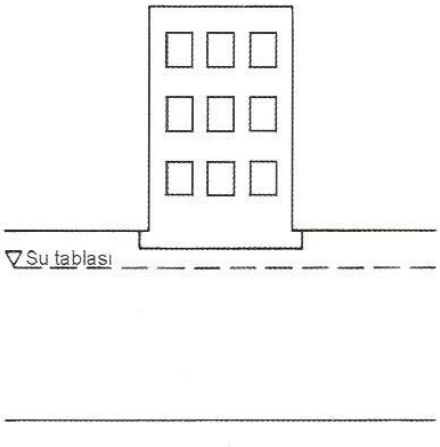


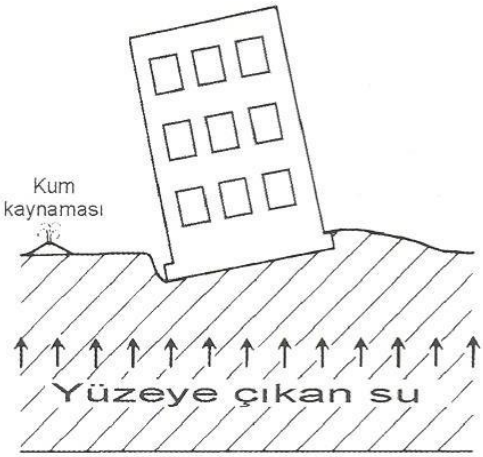


Dinamik kompaksiyon uygulaması



Vibroflotasyon tekniği





Sıvılaşma sonucu zeminin dayanımını yitirmesi ve yapının yana yatması

Şekil 8. Sıvılaşmanın etkileri ve denetimi ile ilgili bazı örnekler (Ulusay, 2000).

Zeminlerin iyileştirilmesi

Zeminlerin sıvılaşmaya karşı direncini arttırmak üzere uygulanan zemin iyileştirme tekniklerinin amacı, deprem sırasında oluşan gözenek suyu basıncının gelişmesini denetim altına almaktır. Bu amaçla, zeminin sıkılıyı arttırılır ya da akaçlama (suyu uzaklaştırma) kapasitesi geliştirilir. Uygulanan teknikler, sıkıştırma enjeksiyonu, dinamik sıkıştırma, vibroflotasyon, taş kolonları uygulamaları ve akaçlama teknikleri olarak bilinmektedir.

Sıkıştırma enjeksiyonu su, kum ve çimentonun karıştırılmasıyla oluşturulan ve akıcılığı düşük (viskoz) bir karışımın belli bir basınç altında zemine enjekte edilmesi ilkesine dayanır. Karışım, nüfuz ettiği zeminin tanelerini öteleyerek sıkıştırır ve duraylı bir kuşak oluşturur. Yöntemin en önemli avantajlarından biri mevcut yapıların temellerine de uygulanabilmesidir. Enjeksiyon işlemi, yapıların yan tarafından, ya da eğimli delikler aracılığı ile doğrudan yapının tabanındaki zemine uygulanmaktadır.

Dinamik sıkıştırma (kompaksiyon), şahmerdan adı verilin metallerden yapılı bir ağırlığın 10 ile 30 metre arası değişen yüksekliklerden arka arkaya düşülerek, zeminin darbe etkisiyle sıkıştırılması işlemine dayanır. Bu amaçla, iyileştirilecek zeminin yüzeyi karelere bölünür ve her karenin içindeki zemine uygulanır.

Vibroflotasyon, zeminin içine indirilen bir başlığın titreşimi yardımıyla zeminin tane yapısı bozulmakta ve taneler bir araya gelerek zeminin sıkışması ilkesine dayanır. Uygulamada 30 metre kadar bir derinliğe inilmekte ve belli aralıklarla sıkıştırma işlemi yapılmaktadır.

Taş kolonları, zeminde açılan geniş çaplı deliklerin çakıl ile doldurulması esasına dayanır. Taş kolonları, vibroflotasyon tekniği ile zemine yerleştirileceği gibi, metal muhafaza borularının içinde zemine dökülen çakılların üzerine şahmerdan düşülerek oluşturulabilir. Sıkıştırma işlemi yapıldıkça, muhafaza borusu aşamalı olarak yüzeye doğru çekilir.

Akaçlama (Drenaj) teknikleri; Sıvılaşmadan kaynaklanabilecek zararlar, zeminin akaçlama kapasitesinin (suyun zeminden atılmasının) arttırılmasıyla azaltılabilir. Zeminin gözeneklerindeki suyu ortamdan uzaklaştırarak, deprem sırasında gelişebilecek gözenek suyu basınçları da denetim altına alınabilir. Çakıl ve kum drenleri ya da zemine yerleştirilen yapay gereçler (jeomembranlar) başlıca akaçlama teknikleri olarak kullanılmaktadır. Çakıl ve kumdan yapılı gereçler, zeminde belirli aralıklarla dikey yönde açılmış deliklerden dökülerek drenler oluşturulur. Jeomembranlar ise zemine uygun bir açıyla yerleştirilmektedir.

Sıvılaşabilecek zeminin sıvılaşmayacak bir zeminle yer değiştirmesi; Ancak yer değiştirme işlemi yapılırken, kazı şevinin yıkılmadan (kaymadan) duraylı kalması önem taşır. Sıvılaşabilecek zeminin kalınlığı fazla ise yöntem ekonomik olmaz. Yöntem, sıvılaşma potansiyeline sahip zeminin kazılarak kaldırılması ve yerine sıvılaşma eğilimi olmayan bir zeminin konulması esasına dayanır. Çoğu kez, yukarıda sunulan tekniklerin birkaçı birlikte kullanılmaktadır.

Olasılı kestirim-örnek olarak sıvılaşma haritaları

Yer'in koşullarında bir değişim ya da deprem gibi tetikleyici olaylar varsa yer kaymalarının (heyelanların) oluşumu beklenebilir. Kestirim, tetikleyici olaylarla ilgili bilgiye göre hazırlanabilir. Olası kestirim, heyelan duyarlık haritaları ve heyelan etkinliğiyle yağış, depremsellik, bitki örtüsü (ormansızlaştırma), yeraltı-yerüstü su sistemlerindeki değişimlerle doğal afetin işleyişi (mekanizması) arasındaki karşılaştırma ile yapılmaktadır. Sıvılaşmaya duyarlı haritaların üretilmesi de olası kestirimlerin yapılmasında bir temel olarak kullanılabilir.

1974 Alaska depremi ve Turnagain Heights bölgesindeki çalışmalardan sonra heyelanların sıvılaşma olayına bağlı olarak nerelerde oluşabileceği tanımlanmıştır. Turnagain Heights'den elde edilen veriler, depremden ileri gelen sıvılaşmanın, sıvılaşmış zonların üzerinde yer alan gereçlerde de

heyelanlara yol açabileceğini göstermektedir (Seed, 1973). Sıvılaşmayla ilgili heyelan verileri 1971'de Kaliforniya San Fernando depremi sırasında elde edilmiştir. Bu çalışmalara göre depremden ileri gelen olası heyelanları kestirmek mümkündür.

Kaliforniya'nın bazı bölgelerinde potansiyel sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalar heyelanların altında yer alan çökellerin ayrıntılı incelenmesi için bir temel oluşturulmaktadır. Kaliforniya'daki San Francisco bölgesinde (ağırlıklı olarak silt ve kumdan yapılı) serbest kil taneleri içeren zeminlerin, deprem sırasında gözeneklilikleri nedeniyle yüksek bir sıvılaşma potansiyeline sahip oldukları ortaya konulmuştur. Söz konusu çalışmalardaki çökellerin niteliklerine bakıldığında, bunların göreceli olarak yoğunluklarının yüksek olduğu zeminlere karşılık geldiği söylenebilir.

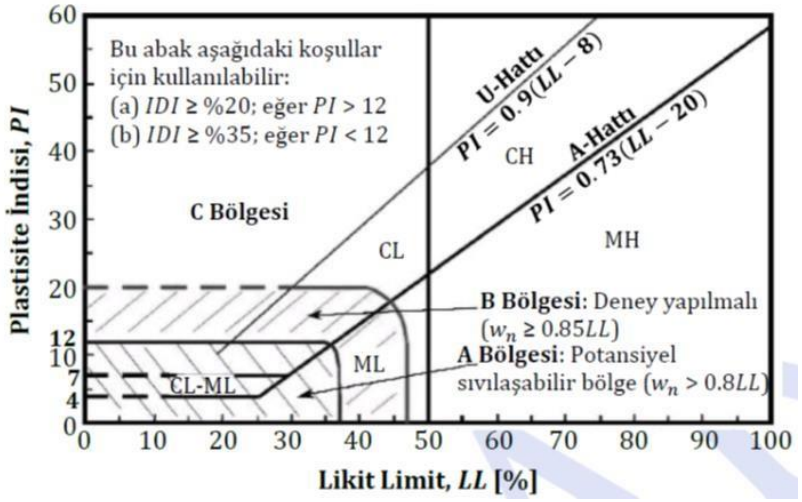
Dolayısıyla ***Göreceli yoğunluk,*** kum, silt ve diğer gereçlerin pekişme derecesine bağlı olarak ölçülür. Bu da, gereci oluşturan partikküllerin paketlenme derecesine bağlı olarak ölçülüp belirlenir. Düşük yoğunluklu gereçlerde, taneler daha gevşek olarak paketlenir. Bir sallanma olursa taneler birbirine daha da yaklaşır. Bu da gözenek hacmindeki azalmaya ve dolayısıyla gerecin yoğunluğunda artışa yol açar. Konuya ilişkin ayrıntılı bir açıklama Youd ve diğerleri (1975)'nin çalışmasında bulunabilir. Depremlerden ileri gelen sıvılaşmaya duyarlı olan zeminler haritalanabilir.

Sıvılaşmaya duyarlı haritalar, sıvılaşma riskini ve konuya ilişkin uyarıları içermektedir. Böyle haritalar, olası heyelan kestirim çalışmalarında da bir temel olarak kullanılabilir. Yer sarsıntıları sırasında zeminlerin eşik değerleri aşıldığında her zaman için sıvılaşma beklenebilir.

SIVILAŞMA ANALİZİNE DAİR BAZI EK ÖNERİLER

Sıvılaşmanın özellikle depreme dayalı etkilerinin denetimi için çok daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır. ***"Deprem Etkisi Altında Zeminin Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi"*** amacıyla "***Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği -2018 ile Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi ve Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanal Deformasyon, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesap Cetveli kullanım klavuzu"*** yayınlanmıştır (JMO, 2021a).

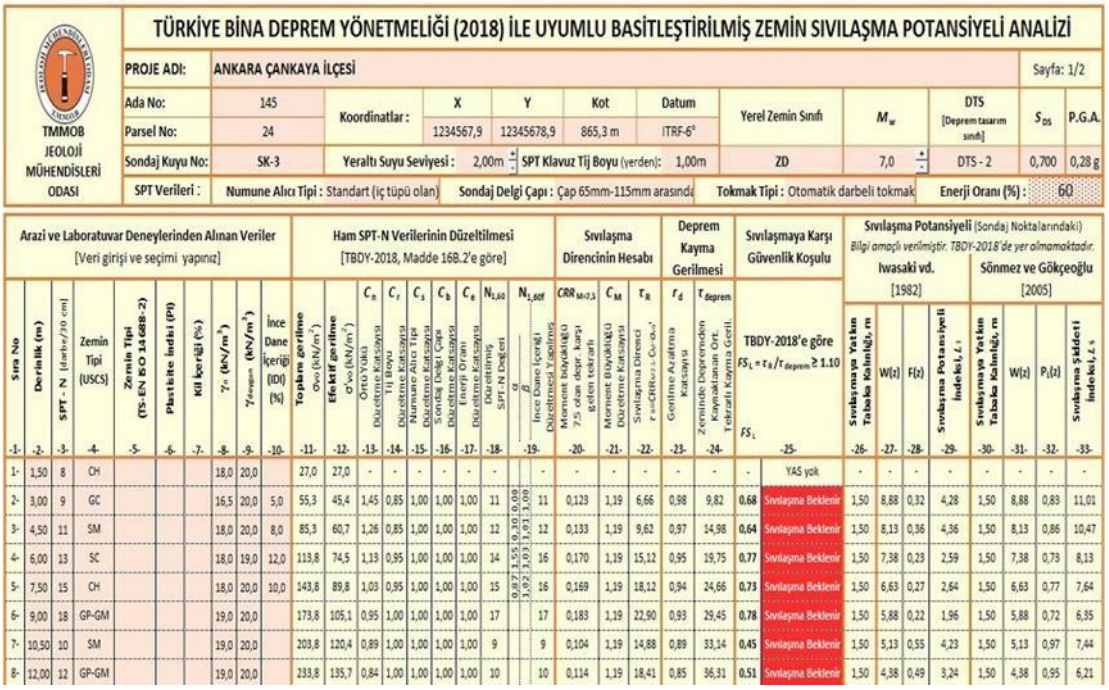
Bu kapsamlı çalışmada sıvılaşabilir koşulları tanımlanmıştır. Şekil 9'da ince taneli zemin karışımlarında (Seed ve diğerleri, 2003) tarafından önerilen sıvılaşabilirlik koşulları görülmektedir. Buna göre, potansiyel sıvılaşabilir bölge (A) ile deneylerin yapılması gereken bölge (B) ayrı ayrı değerlendirilmelidir (JMO, 2021a'dan).



Şekil 9. İnce taneli zemin karışımlarında önerilen sıvılaşabilirlik koşulları (Seed ve diğerleri, 2003; JMO, 2021a'den).

Seed ve diğerlerinin (2003) yaklaşımına göre; plastisite indisi 12'den ve likit limiti (LL) 37'den küçük zeminler doğal su içerikleri (wn) likit limitlerinin %80 'inden fazla ise (wn=0.8·LL) potansiyel olarak sıvılaşabilir; plastisite indisi 12 ile 20, likit limiti 37 ile 47 arasında olan zeminlerde ise doğal su içeriği (wn) likit limitlerinin %85'inden fazla olması durumunda sıvılaşma potansiyeli daha detaylı testler (örneğin tekrarlı üç eksenli deneylerin yapılması gibi) ile incelenmelidir (JMO, 2021a).

Ayrıca sıvılaşabilirlik değerlendirmesine dair ***hesap cetveli*** oluşturulmuş olup, aşağıda Şekil 10'da sunulmuştur. Kullanıcıların hesap cetvelini kullanmadan önce mutlaka "***Kullanma Kılavuzu***" nu okumaları önerilir. Program iki bölümden oluşmakta olup, 1. Bölümü, basitleştirilmiş zemin sıvılaşmasının gerekli olduğu plana esas jeolojik, jeoteknik ve mikrobölgeleme ile diğer mühendislik hizmetlerinin planlama işlerinde de kullanılabilir. Hazırlanan hesap cetveline ait telif hakları, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu gereğince TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odasına ait olup, izin almaksızın içeriğinde herhangi bir değişiklik yapılamaz. Hesap cetveli JMO logolu kullanılmak kaydıyla ücretsiz olarak herkesin kullanımına açıktır.



TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ (2018) İLE UYUMLU BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİ ANALİZİ

TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

PROJE ADI:	ANKARA ÇANKAYA İLÇESİ											Sayfa: 1/2	
Ada No:	145	Koordinatlar :	X	Y	Kot	Datum	Yerel Zemin Sınıfı	M_w	DTS [Deprem tasarım sınıfı]	S_{DS}	P.G.A.		
Parsel No:	24		1234567,9	12345678,9	865,3 m	ITRF-6°							
Sondaj Kuyu No:	SK-3	Yeraltı Suyu Seviyesi :	2,00m ±	SPT Klavuz Tij Boyu (yerden):	1,00m		ZD	7,0 ±	DTS - 2	0,700	0,28 g		
SPT Verileri :	Numune Alıcı Tipi : Standart (iç tüpü olan)		Sondaj Delgi Çapı : Çap 65mm-115mm arasında				Tokmak Tipi : Otomatik darbeli tokmak		Enerji Oranı (%) :	60			

Arazi ve Laboratuvar Deneylerinden Alınan Veriler [Veri girişi ve seçimi yapınız]										Ham SPT-N Verilerinin Düzeltilmesi [TBDY-2018, Madde 16B.2'e göre]										Sıvılaşma Direncinin Hesabı			Deprem Kayma Gerilmesi		Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Koşulu		Sıvılaşma Potansiyeli (Sondaj Noktalarındaki) Bilgi amaçlı verilmiştir. TBDY-2018'de yer almamaktadır.							
																											Iwasaki vd. [1982]				Sönmez ve Gökçeoğlu [2005]			
Sıra No	Derinlik (m)	SPT - N [darbe/30 cm]	Zemin Tipi (USCS)	Zemin Tipi (TS-EN ISO 14688-2)	Plastisite İndisi (PI)	Kil İçeriği (%)	γ_n (kN/m³)	γ_{doygun} (kN/m³)	İnce Dane İçeriği (IDI) (%)	Toplam gerilme σ_{vo} (kN/m²)	Efektif gerilme σ'_{vo} (kN/m²)	C_n Örtü Yükü Düzeltme Katsayısı	C_r Tij Boyu Düzeltme Katsayısı	C_s Numune Alıcı Tipi Düzeltme Katsayısı	C_b Sondaj Delgi Çapı Düzeltme Katsayısı	C_e Enerji Oranı Düzeltme Katsayısı	$N_{1,60}$ Düzeltmiş SPT -N Değeri	$N_{1,60cf}$ α / İnce Dane İçeriği / β / Düzeltmesi Yapılmış	$CRR_{M=7.5}$ Moment büyüklüğü 7.5 olan depr. karşı gelen tekrarlı	C_M Moment Büyüklüğü Düzeltme Katsayısı	τ_R Sıvılaşma Direnci	r_d Gerilme Azaltma Katsayısı	τ_{deprem} Zeminde Depremden Kaynaklanan Ort. Tekrarlı Kayma Geri.	TBDY-2018'e göre $FS_L = \tau_R/\tau_{deprem} \geq 1.10$ FS_L		Sıvılaşmaya Yatkın Tabaka Kalınlığı, m	W(z)	F(z)	Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi, I_L	Sıvılaşmaya Yatkın Tabaka Kalınlığı, m	W(z)	$P_I(z)$	Sıvılaşma Şiddeti İndeksi, I_L
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-	-10-	-11-	-12-	-13-	-14-	-15-	-16-	-17-	-18-	-19-	-20-	-21-	-22-	-23-	-24-	-25-		-26-	-27-	-28-	-29-	-30-	-31-	-32-	-33-
1-	1,50	8	CH				18,0	20,0		27,0	27,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	YAS yok	-	-	-	-	-	-	-	-
2-	3,00	9	GC				16,5	20,0	5,0	55,3	45,4	1,45	0,85	1,00	1,00	1,00	11	11	0,123	1,19	6,66	0,98	9,82	0,68	Sıvılaşma Beklenir	1,50	8,88	0,32	4,28	1,50	8,88	0,83	11,01
3-	4,50	11	SM				18,0	20,0	8,0	85,3	60,7	1,26	0,85	1,00	1,00	1,00	12	12	0,133	1,19	9,62	0,97	14,98	0,64	Sıvılaşma Beklenir	1,50	8,13	0,36	4,36	1,50	8,13	0,86	10,47
4-	6,00	13	SC				18,0	19,0	12,0	113,8	74,5	1,13	0,95	1,00	1,00	1,00	14	16	0,170	1,19	15,12	0,95	19,75	0,77	Sıvılaşma Beklenir	1,50	7,38	0,23	2,59	1,50	7,38	0,73	8,13
5-	7,50	15	CH				18,0	20,0	10,0	143,8	89,8	1,03	0,95	1,00	1,00	1,00	15	16	0,169	1,19	18,12	0,94	24,66	0,73	Sıvılaşma Beklenir	1,50	6,63	0,27	2,64	1,50	6,63	0,77	7,64
6-	9,00	18	GP-GM				19,0	20,0		173,8	105,1	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	17	17	0,183	1,19	22,90	0,93	29,45	0,78	Sıvılaşma Beklenir	1,50	5,88	0,22	1,96	1,50	5,88	0,72	6,35
7-	10,50	10	SM				19,0	20,0		203,8	120,4	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	9	9	0,104	1,19	14,88	0,89	33,14	0,45	Sıvılaşma Beklenir	1,50	5,13	0,55	4,23	1,50	5,13	0,97	7,44
8-	12,00	12	GP-GM				19,0	20,0		233,8	135,7	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	10	10	0,114	1,19	18,41	0,85	36,31	0,51	Sıvılaşma Beklenir	1,50	4,38	0,49	3,24	1,50	4,38	0,95	6,21

Şekil 10. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ile Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi (JMO, 2021b).

KAYNAKLAR

JMO, 2021a, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği -2018 İle Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi ve Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanal Deformasyon, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesap Cetveli Kullanım Klavuzu", Ankara, 38 s.

JMO, 2021b, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 ile Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi ve Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanal Deformasyon, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesap Cetveli (v 2-2021), Ankara, 2 s.

Obermeiser, S. F., 1996, Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis: Engineering Geology, 44, 1-76.

Seed, H. B., 1973, Landslides caused by soil liquefaction, in Committee on the Alaska Earthquake, The Great Alaska Earthquake of 1964, v. 7, pp. 73-119. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Ulusay, R., 2000, Zeminin sıvılaşması. Mavi Gezegen (Popüler Yerbilimleri) Dergisi, 2, 47-56 s.
Ulusay, R.,2001, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler; TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları (Genişletilmiş 4. Baskı), no: 38, Ankara, 385 s.
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.
Yılmaz, I., 2000, Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.
Yılmazer, İ., Yılmazer, Ö., Özkök, D. ve Gökçekuş, H., 1999, Jeoteknik Tasarıma Giriş; Yılmazer Eğitim ve Mühendislik, Ltd. Şti., 420. Sok, 259/1, 100.Yıl, 06530, Çankaya, Ankara, 216 s.
Youd, T. L., ve diğerleri, 1975, Liquefaction potential, in R. D. Borcherdt, ed., Studies for Seismic Zonation of the San Francisco Bay Region, s. A68-A74. U.S. Geol. Survey Paper 941-A.

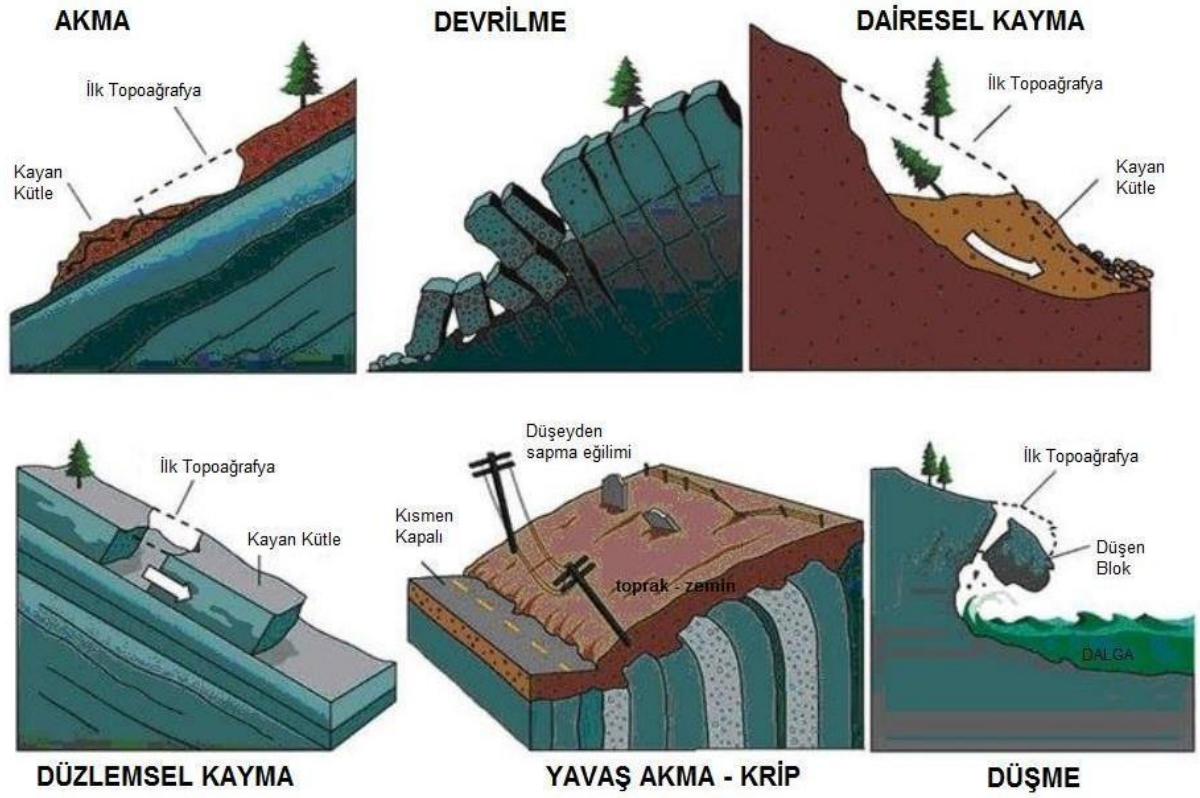
Bölüm 12. 3. HEYELANLAR-YER KAYMALARI

GENEL BİLGİLER

Yeryüzü, kimi yerlerde yatay ve düz, kimi yerlerde az ya da çok eğimli olan bir görünüme sahiptir. Düzensiz ya da belirli bir geometriye sahip eğimli yüzeyler "***Şev***" olarak adlandırılmaktadır. Şevler de doğal yamaçlar ya da mühendislik amaçlı yapay şevler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Dağların ya da tepelerin kenarları doğal şevlere, açık işletme ya da bir pasanın yığılması sırasında ortaya çıkan eğimli yüzeyler yapay şevlere örnek olarak verilebilir.

Bir yamacın ya da şevin konumunu koruyabilmesi ***duraylılık*** (stabilite), koruyamaması ***duraysızlık*** (instabilite) olarak tanımlanır. Yani şevin duraysızlığı, şevi oluşturan malzemenin makaslama yenilmesi sonucu aşağıya ya da şevin önündeki boşluğa doğru hareketiyle sonuçlanır.

Uzun süre duraylı kalabilen şevler de 1) sismik ya da erozyon (aşınma) sonucu ayak bölümünün aşınması ile gelişen fiziksel kuvvetler, 2) gözenek suyu basıncının artması, 3) malzemenin makaslanma dayanımının zamanla azalması, 4) Dışardan yükleme ya da ayrışma sonucu gerilim durumunun değişmesi ya da 5) ayrışma nedeniyle makaslama dayanımının azalması gibi nedenlerle duraysızlığa uğrayabilirler. Duraysızlığın genel yapıları Şekil 1'de görülmektedir.



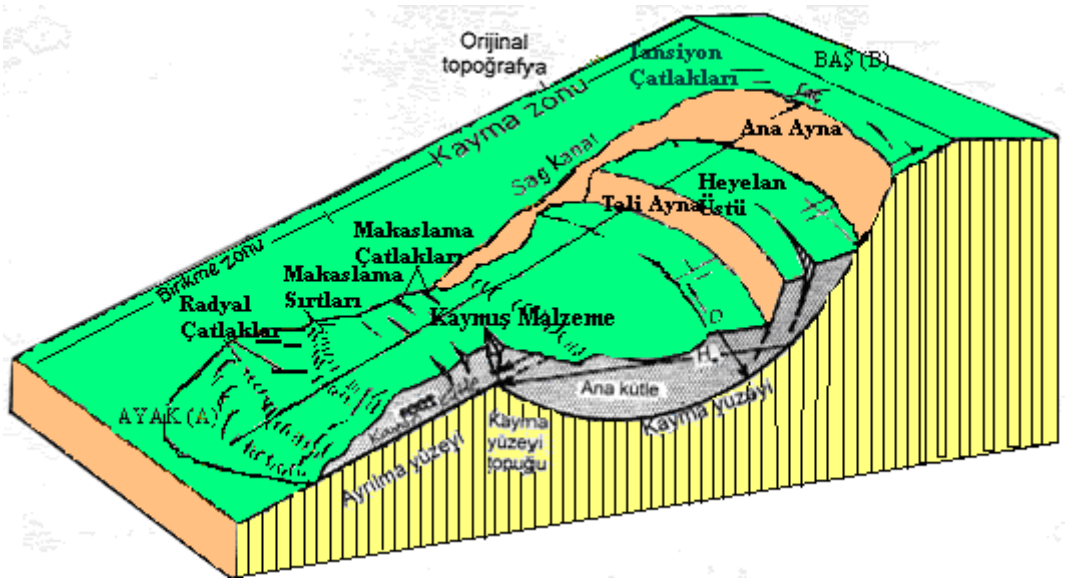
Şekil 1. Duraysızlık yapılarının genel şekilleri (Anaçali ve Şirin, 2015).

Yer kayması (landslide), toprak zeminlerin ya da kaya türlerinin yamaç boyunca fark edilebilir ölçüde yer çekimi yönünde kayması ya da devinmesi olarak tanımlanır. Başka bir deyişle yer kayması kaya ya da toprağın bulunduğu yerden koparak yer çekimi doğrultusunda kayıp yuvarlanması olayıdır. Yer kaymasında bir kayma düzlemi ve kaymış olan gerecin biriktiği bir alan vardır.

Yer kayması (Heyelan) terimi, geniş bir anlamda kullanılmaktadır. **Toprak kayması** karşılığı olarak da kullanılan yer kayması, her yıl önemli derecede insanların yaşamını yitirdiği ve yer seçimi için özen gösterilmemiş önemli yapıların milyonlarca dolarlık hasar gördüğü bir tehlikedir.

BİR HEYELANIN BÖLÜMLERİ

Heyelanın başladığı yere BAŞ **(B)**, sonlandığı yere de AYAK **(A)** denir (Şekil 2). **A,** yer kaymasının etkilediği kritik alandır. Örneğin A, bir ırmağın su düzeyinin, yeraltı su düzeyinin altında bulunduğu bir konumda, şevde toprak zemin de aşınma geçirirse, yamaç duraysız bir hal alır ve yer kayması oluşur. Dolayısıyla, yer kaymaları akarsu kenarında ve özellikle büklerde sıkça gelişir.



Şekil 2. Bir yer kaymasının (heyelanın) bölümlerini gösteren blok diyagram (Nilsen ve Brabb, 1972; Varnes, 1978).

Heyelanın başlıca bölümleri Şekil 2'den izlenebilir.

Baş (Taç): Yer değiştiren gereçlerin en üst bölümü.

Ayak (Topuk): Esas sarplıktan belirli bir uzaklığa yer değiştirmiş gereçlerin biriktiği yer.

Ana ayna (Esas sarplık): Kaymış ve kaymamış toprak arasındaki dik yüzey. Kaymış gereçlerin altındaki sarp yüzeyin görünümü, heyelandan en çok etkilenen yüzeydir.

Tali ayna (Küçük sarplık): Kayan kütle arasında küçük hareketlerle yer değiştiren gereçler tarafında oluşturulan dik yüzey.

Bir yer kaymasının ***kayma zonu*** Baş (B) tarafında, ***birikme zonu*** ise Ayak (A) tarafında ye alır. Baş ve Ayak bölümlerinin her birinin kendine özgü ***kayma-ayrılma yüzeyleri*** ve ***çatlak türleri*** bulunur.

Açık ocak işletmelerinde, kayma, öncelikle, sırt doruğunun oldukça aşağısında belirir ve önce bir yarık açılır. Önlemler de bu sırada uzmanlarca başlatılmalıdır. Açık ocak işletmelerde bir yarık açılıp genişlerse, yetkililere haber vererek gerekli önlemler alınmalıdır. Böyle bir aşamada yöreyi boşaltmak en güvenilir önlemdir.

YAMAÇ (ŞEV) DURAYSIZLIĞININ TÜRLERİ

Şev duraysızlığının sınıflandırılmasında, konuyla ilgili mühendislik dalları arasında bilimsel ve teknik iletişimin yeterli düzeyde sağlanabilmesi için aşağıdaki ölçütlerin esas alınmasında yarar vardır.

- Morfoloji, kayma yüzeyinin ya da şevin geometrisi,
- Devinimin meydana geliş biçimi ve hızı,
- Kayan malzemenin türü ve tane boyutu,
- Kaymanın yaşı.

Günümüzde şev duraysızlıklarının sınıflandırılmasında yukarıda belirtilen ölçütlerden önemli bir bölümü gözetilerek Varnes (1978) tarafından önerilen Çizelge, 1' de sunulan sınıflama yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sınıflamada sunulan duraysızlık türlerinin açıklamaları aşağıdadır:

Çizelge 1. Şev duraysızlığı türleri için Varnes' in (1978) mühendislik sınıflaması

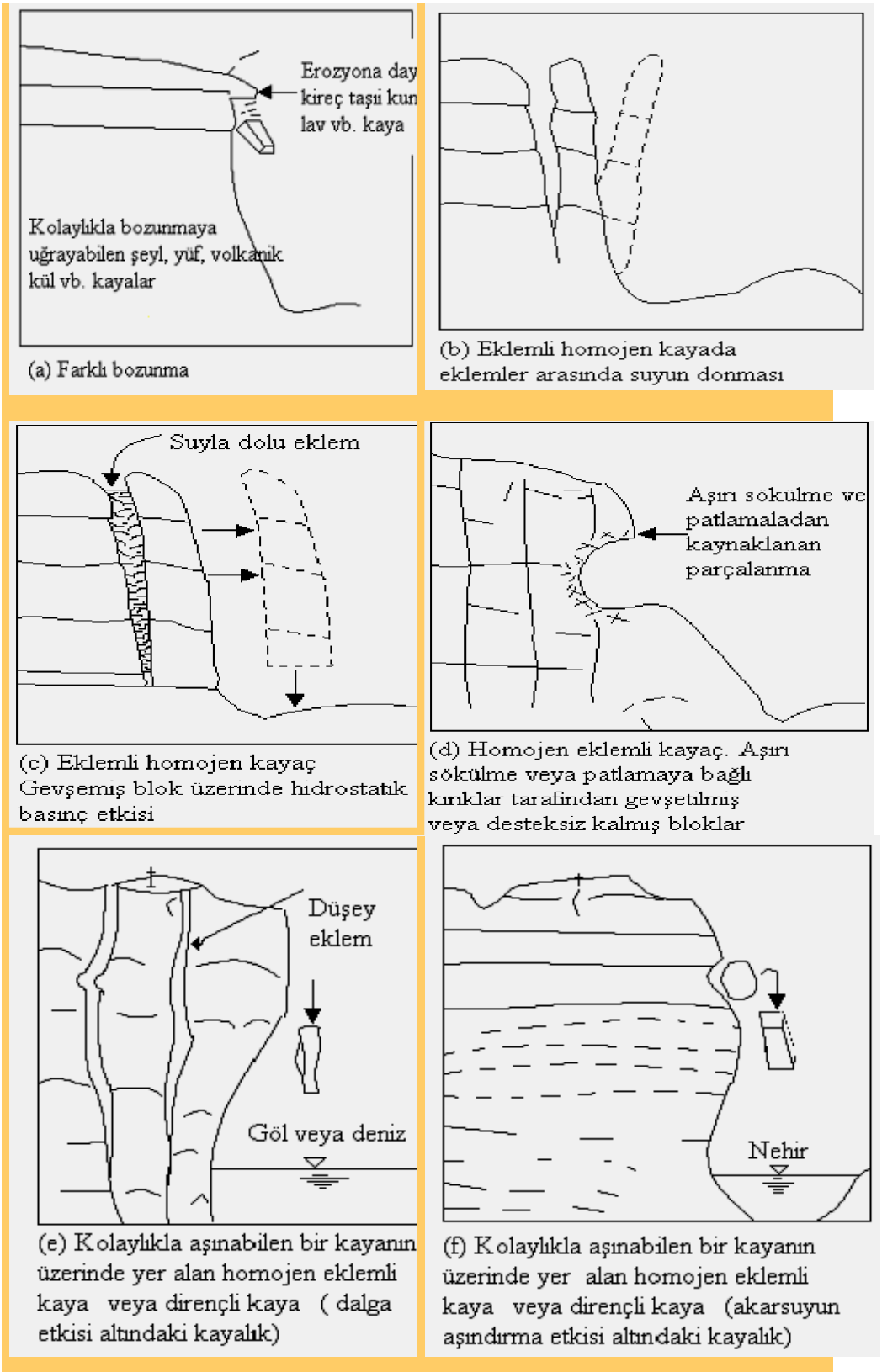
<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">DURAYSIZLIK TÜRÜ</td><td colspan="3">MALZEMENİN TURU</td></tr>
<tr><td colspan="2">TOPRAK ZEMİNLER</td><td rowspan="2">ANA KAYA</td></tr>
<tr><td>İNCE TANELİ</td><td>İRİ TANELİ</td></tr>
<tr><td colspan="3">DÜŞME</td><td>Zemin düşmesi</td><td>Moloz düşmesi</td><td>Kaya düşmesi</td></tr>
<tr><td colspan="3">DEVRİLME</td><td>Zemin devrilmesi</td><td>Moloz devrilmesi</td><td>Kaya devrilmesi</td></tr>
<tr><td rowspan="2">KAYMA</td><td>DÖNEL (Dairesel)</td><td>Sınırlı sayıda birim</td><td>Zeminde dairesel kayma</td><td>Molozda dairesel kayma</td><td>Kayada dairesel kayma</td></tr>
<tr><td>ÖTELENMELİ</td><td>Çok sayıda birim</td><td>Zeminde blok türü ötelenme
Zemin kayması</td><td>Moloz da blok türü ötelenme
Moloz kayması</td><td>Kayada blok türü ötelenme
Kaya ötelenmesi</td></tr>
<tr><td colspan="3">YANAL YAYILMA</td><td>Zemin yayılması</td><td>Moloz yayılması</td><td>Kaya yayılması</td></tr>
<tr><td colspan="3">AKMA</td><td>Zemin akması</td><td>Moloz akması</td><td>Kaya akması</td></tr>
<tr><td colspan="3">KARMAŞIK KAYMALAR</td><td colspan="3">Yukarıda belirtilen diğer duraysızlık türlerinden ikisinin veya birkaçının birleşmesiyle gelişen duraysızlıklar</td></tr>
</table>

Düşme

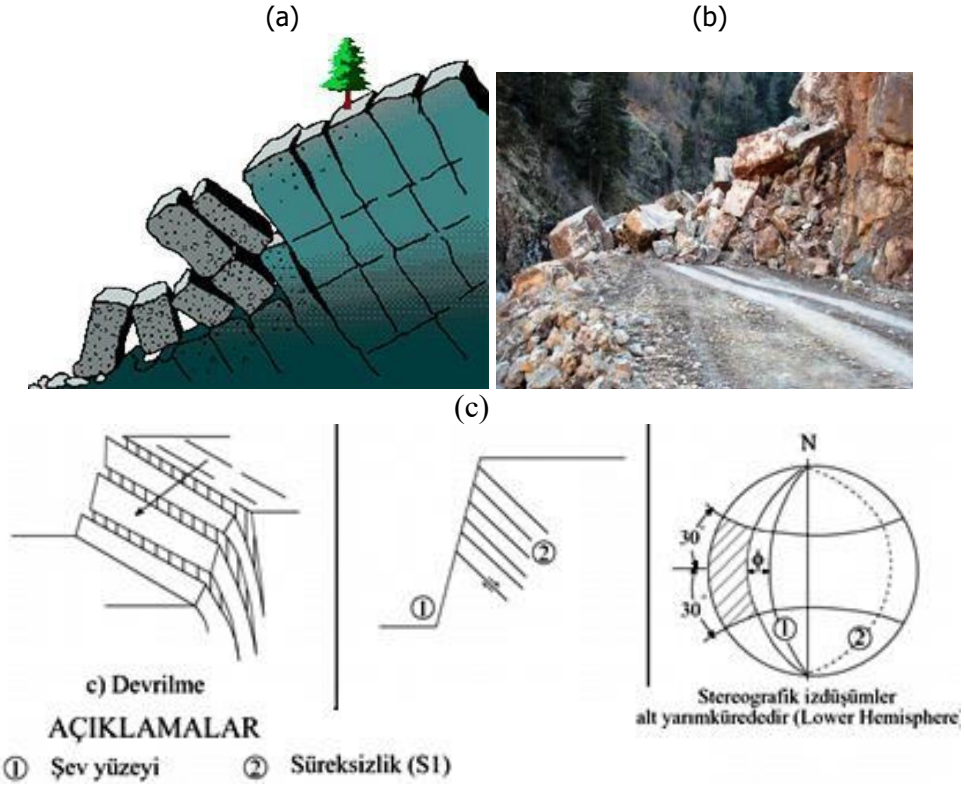
Bu duraysızlık türü; herhangi bir makaslama yenilmesi meydana gelmeksizin, Şekil 3'da gösterilen süreçler sonucunda, kaya veya toprak zemin kütlesindeki zayıflık yüzeyleriyle sınırlanmış münferit blokların yerçekimi etkisiyle düşmesi şeklinde tanımlanır (Şekil 3).

Devrilme

Devrilme, kaya ya da toprak zemin türü malzemelerde açılmış şevlerde zayıflık düzlemleriyle sınırlanmış tekçe blokların ağırlık merkezinin altındaki bir nokta yada eksen etrafında kazı boşluğuna doğru hareket etmeleriyle gerçekleşir. Bu duraysızlık türü özellikle eğimi şev içine doğru ve devamlılığı fazla olan süreksizlikler tarafından bölünmüş, dolayısıyla kolonsal bir yapıya sahip kaya kütlelerinde daha yaygın olarak gelişir. Şekil 4' de Devrilme türü stabilite yenilmeleri (a, b) ve kinematik analizi (c) görülmektedir (Anaçali ve Şirin, 2015).



Şekil 3. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Foley ve diğerleri, 1993; Ulusay, 2001).



Şekil 4. Devrilme türü stabilite yenilmeleri (a, b) ve kinematik analizi (c) (Anaçali ve Şirin, 2015).

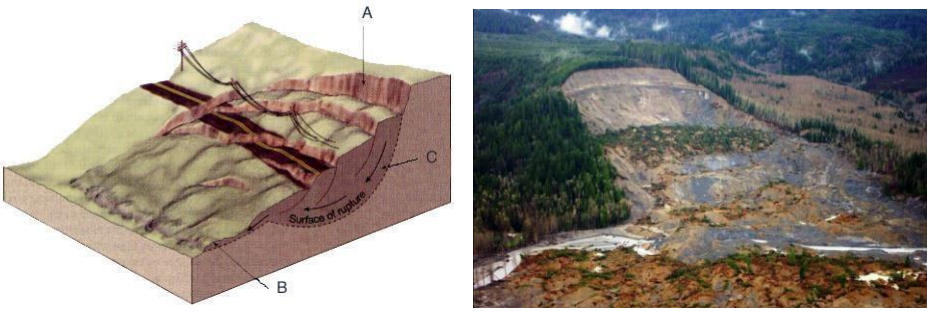
Kayma

Kayma, şevi oluşturan malzemede, belirgin bir yüzey boyunca ve makaslama yenilmesine bağlı olarak, yerçekimi yönünde dönel veya ötelenmeli (düzlem üzerinde) bir hareket sonucu meydana gelen bir duraysızlık türüdür. Bu duraysızlık türleri genel olarak yer kayması (heyelan) olarak kabul edilmektedir. Şevlerde karşılaşılan en yaygın duraysızlık türü olan yer kaymaları, dönel ve ötelenmeli kayma olmak üzere iki şekilde gelişirler (Şekil 5).

(1) Dairesel (dönel) kayma

Bu tür kaymalar, dairesel (kaşık şeklinde) yüzeyler boyunca gelişir ve hareket sırasında kayan kütle geriye doğru yatmış gibi bir konum kazanır (Şekil 5). Kayma, yavaş ya da orta derecede bir hızla ve belirgin bir yerilme yüzeyi boyunca meydana gelir. Dairesel kayma; kil, silt, kum gibi toprak zeminlerin yanı sıra, akarsu kanallarında, yol yarmalarında, dolgularda, atık yığınlarında ve ileri derecede eklemli kaya kütlelerinde ya da ileri derecede ayrışmış kayalarda (Şekil 5 ve 6) meydana gelir.

Şekil 5. Dairesel kayma: a, Kayan malzemenin baş ve ayak bölümleri arasındaki mesafe; r ise dairesel kaymanın yarıçapını temsil etmektedir (Ulusay, 2001).

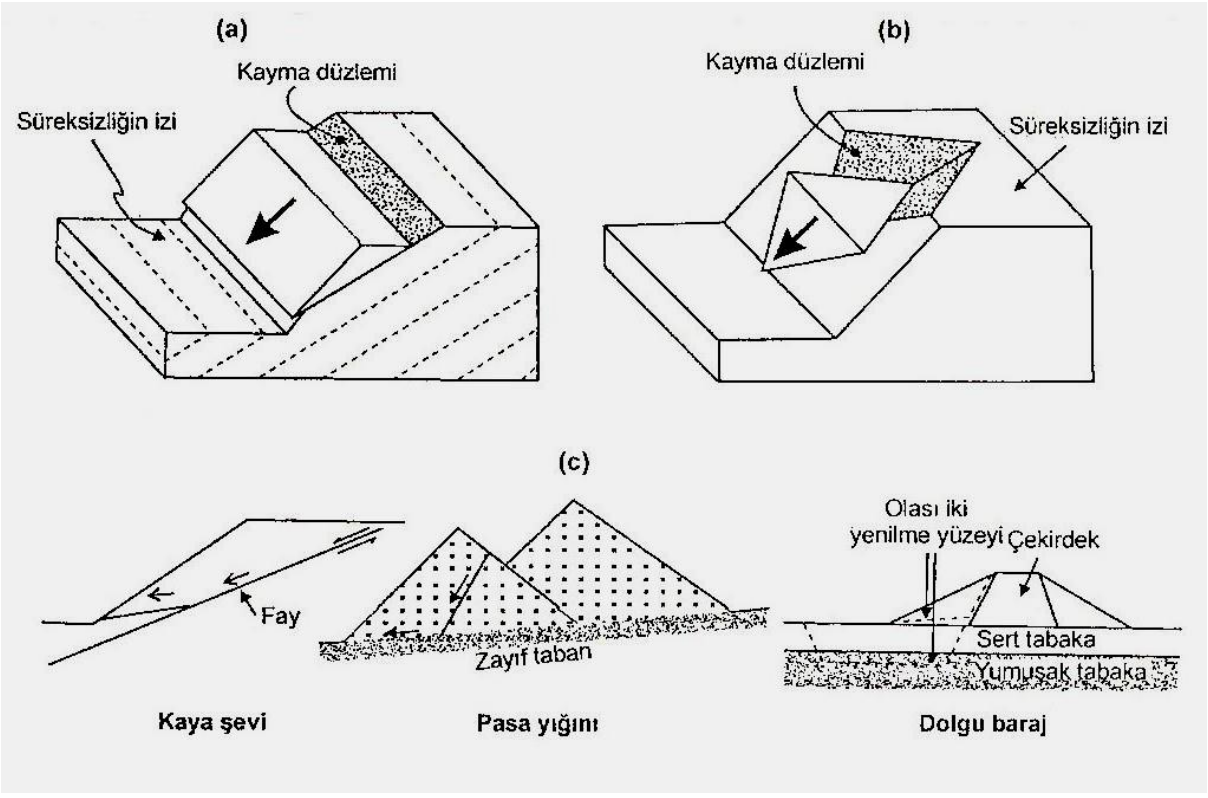


Şekil 6. Dairesel kayma yapısı (a) ve çoklu kayma örneği (b) (Anaçali ve Şirin, 2015).

(2) Ötelenmeli kayma

Bu tür duraysızlıklarda kaymalar, düz ya da çok az ondülasyonlu bir yüzey boyunca gelişen makaslama yenilmesine bağlı olarak, malzemenin kayma yüzeyine paralel bir şekilde yerçekimi yönünde hareketiyle gelişir.

Hareket eden kütle, dairesel kaymalarla karşılaştırıldığında, aşırı derecede biçim değişimine uğramaz. Bu tür duraysızlıklar, kaya ya da toprak zemin malzemesine oranla daha düşük makaslama dayanımına sahip olan tabakalanma, eklem, fay, makaslama zonu, yapraklanma (şistozite) gibi süreksizlik yüzeyleri boyunca meydana gelen, dolayısıyla süreksizlik denetimli duraysızlıklardır. Türleri aşağıda verilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Ötelemeli kayma türleri: (a) Düzlemsel kayma, (b) kama tipi kayma ve (c) farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001).

1- Düzlemsel kayma:

Düzlemsel kayma, eğimi şev eğiminden küçük olan düşük dayanımlı zayıf bir düzlem üzerindeki kütlenin kazı boşluğuna doğru hareket etmesiyle meydana gelir (Şekil 7a).

2- Kama türü kayma:

Bu tür duraysızlık, kesişen iki süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral bir kama bloğunun, eğimi şevinkinden daha yatık olan kesişme hattı boyunca öne doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir (Şekil 7b).

3- İki ya da çok yüzeyli kayma:

Bu duraysızlık türü, birden fazla süreksizlik veya zayıflık yüzeyi üzerinde meydana gelir. Özellikle fay ve tabakalanma yüzeylerinin birleşmesi sonucu doğal ortamlarda ya da zayıf zeminler üzerinde yer alan pasa yığınları ile dolgularda gelişebilen tipik bir duraysızlıktır (Şekil 7c)

Yanal yayılma

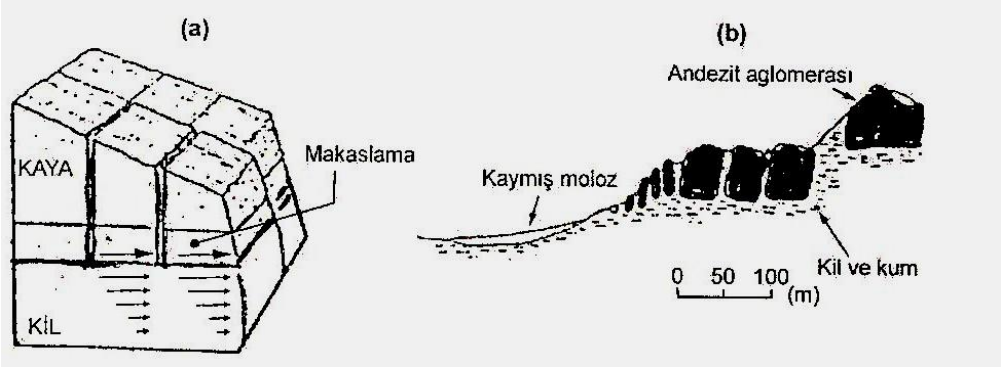
Bu tür duraysızlığın meydana gelmesinde, makaslama veya gerilme (çekme) eklemlerinin eşlik ettiği yanal bir genişleme devinimi rol oynamaktadır. Hareket hızının çok yavaş olduğu yanal yayılma duraysızlığının aşağıda kısaca belirtilen iki türü vardır (Şekil 8). Yanal kaya kayması ve yanal zemin kayması. Ancak her iki tür de, depremler sırasında zemin sıvılaşmasına bağlı olarak gelişen yanal yayılma davranışından farklılık gösterir.

(1) Yanal kaya yayılması

Şev, yumuşak bir malzemenin üzerinde yer alan daha sıkı-sert bir birimden oluşur. Yumuşak malzeme şevin dışına doğru plastik bir davranış sergiler ve akma şeklindeki harekete bağlı olarak alttaki sert malzeme de bloklara ayrılır ve plastik malzeme tarafından taşınarak bu harekete katılır (Şekil 8a).

(2) Yanal zemin yayılması

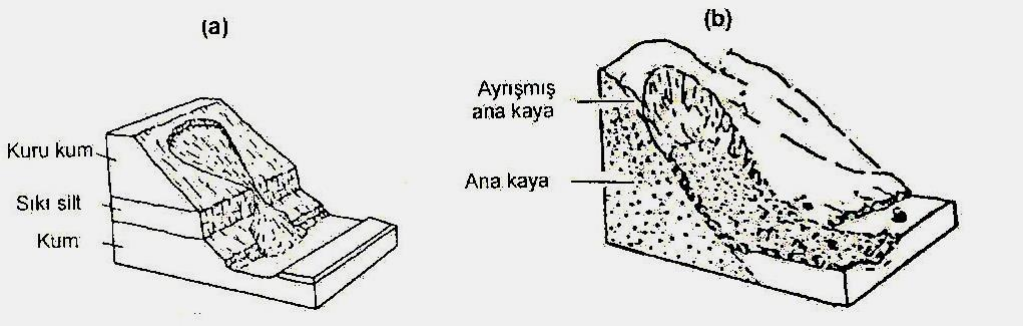
Bu duraysızlık türü; killi, göreceli olarak zayıf ve sönümlü bir malzeme içinde yüzer konumdaki sert ve eklemli büyük kaya bloklarının bu malzeme ile birlikte yavaş bir harekete maruz kalmasını tanımlar (Şekil 8b). Yıllık hareket hızı 10-25 mm arasında değişir ve genellikle hareket kolay fark edilemez. Aşırı gözenek suyu basınçları hareketi etkileyen önemli faktörlerden birisidir.



Şekil 8. (a) Yanal kaya yayılması ve (b) yanal zemin yayılması (Ulusay, 2001).

Akma

Pekişmemiş ve katılaşmamış (konsolide olmamış) malzemelerin doygun yada kuru halde ve yavaş yada hızlı bir şekilde yamaç boyunca kıvamlı bir sıvı gibi hareket etmeleri, akma duraysızlığına neden olmaktadır. Kuru kumlar ile kil boyutundan moloz boyutuna kadar değişen malzemelerde bu tür duraysızlıklar gelişebilir (Şekil 9). Akmalar da kum akması, çamur akması (Şekil 9a) ya da moloz akması (Şekil 9b) biçiminde adlandırılırlar.



Şekil 9. Akma örnekleri: (a) Kuru kum akması ve (b) moloz akması (Ulusay, 2001).

Karmaşık Kaymalar

Bu tür duraysızlıklar, hareketin farklı aşamalarında yukarıda belirtilen başlıca duraysızlık türlerinden en az ikisinin veya birkaçının birlikte gelişmesi sonucunda meydana gelebilirler. Örneğin,

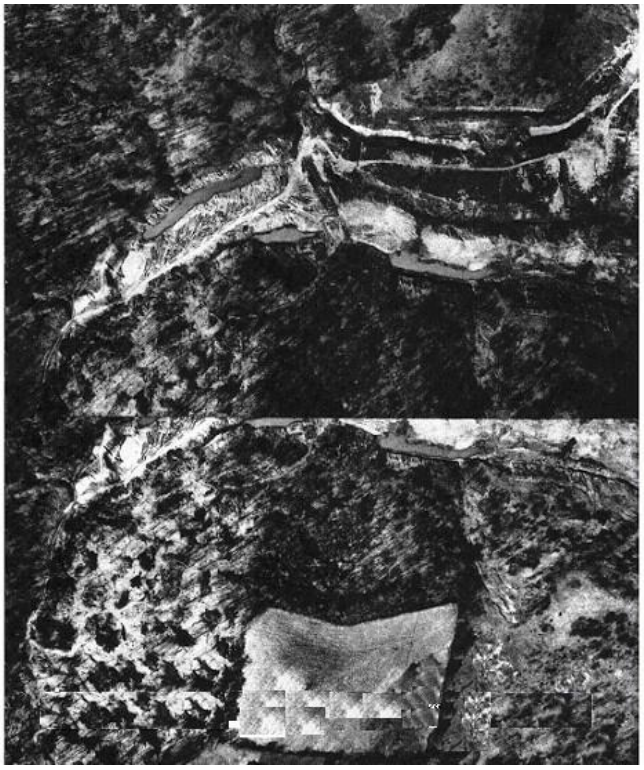
* Kayma ve kaya düşmesi
* Dönel kayma ve zemin akması
* Dönel kayma ve kaya düşmesi
* Kaya düşmesi ve moloz akması gibi duyarsızlıklar, karmaşık kayma grubunda değerlendirilebilecek duraysızlık türleridir.

HEYELANLARIN ARAZİDE TANINMASI

Dünya'da ve ülkemizde yer kaymaları ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Heyelanlara işaret eden başlıca özellikler aşağıda sunulmuştur:

1- Küçük gölcükler.
2- Doğal şifalı sular
3- Akaçlamada yönü ani değişen sırt, dere gibi yapılar.
4- Hörgüçlü tepecikler.
5- Küçük toprak kayması birikintileri
6- Yığışımın en üst noktasındaki dik sarplıklar
7- Düzensiz toprak ve bitki örtüsü

Geniş, düz ve temel konumundaki araziler ise mühendislik yapıları için uygun görünebilir. Genel olarak, yukarıdaki özelliklerin bir kaçı birlikte varsa yer kaymalarının meydana gelebileceği gözetilmelidir. Ayrıca, hava fotoğrafları, yer kaymalarının tanınmasında önemli katkılar sağlar. Örneğin, Şekil 10'daki aşmalı çekilmiş hava fotoğraflarında steroskopik bir görüş sağlanırsa yer kaymasının (heyelanın) yeri ve konumu belirgin bir biçimde görülür.



Şekil 10. Batı Ohio'daki heyelan alanının aşmalı çekilen hava fotoğrafları. Steroskopik görüş sağlanırsa, heyelan yeri kolaylıkla bulunabilir (Foley ve diğerleri, 1993'den alınmıştır).

HEYELANLARIN VE ŞEVLERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

Eğimli yamaçların (şevlerin) duraylılığı, kinematik, analitik ve sayısal (nümerik) analiz yöntemlerinden yararlanılarak incelenir.

Kinematik analiz yöntemi, duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından denetlendiği kaya şevlerinde duraylı ve duraysız olabilecek şevlerin ayırt edilmesi amacıyla, ayrıntılı analizlere başlanmadan önce yararlanılan pratik bir yöntemdir.

Bu yöntemde; düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar incelenir ve şev ile duraysızlığa neden olabilecek süreksizliklerin konumu ve süreksizlik yüzeyinin içsel sürtünme açısı (ϕ) analizlerde girdi parametresi olarak kullanılır. Dolayısıyla bu yöntemde; şevin geometrisi, kayan kütlenin ağırlığı, kohezyon ve birim hacım ağırlık parametreleri, yeraltı suyu ve dış yükler ile şevdeki gerilim koşulları dikkate alınmaz.

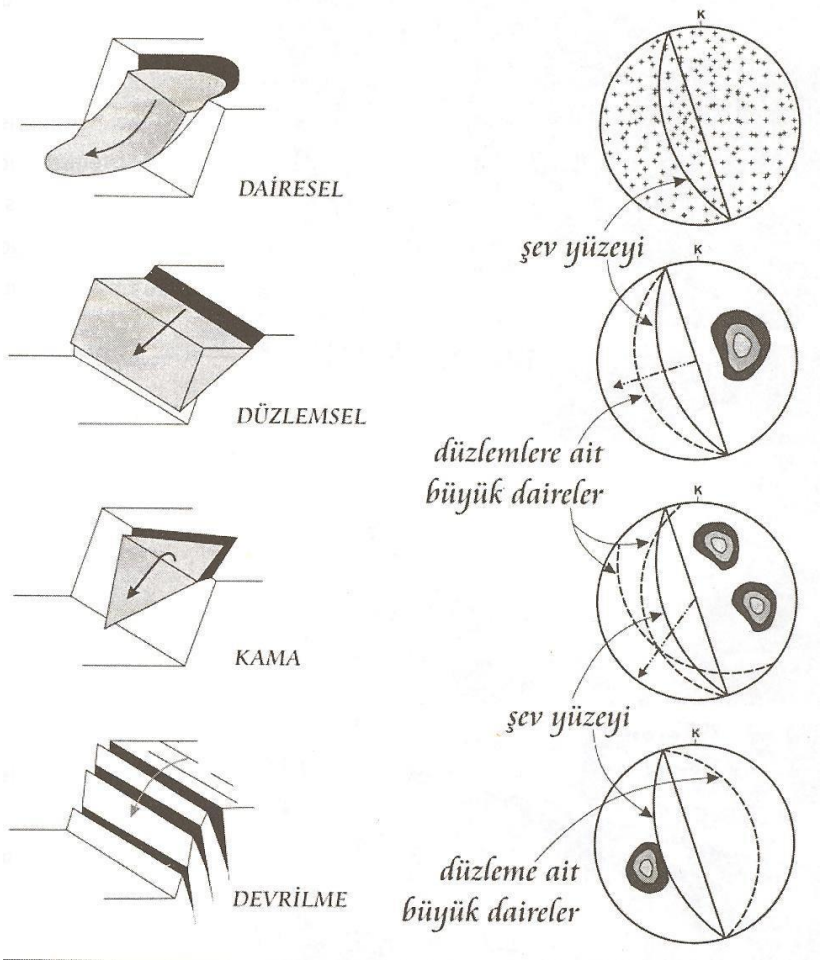
Kinematik analizlerde ilk aşamada, süreksizlik setlerinin ve incelenen şevin konumu (büyük daireleri) ile kutup noktaları steronete işlenir. Şevin ve ana süreksizlik düzlemlerinin konumu değerlendirilerek, duraysızlık türü tanımlanır. Buna göre de gerekli önlemler belirlenir.

Ancak yer kaymalarının ***analitik ve sayısal analiz yöntemlerinde,*** öncelikle heyelan oluşumuna yol açan olguyu tanımlamak gerekir. Herhangi bir heyelan analizinde, kopma yüzeyinin oluşumunun ve bu yüzey boyunca devinimin hangi faktörler tarafından denetlendiğine karar vermek önemlidir. Bu da heyelanların duraylılığını içeren mühendislik analizlerini ve heyelan devinimi ile ilgili jeolojik ve meteorolojik koşulların analizini gerektirir.

Kinematik analiz yönteminde düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar incelenir ve şev ile duraysızlığa neden olabilecek ***süreksizliklerin*** konumu ve süreksizlik yüzeyinin ***içsel sürtünme açısı*** **(ϕ)** analizlerde girdi değişkeni olarak kullanılır. Dolayısıyla bu yöntemde; şevin geometrisi, kayan kütlenin ağırlığı, kohezyon ve birim hacım ağırlık değişkenleri, yeraltı suyu ve dış yükler ile şevdeki gerilim koşulları dikkate alınmaz.

Kinematik analizlerde ilk aşamada, süreksizlik setlerinin ve incelenen şevin konumu (büyük daireleri) ile kutup noktaları steronete işlenir. Kaya şevlerinde gelişen başlıca duraysızlık türleri ve bunların steronette sunumu Şekil 11'de görülmektedir (Yılmaz, 2007). Gerek şevin, gerekse ana süreksizlik düzlemlerinin konumundan ortaya çıkan durum, mevcut koşullara göre değerlendirilerek, olası duraysızlık türü tanımlanır.

Düzlemsel, kama ve dönel (dairesel) kaymaların kinematik analizinde bu üç duraysızlık türünün kinematik anlamda önlenmesine yönelik değerlendirmelerde kullanılabilen yöntemler de vardır. Analitik değerlendirme yer kaymalarının (heyelanların) analizi çerçevesinde irdelenmekte, sayısal analiz yöntemleri ise bu konunun kapsamı dışındadır.



Şekil 11. Kaya şevlerinde gelişen başlıca duraysızlık türleri ve bunların steronette gösterilmesi (Yılmaz, 2007).

HEYELANLARIN ANALİZİNE DAİR TEMEL BİLGİLER

Herhangi bir yer kayması analizinde, kopma yüzeyinin oluşumunun ve bu yüzey boyunca devinimin hangi faktörler tarafından denetlendiğine karar vermek önemlidir. Bu da heyelanların duraylılığını içeren mühendislik analizlerini ve heyelan devinimi ile ilgili jeolojik ve meteorolojik koşulların analizini gerektirmektedir. Öncelikle, kopma yüzeyindeki ilişkilerle duraylılığı etkileyen faktörlerin incelenmesi önemlidir.

Kopma yüzeyindeki ilişkiler

Bir kayma, potansiyel bir kopma yüzeyi boyunca etkin olan kuvvetin, kopmaya karşı olan kuvveti aştığı durumlarda meydana gelebilir. Kopmaya yol açan kuvvet, ***yerçekimi kuvveti***dir. Kopmaya karşı koyan kuvvet ise ***makaslama dayanımı*** olarak tanımlanır.

Şekil 12'de yatayla açı yapan bir kayma yüzeyinde yer alan gereçlerin bir dilimi görülmektedir. Bu durum, kütle akmalarına benzemektedir. Şekil 12'de, koyu gri olarak görülen bloğu etkileyen kuvvetler, iki temel bileşene ayrılabilir. Bu bileşenlerden biri kayma yüzeyine dik, diğeri ise koşuttur. Dik bileşen, normal kuvvet bileşeni (F_n), paralel bileşeni ise tanjansiyal kuvvet (F_t) olarak adlandırılır. Bu kuvvetler gerilme kuvvetlerine dönüştürülebilir. ***Bu da kuvvetin* (F), *etkin olduğu yüzeyin alanına* (A) *bölünmesiyle*** olmaktadır. Başka bir deyişle; gerilme, yani birim alanı etkileyen kuvvet bir düzlemin doğrultusu boyunca meydana gelmektedir. Dolayısıyla normal gerilme (σ_n) = F_n/A olarak gösterilir. ***Normal gerilme, kaymayı önlemektedir***. Makaslama gerilmesi (τ), kayma yüzeyine paralel olarak yer alır ve (τ) = F_t/A olarak tanımlanır. ***Makaslama gerilmesi, kopmaya ya da kaymaya neden olmaktadır.***

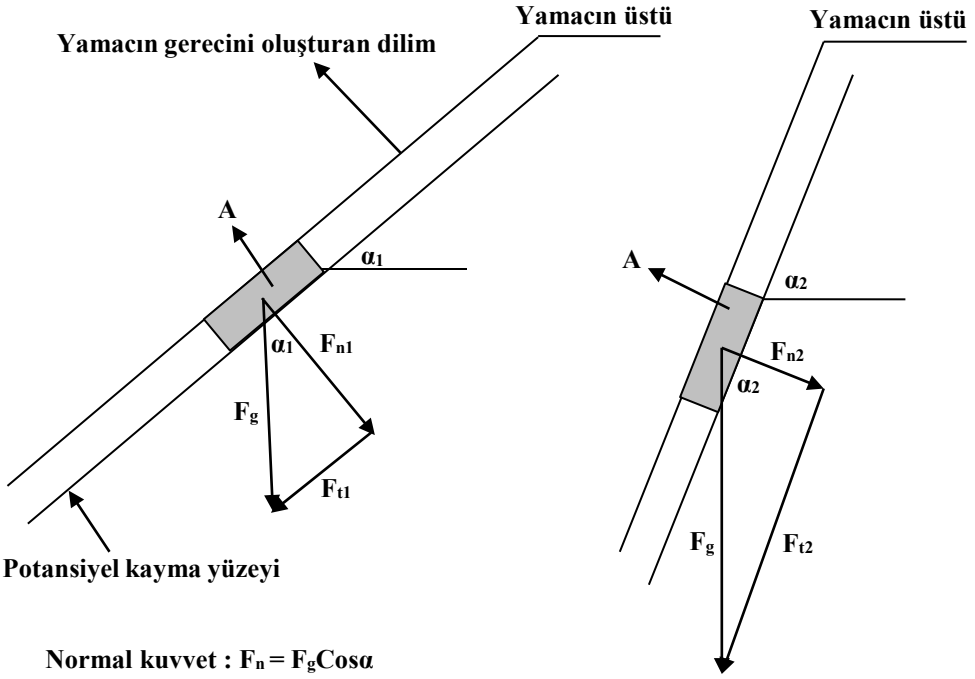
Kopma yüzeyi boyunca, gereçler her noktada bir makaslama dayanımına (S) sahip olup gerecin kopmaya karşı dayanımlılığı olarak ölçülebilir. Dengede olan gereçlerin makaslama dayanımı, kopmaya yol açan makaslama gerilmesine eşittir. Deneysel çalışmalardan alınan sonuçlara göre, çoğu gereçlerin makaslama dayanımı Coulomb eşitliği ile ifade edilebilir.

$$S = c + \sigma_n \tan\Ø$$

Burada; S: makaslama dayanımını ifade eder. Eşitliğin sağ tarafındaki diğer terimler ise aşağıda sunulmuştur:

1. σ_n, potansiyel olarak kayma düzlemindeki normal gerilmeyi tanımlamaktadır. Normal gerilmenin büyüklüğü bu kayma düzlemindeki yüke bağlı olarak değişmektedir.
2. c, gereçlerin kohezyonunu temsil etmektedir. Kohezyon, gereci oluşturan tanelerin birbirine bağlanma yeteneği olarak kabul edilir. Eğer bir gereci oluşturan taneler gevşek tutturulmuşsa sıfır kohezyona (c=0) sahip olduğu, fakat kum ve kil tanelerinden oluşan bir gereç sınırlı bir kohezyon değerinde olduğu kabul edilmektedir (c>0). Bir gerecin kohezyon değeri, cismin yoğunluğu gibi deneysel çalışmalarla belirlenebilir.
3. tanØ, içsel, sürtünme katsayısı olarak tanımlanır. İçsel sürtünme katsayısı, blok türü kaymalarda deneysel olarak ölçülebilir.

Şimdi tüm eşitliğe bakılırsa, makaslama dayanımı (S), kohezyon (c) ile normal gerilme (σ_n) ve içsel sürtünme katsayısının (tanØ) çarpımının toplanmasıyla tanımlanabilir. Bu eşitlik de gereçlerin hangi faktörlerin makaslama dayanımını etkilediğini de göstermektedir.



Normal kuvvet : $F_n = F_g Cos\alpha$
Tanjansiyel kuvvet : $F_t = F_g Sin\alpha$
(Makaslama)

Potansiyel kayma yüzeyi boyunca normal gerilme = $\sigma_n = F_g Cos\alpha / A$

Potansiyel kayma yüzeyi boyunca makaslama gerilmesi = $\tau = F_g Sin\alpha / A$

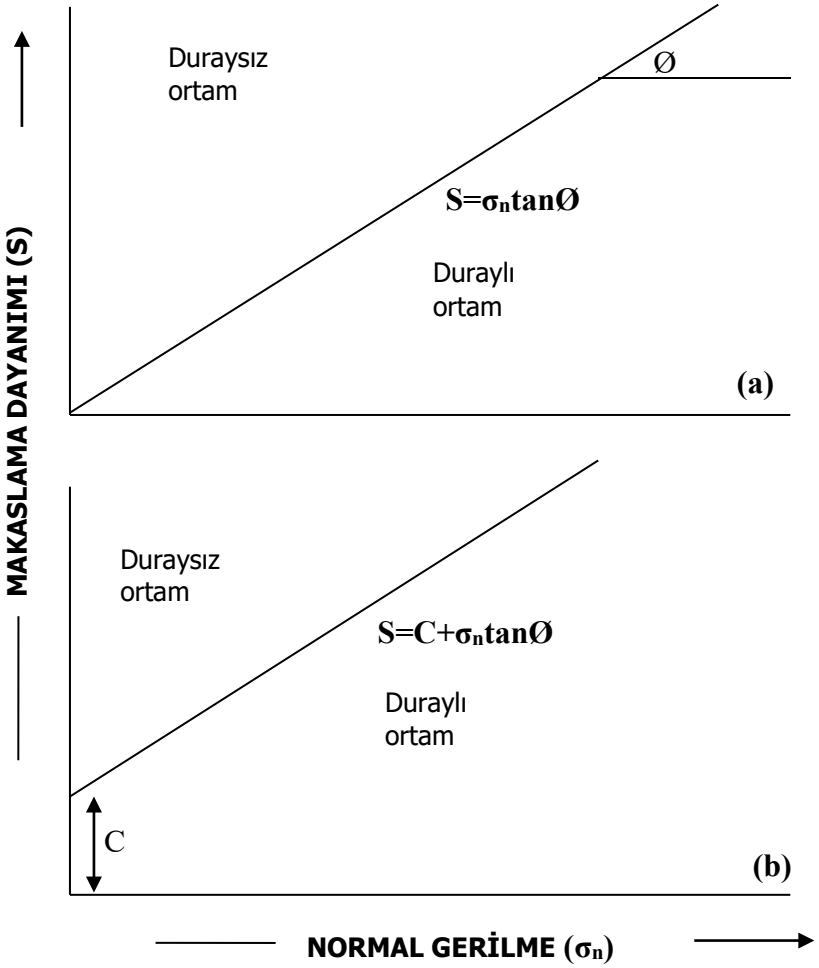
A: Kaymış bölümün alanı

Şekil 12. Yamacın gerecini oluşturan bir dilim üzerindeki çeşitli kuvvetler (Lundgren, 1986).

Yer kaymalarının gelişmiş olduğu gereçlerin dayanımı, yerin yüzeyinde en düşük durumdadır. Kayan kütlelerin derin bölümlerinde üstte yer alan gereçlerin ağırlığı nedeniyle meydana gelen basınç, makaslama dayanımında artışa neden olur. Makaslama dayanımı (kopmaya neden olan makaslama gerilmesiyle artan basınç) ile normal gerilme arasındaki ilişkiler ise Şekil 13'de görülmektedir. Makaslama dayanımı, kohezyon ve gereçlerdeki içsel sürtünme açısı deneysel olarak incelenmiştir. Şekil 13'de verev çizginin altındaki alanla temsil edilen fiziksel koşullarda gereçler duraylıdır. Çizginin üstündeki koşullarda ise kopmanın oluşması beklenmektedir.

Su basıncı

Bu deneysel çalışmalarda suyun rolü gözetilmemiştir. Suyun gereçlerin gözeneklerine girmesine izin veren, doğal koşullara oldukça benzer testler yapılabilir. Su basıncı, ***gözenek-su basıncı*** ya da ***gözenek basıncı*** **(p_w)** olarak adlandırılır ve gerecin basıncından bağımsızdır. Böyle koşullar, heyelanlarda çok belirleyicidir. Bir heyelanda, potansiyel yer kayması kütlesindeki yeraltı su düzeyi ve çeşitli derinliklerde meydana gelen su basıncı değerlendirilebilir. Gözenek su basıncındaki bir artışın, gereçlerin geriliminde bir azalmaya yol açtığı deneysel olarak saptanmıştır.



Şekil 13. Kırılma düzlemi üzerinde makaslama dayanımı ile normal gerilme arasındaki ilişkiler görülmektedir. (a)'da gerecin kohezyonu (C) sıfırdır. (b)'de ise gerecin sınırlı bir kohezyonu vardır. Her eğim için eşitlik sunulmuştur (Lundgren, 1986).

Normal bir gerilmenin ürünü olarak ***su basıncının*** kopma düzleminin üzerindeki bloğu kaydırabileceği düşünülmektedir. Bu da Coulomb'un aşağıda görülen eşitliği ile açıklanabilir.

$$S = c' + (\sigma_n - p_w) \tan\text{Ø}$$

$$S = c' + (\sigma_n') \tan\text{Ø}'$$

$(\sigma_n - p_w)$ ya da (σ_n'), etkin olan bir normal gerilme olarak adlandırılır. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı sıra ile c' ve Ø' olarak gösterilmiştir. Bu da kuru gereçler için kabul edilen değerlerden farklı değerlerin gözetildiğini göstermektedir. Gereçlerdeki su basıncının artması, potansiyel kopma düzlemindeki etkili normal gerilmeyi düşürmektedir. Böylece, etkin normal gerilme, su basıncının sıfır olduğu durumlarda potansiyel kopma düzlemi üzerindeki etkin normal gerilmedeki azalma kopma için gerekli olan makaslama gerilmesini azaltmada rol oynar ve daima normal gerilmeden düşük olur. Başka bir deyişle gereçlerin makaslama dayanımı azalır. Bu da heyelanın olmasına yol açar. Bu arada sunulan bilgiler herhangi potansiyel heyelan kütlesinin duraylılığını hesap etmek için gerekli olan yöntemlerin temelini oluşturmaktadır.

HEYELANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şevlerin duraylılığını değerlendirmek üzere geliştirilen jeoteknik yöntemler heyelanlara da uyarlanabilir. Bu yöntemler kanallar, karayolları, demiryolları, barajların inşaatında karşılaşılan örneklerle geliştirilmiş olup, yeterli verinin sağlandığı durumlarda kullanılabilirler.

Mühendislik çalışmalarında yamaç duyarlılığı genel olarak güvenlik faktörü terimi (F) ile yapılmaktadır. Güvenlik faktörü, potansiyel yer kayması kütlelerinin duraylılık derecesini hesap etmede kullanılan bir kavramdır. Bu faktörün 1 olması, kopmaya neden olan kuvvetlerle kopmaya karşı olan kuvvetlerin eşit olduğu bir durumu göstermektedir. Güvenlik faktörünün 1'den büyük olduğu durumlar duraylılığı, 1'den küçük olduğu durumlar ise yenilmeyi (kayma) göstermektedir.

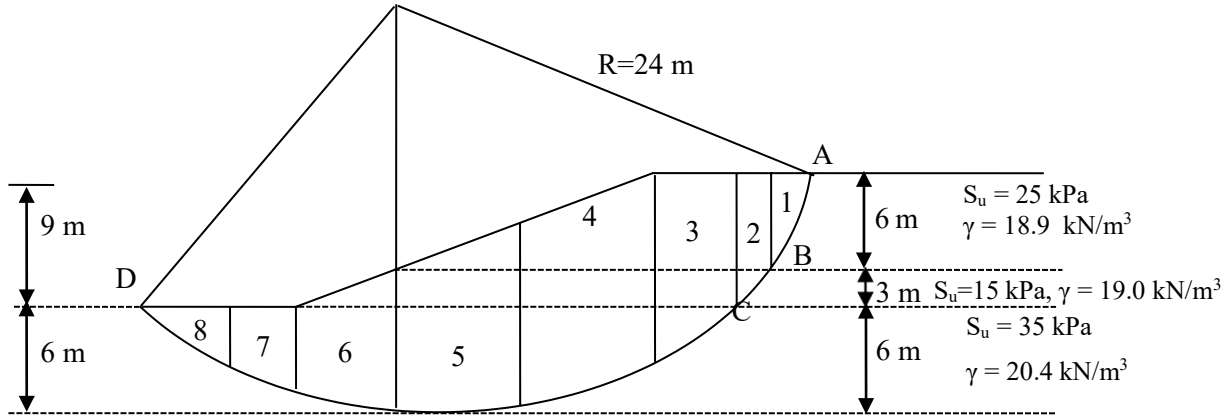
Güvenlik faktörünü hesaplamak için yer kayması oluşumu ve deviniminin mekaniğini anlamak ve belli bir yerdeki gereçlerin doğası ile ilgili ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekir. Dolayısıyla güvenlik faktörünün değerlendirilebileceği her durumun gözetilmesi gerekmektedir.

Güvenlik Faktörü: Güvenlik faktörü ile ilgili iki ayrı durum, Şekil 12'de ve Şekil 14'de sunulmuştur. Her iki durumda da potansiyel kayma yüzeyi tanımlanmıştır. Şekil 12'de, potansiyel kopma yüzeyi mevcut topoğrafik yüzeye paraleldir ve düzlemseldir. Şekil 14'de ise, potansiyel kopma yüzeyi bir dairenin parçası ile temsil edilmektedir. Her iki konumda da kopma yüzeyi boyunca kopmaya yol açan kuvvetlerle, kaymaya karşı olan kuvvetler vardır. Bu çerçevede, güvenlik faktörü aşağıda sunulan herhangi bir durumu ifade etmek üzere tanımlanabilir (Gedney ve Weber, 1978):

1. Potansiyel yenilme yüzeyi boyunca oluşan kaymaya karşı olan kuvvetlerle kaymaya yol açan kuvvetlerin oranı,
2. Herhangi bir noktadaki kaymaya karşı olan kuvvetlerin kaymaya neden olan kuvvetlere oranı,
3. Potansiyel yenilme yüzeyi boyunca zemindeki ortalama makaslama dayanımının makaslama gerilmesine oranı,
4. Makaslama dayanım değişkenlerinin, yamaç düzlemi boyunca denge konumuna gelmesi için yamaç eğiminin düşürülmesi faktörü.

Şekil 12'deki durum, yukarıda sunulan 3 nolu tanıma göre irdelenebilir. Çünkü potansiyel gerilme yüzeyi boyunca oluşan makaslama dayanımı ve ortalama makaslama gerilmesi böyle bir konumda ölçülebilir ve hesaplanabilir. Makaslama dayanımı (S), potansiyel kopma yüzeyindeki koşulları yansıtan gerecin fiziksel bir özelliği olup daha önce belirtildiği gibi deneysel olarak belirlenebilir (Keefer ve Johnson, 1983). Dolayısıyla, Şekil 12'deki durum, düzlemdeki normal gerilme tüm noktalarda sabit olup düzlem boyunca gerecin makaslama dayanımı sabit olduğu sürece geçerlidir.

Potansiyel gerilme yüzeyi boyunca ortalama makaslama gerilmesi, yerçekimi kuvvetinin (F_g) büyüklüğü ve yamaç eğim açısı ile belirlenir. Makaslama gerilmesi tüm potansiyel kayma yüzeyi boyunca tekdüzedir. ***Kayma düzlemindeki birim alana karşılık gelen makaslama dayanımının bu düzlemdeki makaslama gerilmesine oranı*** (S/τ) ***güvenlik faktörü olarak tanımlanır.*** Bir yerdeki gereçlerin fiziksel özelliklerine bağlı olarak yapılan hesaplama, güvenlik faktörünün 1'den daha büyük olduğunu gösterebilir. Daha sonra her değişkenin sayısal değeri güvenlik faktörünün 1 olduğu sınırda değişebilir.



Şekil 14. Potansiyel kayma yüzeyi boyunca güvenlik faktörünün hesap edilmesinde dilim yönteminin kullanılması. Her dilime özgü kayma kuvveti, söz konusu dilimin hareket etmesine yönelik kuvvet, dilimin ağırlığı ve uzunluğunun bir ürünüdür. Yer kaymasına neden olan kuvvet bu dilimlerdeki kuvvetlerin toplamıdır. Her dilimdeki kaymaya karşı olan kuvvet ise, dairenin yarıçapını (R) ve her dilim boyunca meydana gelen makaslama gerilmesinin ve tabandaki kaymanın uzunluğunun toplamıdır. Dengede olan makaslama dayanımı (S_u), katmandaki kayma yüzeyini temsil eden yayın uzunluğu ile katmanın makaslama gerilmesinin toplamıdır. (γ) birim hacim ağırlığını temsil etmektedir. Öngörülen güvenlik faktörü 1.17'dir (Morgenstern ve Sangrey, 1978).

Şekil 14'deki durum ise daha karmaşıktır. Burada güvenlik faktörünü belirlemek için daha kapsamlı hesaplama gerekmektedir. Her faktörün hesaplanmasında gözetilen bu diyagram halen tartışılmaktadır (Morgenstern ve Sangrey, 1978). Şekil 14'de görülen yöntem ***"İsveç dilimi yöntemi"*** olarak bilinir. Burada üçlü kayma yüzeyi çizilmiştir. Dairesel yay, kopma yüzeyinin şeklini ve konumunu tanımlamakta ve sadece yenilme böyle bir yüzey boyunca oluşur. Bunun için çok sayıda farklı dilimler incelenmeli ve her yüzey için güvenlik faktörü hesaplanmalıdır. Kayma yüzeyi birçok katmanı da kesebilir. Her katmanın sahip olduğu yoğunluk, kohezyon, makaslama dayanımı gözetilmelidir. Bu değerlendirmeler laboratuarda yapılır.

Böyle bir durumda güvenlik faktörünü hesaplamak için potansiyel kayma kütlesi dikey dilimlere bölünmelidir ve her dilim numaralandırılmalıdır. Potansiyel kopma düzlemindeki her kayma kuvveti hesaplanmalıdır. Kayma kütlesinin sağ tarafındaki kuvvetler kayma yönünde, sol tarafındaki kuvvetler ise daha çok kaymaya karşı yönde bir işleve sahiptir. Kopma düzleminin her bölümünde etkin olan kuvvetler, dilimin ağırlığına ve ortadaki çizgiden uzaklığa göre değişir. Daire biçimindeki düzlemin her bölümündeki kuvvetlerin toplamı kayma yönünde ise heyelan kütlesi harekete geçer.

Gerecin makaslama dayanımının büyüklüğü olarak ifade edilen kopmaya karşı dayanımlılık gösteren her dilim dairenin çapı (R) ve alt kesimde yer alan yayın uzunluğu ile ifade edilmekte olup gereçlerin makaslama dayanımının ürünü olarak ifade edilen kopmaya karşı bir dayanımlılık göstermektedir. Kuvvetlerin toplamı, toplam dayanıklılığı temsil eder. Morgenstern ve Sangrey (1978), potansiyel kopma yüzeyi için güvenlik faktörünün 1.17 olduğunu ortaya koymuştur. Başka bir deyişle yenilme, bu koşullar altında beklenmemektedir. Benzer hesaplamalar diğer potansiyel kopma yüzeyleri için yapılabilir. Güvenlik faktörünün 1'den düşük olduğu yüzeylerde kayma (yenilme) kaçınılmazdır.

Şekil 12'deki ve Şekil 14'deki iki örneğin ortaya koyulmasındaki amaç, yamacın duraylılığını hesap edebilme olasılığını göstermektir. Yeterli bilgiler sağlanırsa hesaplama yapılabilir. Hesaplamada, güvenlik faktöründeki bir değişime yol açan koşulları göz önüne almak esastır.

HEYELANLARDA DURAYLILIĞI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Burada sunulan heyelanlarla ile ilgili bilgiler, yenilmenin ya da kopmanın herhangi bir doğal değişimin sonucu olarak (örneğin depremlerle) ya da bir barajın inşaatında olduğu gibi insan etkisi ile ortaya çıktığını göstermektedir. Bunun için heyelanlara ya da şevlerde duraysızlığa yol açan faktörlerin birlikte sunulmasında yarar görülmektedir. Heyelanları ya da şevlerde duraysızlığı tetikleyen bazı faktörler ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur:

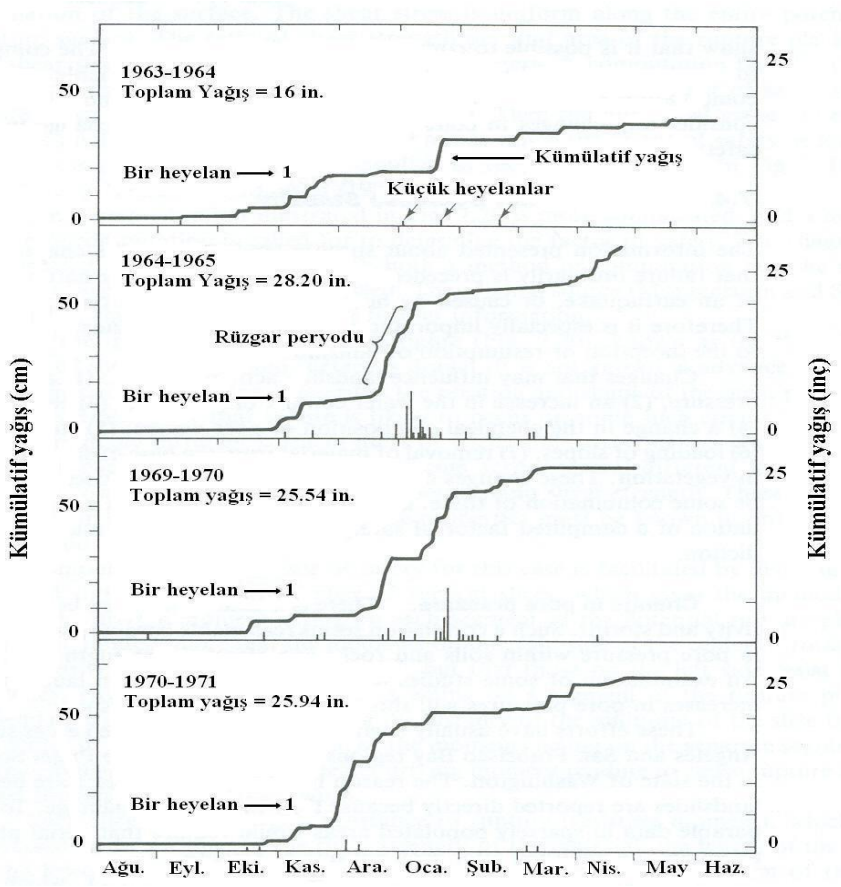
Yağış, süre, kaya türü,
Akarsu aşındırma gücü indeksi,
Akaçlama ağına olan uzaklık,
Yapısal unsurlara olan uzaklık,
Gözenek basıncındaki bir artış,
Gereçlerin su içeriğindeki bir artış,
Deprem sarsıntıları,
Gözenek suyunun kimyasal bileşimindeki değişim,
Yamaçların dikleşmesi ve bakı yönü,
Yamaçlara yük gelmesi,
Yamaçların tabanından gereçlerin aşınması,
Bitki örtüsündeki değişim.

Yukarıda sunulan faktörler arasındaki ilişkiler ve faktörlerin etkileşimlerine dair karşılaştırmalar yapılmıştır. Aşağıda söz konusu bazı önemli ilişkiler ve etkileşimler irdelenmiştir. Örneğin, ABD'de, Washington eyaletinde ya da Kaliforniya'daki San Francisco Körfezi ve Los Angeles gibi gelişmiş bölgelerde bazı çalışmalar vardır. Kaliforniya'daki yapılan çalışmanın sonuçları, Şekil 15'de görülmektedir. Burada ***kümülâtif yağışın*** belli bir zaman aralığındaki ilişkisi görülmektedir. Şekil 15'de Aylar yatay eksende, yağış ise dikey eksende gösterilmiştir. Fırtınalar ya da fırtınaya karşılık gelen dönemler (peryotlar), eğimin dikleştiği yerleri temsil etmektedir. Bu da Kaliforniya'da Kasım ve Mart arasındaki aylara karşılık gelmektedir. Sonuç olarak, dört farklı yılda yer kayması etkinliği ile kümülâtif yağış arasındaki ilişkiler görülmektedir (Nilsen ve Turner, 1975).

Şekil 15'de heyelanların etkinliği dikey çizgilerle temsil edilmektedir. Dikey çizgi ne kadar uzun ise yer kayması o kadar çok aktiftir. Buradaki örnek 1963- 1964 yılları arasında yani yağışın az olduğu dönemde heyelan faaliyetlerinin düşük olduğunu göstermektedir. 1964- 1965 ve 1969- 1970 yıllarında ise kümülâtif yağışın büyük bir fırtınayla sonlandığı durumlarda yağışın bol olduğu dönemde çok sayıda yer kayması olmuştur. 1970- 1971 döneminde ise kapsamlı bir yağış olmasına karşın yer kaymalarının az olduğu görülmektedir.

Washington'da Puget Sound ovalarında yapılan çalışmalar benzer karşılaştırmaları göstermektedir. Tubbs (1975), Puget Sound ovalarında meydana gelen heyelanlarla yağış arasındaki karşılaştırmayı incelemiş ve hemen hemen tüm heyelanların Şubat sonu ve Mart başındaki günlerde meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu da 24 saatlik peryotta düşen yağışın 3,8 cm' den daha fazla olduğu fırtınalara karşılık gelmektedir. Tubbs (1975), ilk fırtınanın Ocak'ta oluştuğunu ve bunun heyelanı tetiklemediğini belirtmektedir. Bu da heyelanın tek bir fırtınadan çok, ardışık fırtınalara bağlı olarak meydana gelebileceğini göstermektedir. Ardışık fırtınaların önce yamacı oluşturan gereçlerin ıslanmasını ve daha sonra derindeki gereçlerin de doyuma ulaşmasından sonra etkili olabileceği söylenebilir.

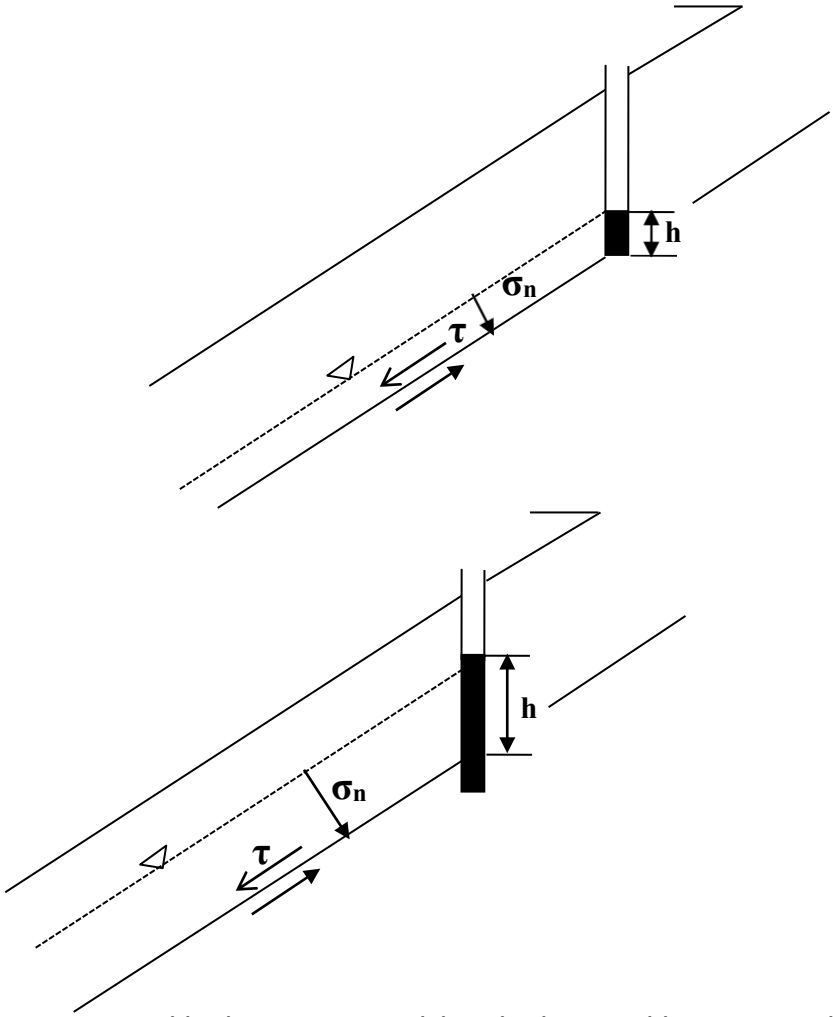
Tubbs (1975)'da yer kaymalarıyla yağış arasındaki ilişkileri karşılaştırmaktadır. Yağış kayıtlarını elde etmek göreceli olarak daha kolaydır. Potansiyel bir kopma yüzeyindeki gereçlerin ***su içeriği*** ve ***gözenek basıncındaki*** değişimleri ölçmek ise zorunludur. Çünkü bu faktörler makaslama dayanımını denetlemektedir. Söz konusu verilerin sağlanamadığı durumlarda yağış kayıtlarının güvenilir doymuş gereçlerdeki gözenek basıncının artması ve yağışlar nedeniyle su tablasının yükselmesini bilmek önemlidir.



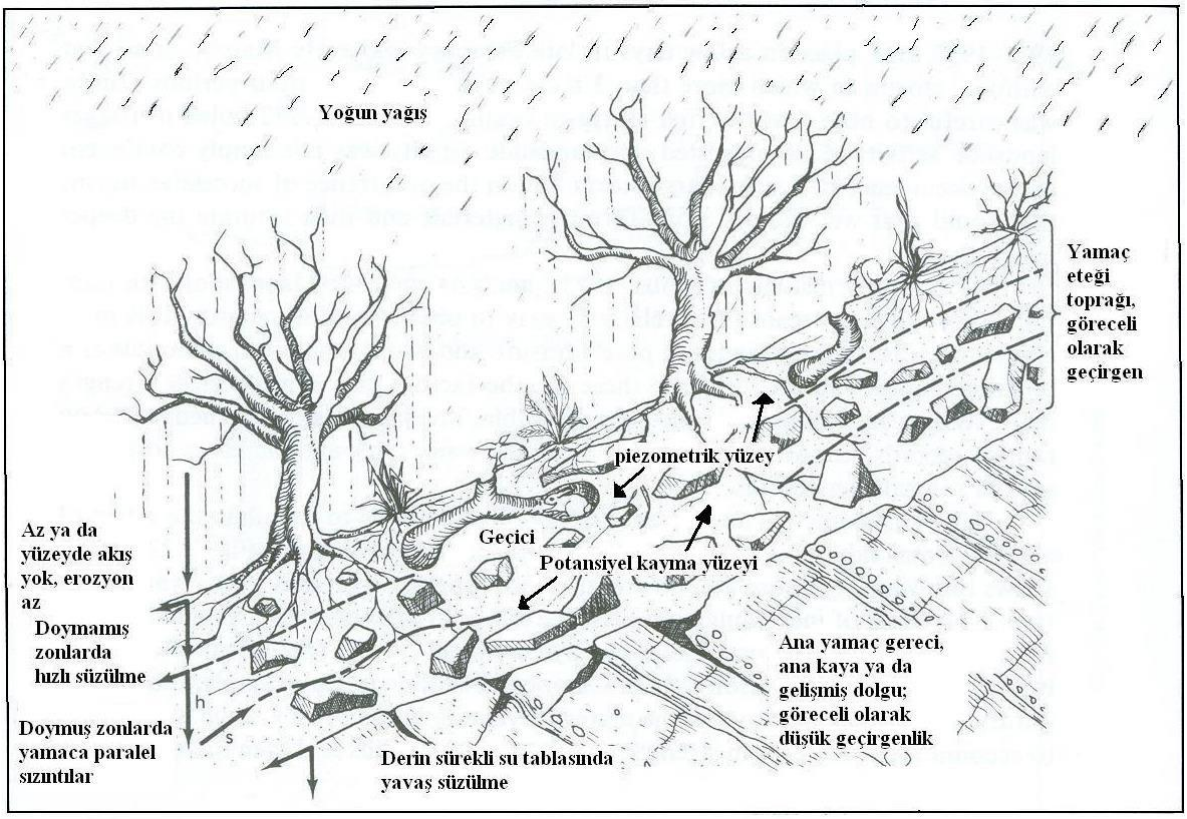
Şekil 15. Kaliforniya'da dört farklı yılda yer kayması etkinliği ile kümülâtif yağış arasındaki ilişkiler (Nilsen ve Turner, 1975).

Piezometrelerin konulduğu yerlerde yükselen ***su tablasının*** yamaç duraylılığı üzerindeki etkisini hesaplamak mümkündür. Şekil 16'de potansiyel bir kopma yüzeyindeki su basıncının su tablasının yükselmesine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Artan gözenek basıncının etkisi Campbell (1975) tarafından tanımlanan su tablaları için, Keefer ve Johnson (1983) tarafından analiz edilen çamur akmaları için hesaplanmıştır.

Campbell (1975), bir yamaçtaki ana kaya üzerinde yer alan gereçlerdeki su basıncının yükselmesi, dayanımda bir azalmaya yol açması için yeterlidir. Bu da önce kütle kaymasına daha sonra da kütle akmasına yol açacaktır (Şekil 17). Artan gözenek basıncının, killerdeki yenilmenin gerçekleşmesinde önemli bir rol oynadığı kabul edilmektedir.



Şekil 16. Potansiyel bir kopma yüzeyindeki yükselen su tablasının normal gerilme üzerindeki etkisi. Normal gerilme potansiyel kopma yüzeyinde yer alırsa σ_n olarak ifade edilir, etkili normal gerilme (σ_n') ise $\sigma_n' = \sigma_n - p_w$, burada p_w su basıncı olup (suyun özgül ağırlığı ile yeraltı su düzeyinin yüksekliğinin çarpımına eşittir) (Lundgren, 1986).

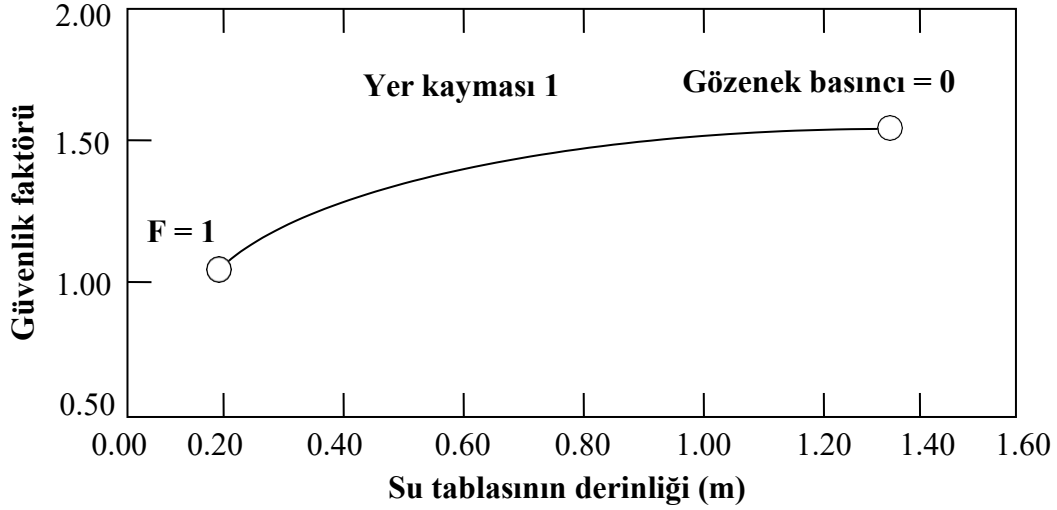


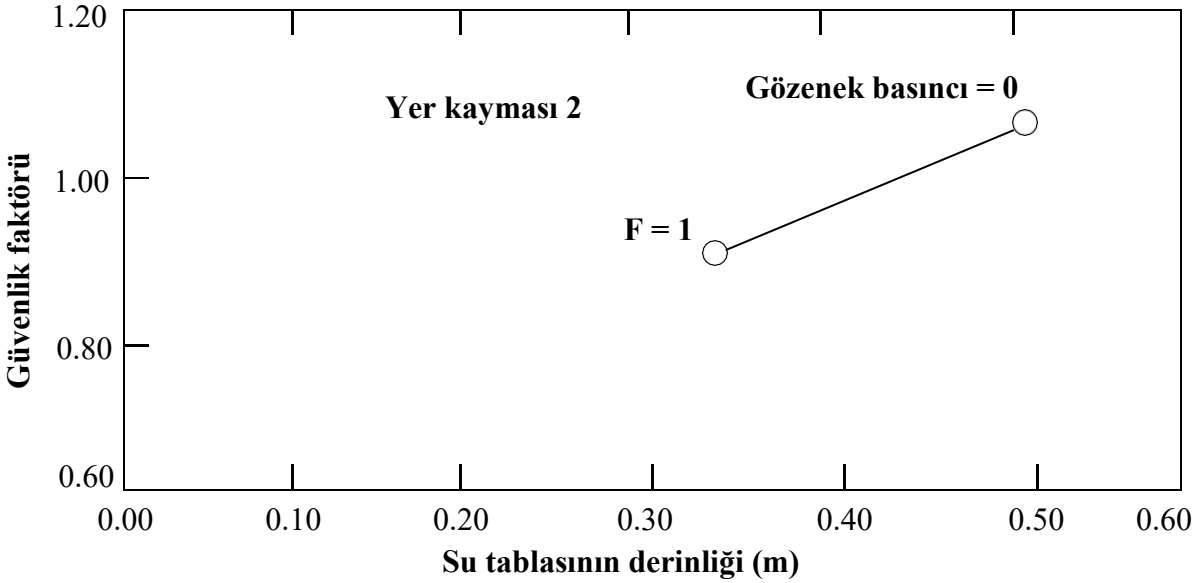
Şekil 17. Toprak kaymaları ve kütle akmalarına sahne olan yamaçlardaki ilişkiler. Yağış sırasında piezometrik yüzeyin (su tablasının) yükselmesi, yenilme oluşuncaya kadar potansiyel kayma yüzeyindeki normal gerilmeyi azaltır (Campbell, 1975).

Yamaç duraylılığında, giderek artan ***gözenek basıncının*** etkileri, Keefer ve Johnson (1983)'un çalışmalarında değerlendirilmiştir. Gözenek basıncındaki artışın her zaman için güvenlik faktörünü zayıflattığı anlaşılmıştır. Su tablasının gözenek basıncının artışında eşik değere kadar yükseldiği ve daha sonra güvenlik faktörünün 1'in altına düşürdüğü ortaya koyulmuştur (Şekil 18).

Keefer ve Johnson (1983)'un çalışmasında, gözenek basıncı eşik değerinin heyelan başlamadan önce aşıldığı ortaya koyulmuştur. Bu da Kaliforniya ve Washington'da daha önce yapılan yorumlara bir temel hazırlamıştır. Yapılan yorumlar, yağış eşiğinin aşılmasından sonra heyelanın meydana geldiğini öngörmektedir. Eşik değerler oluştuğunda, heyelanlardan bazıları oluşmayabilir. Kaliforniya'da eşik değerlerinin tek bir fırtınada 7 inçlik yağışla ve bunu izleyen yağışın en azından 10 inçlik bir peryotta oluştuğu görülmektedir (Nilsen ve Turner, 1975).

Los Angeles bölgesinde eşik değerleri biraz daha yüksek gözükmekte ve olasılıkla tek bir fırtına peryodunda 10 inçlik bir yağışa karşılık gelmektedir (Campbell, 1975). Puget Sound ovalarında söz konusu eşik, yavaşça devam eden yağıştan sonra 2 inç kadar bir ek yağış meydana geldikten sonra başlamıştır. Bu bölgelerin her birinde yağış eşiklerinin su tablasında yeterli bir yükselme sağladığını ve bunun da gözenek basıncını kritik bir değerin üzerine çıkardığını, sonunda kopmanın olduğunu göstermektedir.



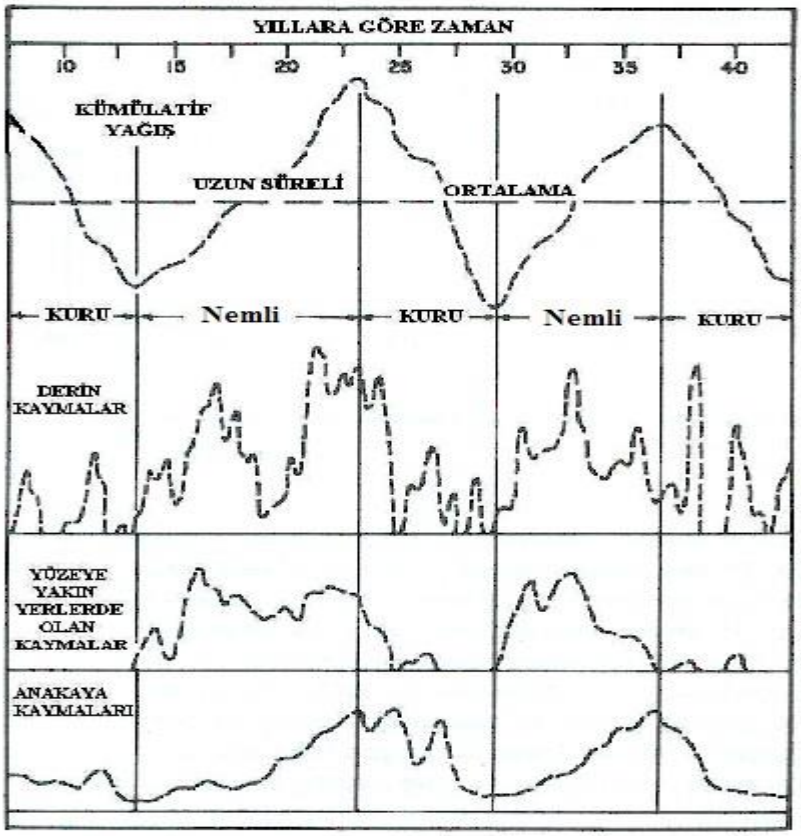


Şekil 18. Su tablasındaki yükselmeye bağlı olarak güvenlik faktöründeki azalmayı gösteren diyagramlar (Keefer ve Johnson, 1983).

Heyelan oluşum zamanını öngören çalışmalarda Jahns (1978), Kaliforniya'daki heyelan etkinliği ile yağış arasındaki karşılaştırmaya dayalı gözlemlerini özetlemiştir. Buna göre; yoğun yağışın kısa bir evresinde toplam kaymayı ve kütle akması gibi küçük heyelanları tetikleyebileceği ve bunların da sadece yüzeye yakın gereçlerde etkili olduğu söylenebilir. Pekişmiş gereçlerde daha derinde olan kaymalar ciddi bir fırtınanın kümülâtif etkileriyle tetiklenebilir.

Ana kayalardaki kaymalar ise, bölgedeki yağışın sürekli olarak ortalama yağış düzeylerini aştığı durumlarda ve yağışın uzun bir süre devam etmesine bağlı olarak meydana geldiği görülmektedir. Şekil 19'de sunulan bulgular, küçük kaymaların sıkça oluşabildiğini ve büyük heyelanların uzun süreli

yağış peryotlarına bağlı olarak daha az sıklıkta oluştuğunu göstermektedir. Ana kayalarda ise heyelanlar daha da seyrek olarak meydana gelmektedir.



Şekil 19. Kurak bir bölgede, kaymaların farklı türleriyle yağışlar arasındaki karşılaştırmalar. Yağış eğrisi uzun süreli ortalamalardaki kümülâtif sapmaları göstermektedir. Eğriler genellikle ABD'nin güney batısındaki bölgelere uyarlanabilir (Jahns, 1978).

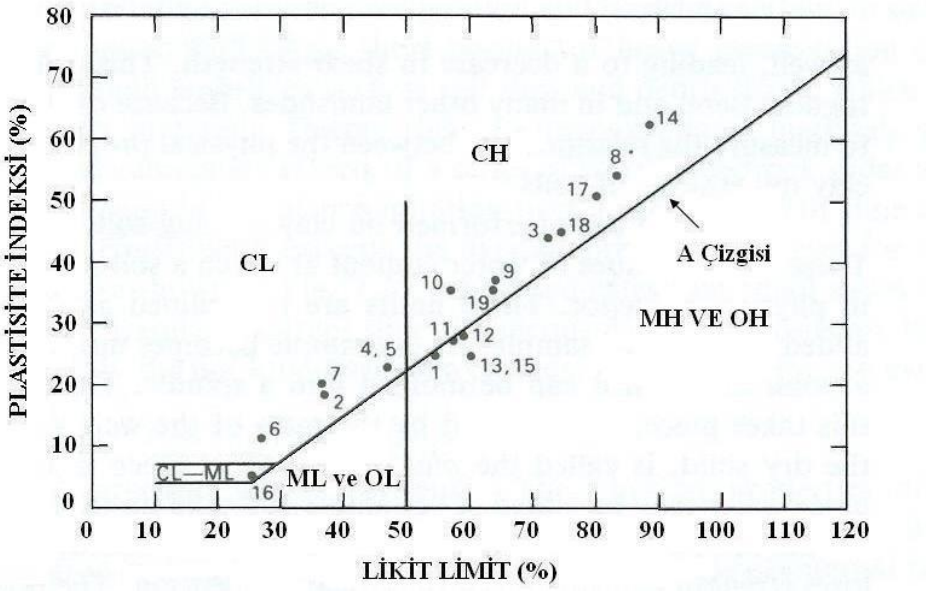
Gereçlerde su içeriğindeki artışın etkileri: Kil içeren gereçlerin fiziksel özellikleri gereçlerdeki su içeriğine bağlıdır. Kil içeren gereçlere suyun eklenmesi kohezyonu azaltır ve içsel sürtünmenin açısı da makaslama dayanımındaki azalmaya yol açmaktadır. Bu etki, yer kaymalarının çoğunda önemli bir yer tutar. Dolayısıyla fiziksel özellikler ile su içeriği ve zeminlerin kil mineralojisi arasındaki ilişkileri irdelemek için testler yapılmaktadır.

Kil içeren zeminlerde yapılan testlerle ***Atterberg limitleri*** belirlenir. Bir zemin örneğindeki su içeriği, fiziksel davranışlar açısından belli değişimler göstermektedir. Söz konusu limitler aşağıda belirlenmeye çalışılmıştır: Su, kuru zeminlere dereceli olarak eklenir. Zemin giderek daha da nemli bir kıvama geldiğinden killer ilk biçiminden şekillenebilir bir noktaya ulaşır. Nemin oluştuğu bir konumda kütlenin ağırlığıyla su içeriğinin ağırlığının oranına göre ölçülen değer ***Plastik limit*** **(P_w)** olarak bilinmektedir. Bu ölçüm yapıldıktan sonra daha çok su katılabilir. Zemin suyu içine alır, plastik bir konum kazanır. Sonunda ikinci bir Atterberg limiti aşılır. Böyle bir noktada da örnek, dayanımlılığını yitirir. Kuru kil, süspansiyon biçiminde akar. Böyle bir noktada ölçülen nem içeriği ***Likit limit*** **(L_w)** olarak adlandırılır.

Bu iki değer birlikte değerlendirilerek ***plastiklik indeksi*** bulunur. Bu da likit limit ile plastik limit arasındaki farktır ($PI = L_w - P_w$). P_w, L_w, PI değişkenleri zeminlerin duraylılığını belirler. Örneğin; simektit killerini içeren zeminler, likit limit ve plastiklik indeksinin yüksek değerlerine sahiptirler. Böyle

zeminler geniş bir su içeriği aralığında da plastik nitelikte olup, likit limitin aşıldığı durumlarda yüksek derecede akışkanlara dönüşebilirler.

Değişkenlerin ölçülen değerleri çoğu heyelan analizinde gözetilmektedir. Kapsamlı veriler de sorunlu zeminlerin özelliklerini göstermede kullanılabilir. Ölçülen değerlere göre, her zemin birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine göre adlandırılabilir (Şekil 20). Burada tane boyu, likit limit ve plastiklik indeksine ilişkin bilgi yer almaktadır. Killi zeminler A çizgisinin üzerinde, siltli zeminler ve organik zeminler çizginin altına düşmektedir.



Şekil 20. Plastisite abağı. Killer C ile, Siltler M ile temsil edilmektedir. H likit limitin % 50'den fazla olduğunu göstermektedir. CH zeminleri büyük oranda su içeren ve ileri derecede plastik zeminler olup heyelanlara sahne olmaktadır. ML zeminleri iyi boylanmış ve sıvılaşmaya karşı duyarlı zeminlerdir. A çizgisi, plastik ve plastik olmayan zeminleri ayırmaktadır. Noktalar, ayrıntılı incelenmiş heyelanların oluştuğu gereçleri göstermektedir (Keefer ve Johnson, 1983).

Atterberg limitleri ile dayanım arasındaki karşılaştırmalara ilişkin çalışmalar ya da dayanımda meydana gelen değişimler, bu limitlerin kayaların ve zeminlerin tanımlanmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Örneğin, Byer ve Pipkin (1973), kuru Portekiz tüflerinin 20.000 psf (pound/fit^2) makaslama gerilimine sahip olduğunu göstermiştir. Tüflere su eklendikçe makaslama dayanımı 500 psf/(%su)'den daha az bir düzeye iner. Ağırlıkça % 33 su içeren Portekiz tüfleri 3500 psf kadar makaslama gerilmesine sahiptir.

Kimyasal bileşimdeki değişimler: Kil açısından zengin katmanlar başlangıçta biçim açısından kartlara benzeyen evler gibi düzenlenebilir. Bu da tatlı ya da tuzlu sudan çökelmenin olduğu killerden meydana gelmektedir. Bu düzen, kartlarla kil katmanları arasındaki gözenek suyunun tuz içeriğiyle dengelenir. Eğer tuz içeriği taze suyun akışı nedeniyle dereceli olarak azalırsa, kil tanelerinin duraylılığı da azalır. Buna meta duraylılık denilmektedir. Dengelenmiş olan tuzlu su uzaklaştırıldığında taneler de bunu izleyerek yeni bir düzene doğru hareket ederler. Yani, kil taneleri yeni bir düzene kavuşma hususunda oldukça duyarlıdırlar. Fakat bir sallantı gerçekleşirse, bu değişim tüm kil gereçlerine yayılır ve kil bir sıvı nitelik kazanır. Bu değişim, dayanımdaki ani bir düşüşü temsil eder. Düşüş de yeniden şekillenmenin bir sonucu olarak kabul edilir. Örnekler, laboratuvarda ya da doğal bir deformasyon ortamında yeniden şekillenir.

Killer, yüksek derecede duyarlı olup, biçim değiştirebilir ve dayanıklılıklarında ani bir azalma olabilir. Duyarlılık değeri 16'yı aşan zeminler, ***seri killer*** olarak adlandırılır.

Yamaç eğimindeki artış: Bir yamaçta eğimdeki artış, potansiyel kopma düzlemi üzerindeki makaslama gerilmesinin artışına, bu da normal gerilmede bir azalmaya yol açmaktadır. Makaslama gerilimindeki artışlar, zeminlerde yapılan kazılarla ya da eğimin fazla olması dolayısıyla demiryolları ve karayolları boyunca ortaya çıkmaktadır. Yamaç aralarında güvenlik faktörü gözetilir. Güvenlik faktörünün 1'den daha büyük olması için çaba harcanır.

Yamaç aşağı gerecin uzaklaştırılması: Gereçler, akarsu ya da dalga erozyonuyla inşaat evresinde yamaçların tabanından uzaklaştırılabilir. Böylece kopmanın olmaması için etkili olan kuvvetleri zayıflatır. Şekil 14'de dönme ekseninin solundaki dilimlerin uzaklaştırılması, güvenlik faktörünü azalttığı gibi kopmayı kolaylaştıran net kuvveti de arttırır. Eğer güvenlik faktörü 1'den daha düşük olursa kopma gerçekleşecektir.

Bir yamacın üst kesimindeki yük: Yapılar, yamaçların yükünü arttırır. Portekiz heyelanlarının üst kesimindeki yapılar birer örnektir. Harekete neden olan yükler, kaymayı artırmaktadır. 1. dilimin ağırlığındaki bir artış (Şekil 14), kopmaya yol açan kuvvetlerin toplamını yükseltmektedir. Eğer güvenlik faktörü 1'in altında ise kopma kaçınılmaz olur.

Birleşik etkiler: Yukarıda tanımlanan tüm değişkenler birlikte gerçekleşebilirler. Örneğin bir yapı ağırlığı nedeniyle önce yamacı dikleştirebilir. Bu da güvenlik faktörünü azaltır. Daha sonra yamacın üst bölümündeki başka bir yük, güvenlik faktöründe bir azalmaya neden olabilir. Suyu boşaltan bir yerde de yenilme, gözenek basıncında bir artışa yol açıp bu da heyelanı tetikleyebilir. Heyelanlarda çoğu değişkenler tetikleyici etkiler yapabilir. Örneğin gözenek basıncının artması duraylılıktaki azalmaya yansıyabilmektedir.

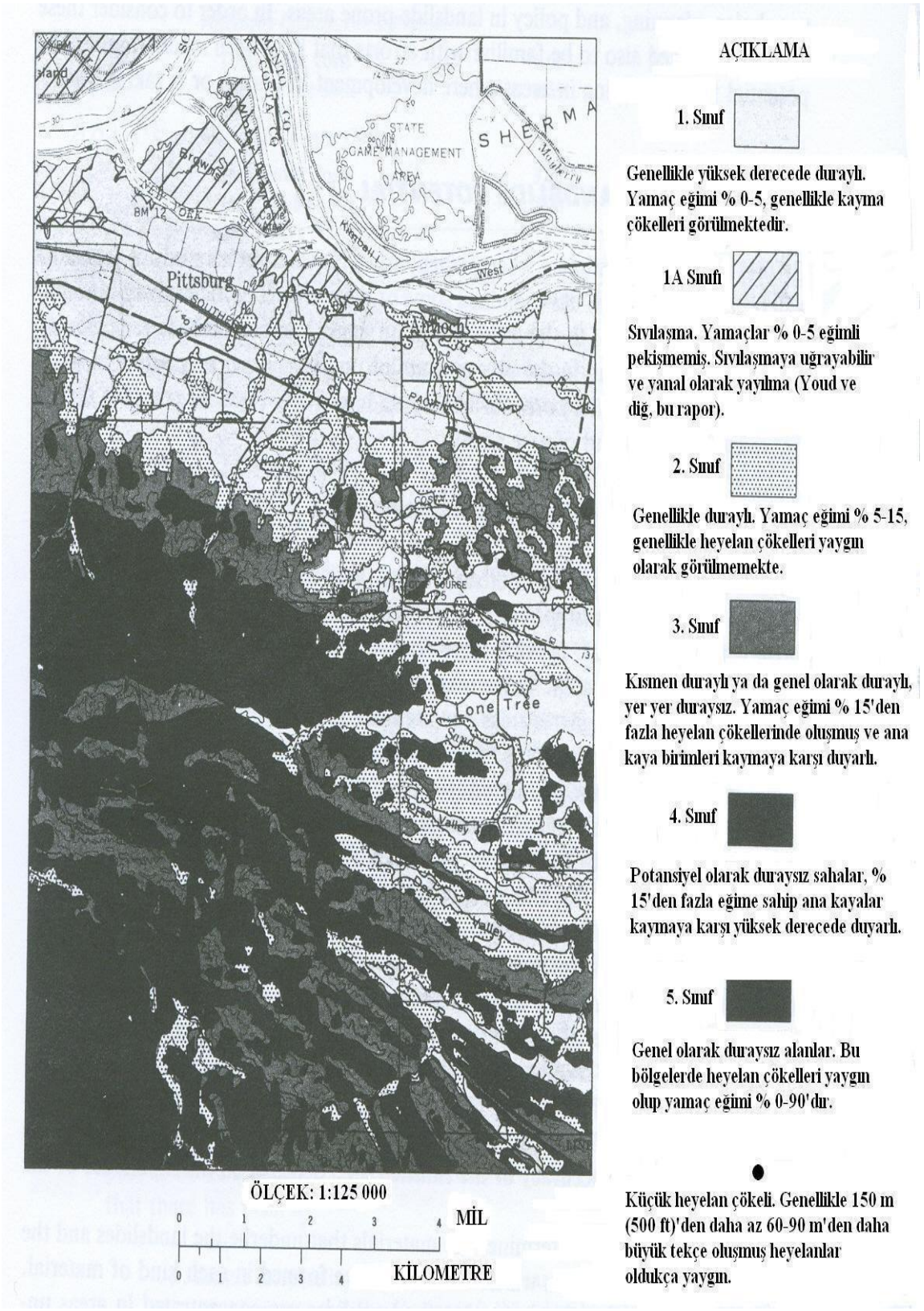
HEYELAN OLUŞUMU POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ, HEYELAN DUYARLILIK HARİTALALARI

Gelecekteki yer kaymalarının nerede, ne zaman ve hangi şiddette oluşabileceğine ilişkin tahminler yapılmaktadır. Jahns (1978), bu çabaları, yer kayması kestirim çalışmalarında incelemiştir. Yer kaymalarıyla ilgili çalışmalar, kapsamlı kestirim çalışmalarının yeterince yapılmadığını göstermektedir. Dolayısıyla heyelan etkinliği potansiyelinin değerlendirilmesi daha yararlı olacaktır. Aşağıda değerlendirmeye ilişkin bazı yaklaşımlar ortaya konulmuştur.

Heyelan ya da yamaç duraylılığının değerlendirilmesi

Yamaçların duraylılığını değerlendirmek üzere geliştirilen jeoteknik yöntemler heyelanlara da uyarlanabilir. Bu yöntemler kanallar, karayolları, demiryolları, barajların inşaatında karşılaşılan örneklerle geliştirilmiş olup, yeterli verinin sağlandığı durumlarda kullanılabilirler. Bu çerçevede hazırlanan Kaliforniya bölgesi heyelan duyarlılık haritası (Nilsen ve Brabb, 1975) Şekil 21'de görülmektedir. Bu haritada, heyelana yönelik duraylılık ayrıca derecelendirilmiştir. Bu tür haritalar, her türlü yapılaşmaya dair çalışmalarda yol göstericidir.

Mühendislik değerlendirmeleri genel olarak güvenlik faktörü terimi (F) ile yapılmaktadır. Güvenlik faktörü, potansiyel heyelan kütlelerinin duraylılık derecesini hesap etmede kullanılan bir kavramdır. Bu faktörün 1 olması, kopmaya neden olan kuvvetlerle kopmaya karşı olan kuvvetlerin eşit olduğu bir durumu göstermektedir. Güvenlik faktörünün 1'den büyük olduğu durumlar duraylılığı, 1'den küçük olduğu durumlar ise yenilmeyi (kayma) göstermektedir.

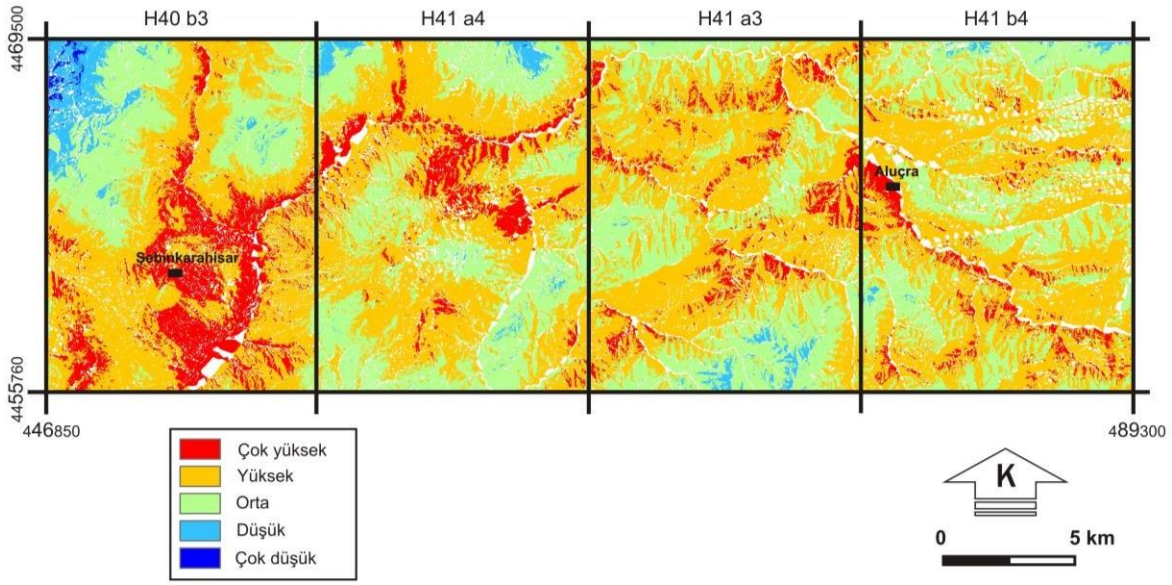

AÇIKLAMA
1. Sınıf
Genellikle yüksek derecede duraylı. Yamaç eğimi % 0-5, genellikle kayma çökelleri görülmektedir.
1A Sınıfı
Sıvılaşma. Yamaçlar % 0-5 eğimli pekişmemiş. Sıvılaşmaya uğrayabilir ve yanal olarak yayılma (Youd ve diğ, bu rapor).
2. Sınıf
Genellikle duraylı. Yamaç eğimi % 5-15, genellikle heyelan çökelleri yaygın olarak görülmemekte.
3. Sınıf
Kısmen duraylı ya da genel olarak duraylı, yer yer duraysız. Yamaç eğimi % 15'den fazla heyelan çökellerinde oluşmuş ve ana kaya birimleri kaymaya karşı duyarlı.
4. Sınıf
Potansiyel olarak duraysız sahalar, % 15'den fazla eğime sahip ana kayalar kaymaya karşı yüksek derecede duyarlı.
5. Sınıf
Genel olarak duraysız alanlar. Bu bölgelerde heyelan çökelleri yaygın olup yamaç eğimi % 0-90'dır.
Küçük heyelan çökeli. Genellikle 150 m (500 ft)'den daha az 60-90 m'den daha büyük tekçe oluşmuş heyelanlar oldukça yaygın.
Pittsburg
Antioch
Concord
Walnut Creek
Martinez
Mt. View
Clayton
Bethel Island
Byron
Brentwood
Oakley
Knightsen
Discovery Bay
Clyde
Port Chicago
Bay Point
Pacheco
Suisun Bay
Grizzly Island
Honker Bay
Sherman Island
Jersey Island
Browns Island
Webb Tract
Bradford Island
Holland Tract
Mandeville Island
Victoria Island
Orwood
Veale Tract
Roberts Island
Byron Tract
Old River
Middle River
Victoria Canal
Connection Slough
Indian Slough
Empire Cut
Dutch Slough
Piper Slough
Kellogg Creek
Marsh Creek
Kirker Creek
Mallard Slough
Suisun Slough
Cordelia Slough
Ulatis Creek
Lindsey Slough
Lindsey Creek
Shag Slough
Calhoun Cut
Cache Slough
Barker Slough
Prospect Slough
Liberty Island
Lindsey Slough
Denverton Creek
Ledgewood Creek
Alamo Creek
Walnut Creek
Pacheco Creek
Concord Naval Weapons Station
Port Chicago Naval Magazine
Mare Island Strait
Carquinez Strait
Suisun Bay
Grizzly Bay
Honker Bay
Montezuma

Güvenlik faktörünü hesaplamak için heyelan oluşumunun ve deviniminin mekaniğini anlamak ve belli bir yerdeki yüzeyin fiziksel koşullara sahip gereçlerin doğası ile ilgili ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekir. Dolayısıyla güvenlik faktörünün değerlendirilebileceği her durumun gözetilmesi gerekmektedir.

Duyarlılık (S_i)= S_o/S_r ile ifade edilir. S_o; orijinal makaslama dayanımı, S_r; yeniden şekillenmeden sonraki dayanımlılıktır. Bu çerçevede ***heyelan etkinliğini tetikleyen bazı faktörler*** tekrar aşağıda öz olarak sunulmuştur:

Yağış ve süre, Kaya türü, Akarsu aşındırma gücü indeksi, Akaçlama ağına olan uzaklık, Yapısal unsurlara olan uzaklık, Gözenek basıncındaki bir artış, Gereçlerin su içeriğindeki bir artış, Deprem sarsıntıları, Gözenek suyunun kimyasal bileşimindeki değişim, Yamaçların dikleşmesi ve bakı yönü, Yamaçlara yük gelmesi, Yamaçların tabanından gereçlerin aşınması, Bitki örtüsündeki değişim.

Burada sunulan faktörler değerlendirilerek çeşitli yöntemlerle heyelen duyarlılık haritaları hazırlanmaktadır. Böyle bir harita örneği Şekil 22'de görülmektedir. Dikkat edilirse Şebinkarahisar ile Alucra arasındaki bölgede özellikle yamaçların dik ve bitki örtüsünün az olduğu yerlerde heyelan duyarlılığı daha yüksektir.



Şekil 22. Şebinkarahisar ile Alucra arasındaki bölgenin heyelan duyarlılık haritası (Yılmaz ve Keskin, 2007).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması

Herhangi bir bölgenin yer kayması potansiyelini değerlendirme çabaları, yer kayması duyarlılık haritalarının hazırlanmasıyla başlar. Bu haritalar, bölgedeki heyelan etkinliği olasılığına göre derecelendirilmiş, en azından iki ya da daha çok sahayı birbirinden ayırmaktadır. Tıpkı sel tehlikesi haritalarında olduğu gibi bu haritalar da heyelan potansiyeli olan bölgeleri, heyelan duyarlılığını da derecelendirerek birbirinden ayırmaktadır. Yukarıda, Şekil 21 ve 22'de sunulan haritalar, heyelan duyarlılığı için birer örnek olarak kabul edilmektedir.

Heyelan duyarlılık haritaları birçok araştırmacı tarafından değerlendirilmiştir (Nilsen ve Brabb, 1977; Newman ve diğerleri, 1978; Nilsen ve diğ., 1979). Bu haritalardan herkes yararlanabilmektedir.

Heyelanların varlığını gösteren bir haritayı hazırlamanın ilk aşaması geçmişteki yer kaymalarının dağılımını ve etkinliğini ortaya koymaktır. Bunun için, değişik zamanlarda çekilmiş hava fotoğraflarının incelenmesi yol göstericidir. Günümüz heyelanları hava fotoğrafları üzerinde kolaylıkla tanımlanabilir. Hava fotoğrafını yorumlayanlar sadece en genç heyelanları tanımlamalı ve ayrıca erozyonu, bitki örtüsünü ve insan faaliyetlerinin yer kayması üzerindeki etkilerini irdelemelidir. Tamamlanmış bir haritanın doğruluğu, hava fotoğraflarının yorumlayanların deneyimine bağlıdır.

İkinci aşama ise yer kaymalarının üzerinde geliştiği yerin kayatürleri ve en önemlisi heyelanın üzerinde oluştuğu yamacın eğimini belirlemektir. Yapılan incelemeler yer kaymalarının bazı özel gereçlerin üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Gereçler kritik bir yamaç eğimine sahiptir. Yamaçların çok dik olduğu yerlerde yer kaymaları da daha çok meydana gelmektedir. Kritik açıyı aşan bir yamaç, yer kayması duyarlılık değeri olarak kullanılabilir. Başka bir deyişle; yamaç gereciyle yamacın eğimi birlikte yer kayması duyarlılığını tahmin etmede kullanılabilir. Haritalamada yukarıda sunulan faktörler ne kadar çok sayıda ve özenle gözetilirse, heyelan duyarlılık haritası da o ölçüde güvenilir olur.

Sınırlı verilere dayalı bölgelerde, büyük heyelanlar gözden kaçırılabilir. Ancak, büyük heyelanlar hava fotoğraflarında mutlaka görülür. Küçük heyelanlar için arazi gözlemi daha önemlidir. Yüksek derecede heyelan duyarlılığına sahip küçük bölgeler, düşük duyarlılığa sahip geniş bölgeler içinde gözden kaçırılabilir. Dolayısıyla, heyelan duyarlılık haritaları titiz bir çaba gerektirmektedir. Ayrıca, duyarlılık haritaları ile ilgili bilgiye göre kodlanan bilgisayar programları kullanılmalıdır.

HEYELANLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE DENETİMİ

Heyelanların can ve mal kaybı üzerindeki etkileri, yaşanmış acı deneyimlerden dolayı yeterince bilinmektedir. Örneğin, ABD'de Kaliforniya San Jose'deki ve Ohio'daki meydana gelen heyelanlarda ve ülkemizde özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde sıkça gelişen heyelanlarda büyük oranda can kaybının yanı sıra etkilenen konutlar ve altyapı tesisleri kullanılamaz hale gelmiştir.

Heyelandan önce yığışma oluşur. Bu da olayın ilerlemesiyle yer kaymasına dönüşür. Yığışmanın birkaç saniye ile 10.ca yıl sürdüğü bilinmektedir. Yapılarda duvarların, döşemenin ya da sokakta yaya kaldırımlarının çatlamaları yer kaymasının yanılmaz habercileridir.

Yamaca ya da şeve yerleştirilen sistemlerin yardımıyla yığışma kesin olarak öğrenilir. Devinimin varlığı ve ilerlemesi, araziye bir üçgen (triangülasyon) ağı sisteminin kurulmasıyla saptanır ve hesap edilebilir. Araştırma alanında açılan özel amaçlı kuyulara, özel plastik boru sarkıtılıp, buna eklenen klinometre ile düşeyden uzaklaşma saptanır ve buna dayanarak denetlemeye ve önleme çalışmalarına geçilir. Küçük kaymalar için baştan (B) gereç alınarak yük azaltılır. Başa (B), gereç yığma yükü artırır. Ancak sarsıntı yapabilecek araların kullanılmamasına özen gösterilir.

Eğer su tablasının yükselmesiyle gözenek suyunun basıncı artmışsa, ya da çatlaklar sulu ise, akaçlama sistemi oluşturulur. Akaçlama kuyuları, akaçlama işlemini kolaylaştırabilirler. Öte yandan, heyelanların gelişmesinden sonra, topuk bölümüne yük koyma, yeraltı su düzeyini yükselteceği, dolayısıyla kaymayı kolaylaştıracağı için, topuğa kazık çakma ise, ortaya çıkacak titreşimler yoluyla kaymayı hızlandırdığı için, sakınılması gereken uygulamalardır.

Heyelanlardan korunmak için de ***Eylem Planlarının*** oluşturulması zorunludur. Bu planların gereği olarak heyelanlar oluşmadan evvel, yörenin heyelan haritalarının yapılması gerekmektedir. Bu haritalar, heyelanların diriliğini yansıtan bir yapıda olmalıdır. Yani en azından 1., 2. ve 3.derecede heyelanlı yerler birbirinden ayrılmalıdır.

Karayolu güzergahlarında meydana gelen aktif heyelanlar, potansiyel heyelanlar ve eski heyelanların belirlenmesi ile veri tabanı oluşturulması amacıyla ***"Heyelan Tanımlama ve Veri Bilgi***

Formu" tablosu hazırlanmıştır. Bu formun sunulan ölçütlere uygun olarak doldurulması gerekmektedir (Anaçali ve Şirin, 2015).

Heyelan haritaları, planlamada yol göstericidir. Ayrıca yeraltı su tablalarının düzeyini izlemek ve yeraltı su tablasının düzeyini olabildiğince heyelanlı bölgenin, yani kayma düzlemlerinin geliştiği düzeylerin altında tutmak önemlidir. Yeraltı su düzeyinin yükselmeye başlaması halinde akaçlama ya da kanalların açılmasıyla suyun boşaltılması ve yeraltı su düzeyinin düşürülmesi de bir önlem olarak değerlendirilmelidir.

Ayrıca derin kökleri olan bitki türlerinin yetiştirilmesi, kayma potansiyeli olan toprağın ana kayaya daha iyi bağlanmasını sağlar. Böylece heyelanlar bir ölçüde de olsa denetlenebilir. Tüm önlemlere rağmen, heyelanlı alan denetim altına alınamıyorsa, yöredeki yerleşim birimlerinin boşaltılmasına karar verilmelidir.

Önemli olan heyelanların belirtileri ortaya çıktığında gerekli önlemleri almaktır. Heyelan anında, heyelanlı bölgenin dışına doğru olabildiğince hızlı bir biçimde çıkmaktan başka çare yoktur. Heyelanların oluşumundan sonra ise, öngörülen eylem planları çerçevesinde acil kurtarma çalışmaları, hasar tespiti, ortaya çıkan alt yapı sorunları irdelenip bir plan ve eşgüdüm içinde, meydana gelen sorunların çözümü için yoğun bir çaba harcanmalıdır.

KAYNAKLAR

Anaçali, İ. ve Şirin, A., 2015, Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Jeolojik Hizmetler Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 42 s.

Brabb, E.E. ve Harrod, B.L. eds., 1989, Landslides: Extent and economic significance. Preceedings of the 28th International Congress Symposium on Landslides: Washington D.C., 17 July, Rotherdam, Balkema, 399s.

Byer, J. W., ve Pıpkın, B. W., 1973, Engineering properties and distribution of the Portuguege Tuff near Lunada Bay, Palos Verdes Hills, California, in D. E. Moran et al., eds., Geology, Seismicity, and Environmentallmpact, s. 213-27. University Publishers, LosAngeles, Calif.

Campbell, R. H., 1975, Soil Slips, Debris Flow, and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California. U.S. GeoI. Survey Prof. Paper 851. 51s.

Foley, D., McKenzie, G.D. ve Utard, R.O., 1993, Investigations in Environmental Geology, Mcmillan Publishing Company, 866 Third Avenue, New York, 10022, USA, 304s.

Gedney. D. S., ve Weber, W. G., JR., 1978, Design and Construction of soit slopes, in R. L. Schuster and R. L. Krizek. eds.. Landslides-Analysis and Control, s. 155-172. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Jahns, R.H., 1978, Landslides, in National 'Research Council Geophysics Study Committee, Geophysical Predictions, s. 58-65. National Academy of Sciences, Washington. D.C.

Jahns, R. H., ve Vonder, L, K., 1973, Space-time relationship of landsliding on the southerly side of the Palos Verdes HiIIs, California, in Douglas E. Moran et al., eds.,Geology, Seismicity, and Environmental Impact, s. 97-132. University Publishers, Los Angeles, Calif.

Keefer, D. K., ve Johnson, A. M., 1983, Earth Flows: Morphology, Mobilization, and Movement. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1264. 56 s.

Knödel, K., Lange, G. Ve Voigt, H. J., 2007, Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer Berlin Heidelberg New York, USA, 1357s.

Lundgren, L., 1986, Environmental Geology, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 07632, USA, 576 s.

Morgenstern, N. R., ve Sangrey, D. A. 1978, Methods of stability analysis, in R. L. Schuster and R. L. Krizek, eds., Landslides-Analysis and Control, s. 155-72, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Newman, E. B., Paradıs, A. R., and Brabb, E. E., 1978, Feasibility and Cost of Using a Computer to Prepare Landslide Susceptibility Maps of the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Survey Bull. 1443. 27 s.

Nilsen, T.H. ve Brabb, E.E., 1972, Preliminary photointerpretation and damage maps of Landslide and other surficial deposits in northeastern San Jose, Santa Clara County California: U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Survey Circular 1008, USA, 43s.

----, 1975, Landslides, in R. D. Borcherdt, ed., Studies for Seismic Zonation of the San Francisco Bay Region. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 941-A.

----, 1977, Slope-stability studies in the San Francisco Bay Area, California, in D. B.Coates, ed., Landslides, pp. 235-44. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, Vol. 3. 278 s.

Nılsen, T. H., ve Turner, B. L., 1975, Influence of Rainfall and Ancient Landslide Deposits on Recent Landslides (1950-1971): An Estimate of Economic Losses and Correlations with Slope, Rainfall, and Ancient Landslide Deposits. U.S. Geol. Survey Bull.1398. 21 s.

Nılsen, T. H., et al., 1979, Relative Slope Stability and Land-Use Planning in the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 944. 96 s.

Okan, N., 2003, Heyelan "Geliyorum" der!, Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, 7, 14,17.

Seed, H. B., 1973, Landslides caused by soil liquefaction, in Committee on the Alaska Earthquake, The Great Alaska Earthquake of 1964, v. 7, s. 73-119. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Tubbs, D. W., 1975, Causes, mechanisms, and prediction of landsliding in Seattle. Ph.D. dissertation, University of Washington. University Microfilms, Ann arbor, Mich.

Ulusay, R., 2001, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler; TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları (Genişletilmiş 4. Baskı), no: 38, Ankara, 385 s.

Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes, In Landslide: Analysis and Control eds. R.L. Schuster and R.J. Krizek: Transpotation Research Board, National Academy Science, National Research Council, Special Report 176, s.11-33.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Yılmaz, I., 2007, Mühendislik Jeolojisi: İlkeler ve Temel Kavramlar; Teknik Yayınevi, Mühendislik Mimarlık Yayınları, Ankara, 490s.

Yılmaz, I., ve Keskin, İ., 2007, Şebinkarahisar ile Alucra (Giresun) yöresi heyelanları: heyelan duyarlılık haritalarının frekans oranı (F ve R) ve yapay sınır ağları (YSA) modelleri kullanılarak hazırlanması: Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Merkezi (CÜBAP), M.277, Sivas, 89 s.

Youd, T. L., ve diğerleri, 1975, Liquefaction potential, in R. D. Borcherdt, ed., Studies for Seismic Zonation of the San Francisco Bay Region, s. A68-A74. U.S. GeoI. Survey Paper 941-A.

12. 4. SEL VE TAŞKINLAR

GENEL BİLGİLER

Akarsu, yerüstünde ve yeraltında akan tüm sulara verilen addır. Dere, çay, ırmak, yer altı suları ve kanallar başlıca akarsulardır. Günümüzde akarsuların aşındırıcı olmaktan çok taşıma mekanizmalarındaki etkileri önemlidir. Mekanik parçalanmanın kuvvetli olduğu iklimlerde akarsular yataklarını aşındıracak kadar bol malzeme taşırlar.

Akarsular, aşındırma ve biriktirme işlevlerine sahiptirler. Biriktirici akarsu deltalarında büyük kentler kurulmuştur. Kurak bölgelerin örgülü akarsuları sıkça yön değiştirirler ve gerilerinde akarsu yelpazeleri ile taşkın ovası istiflerini bırakırlar. Bu alanlarda kurulacak yerleşim birimleri akarsu taşkınlarına açıktır. Akarsuyun, su hacmi, akış hızı ve her akarsuyun özgül hızına ilişkin ölçümler yapılmalı ve bu veriler kent ve çevre planlamasında gözetilmelidir.

Sel, genel olarak şiddetli yağışların sonucu olarak yan derelerden gelen fazla oranda katı gereç taşıyan büyük su kitlesi olarak tanımlanır. Seller, toprağın suyu emme kapasitesini aşmasıyla oluşmaktadır.

Sellenme, yerli kayatürü ile bu kayatürünün üzerindeki örtünün yanı sıra bitki örtüsüne bağlı olarak gelişir. İlke olarak akarsuyu besleyen derelerin üst akaçlama (drenaj) alanlarındaki ağaçlar kesilmez. Bu kesimde yoğun bitki örtüsünün olması, yağışın bir bölümünün emilmesini sağlar. Yukarı yamaçlar otlaklara, aşağı yamaçlar ise yerleşim alanlarına, ovalar ise tarıma bırakılır. Sanayileşmenin tarım topraklarında yayılmasına izin verilmemelidir. Örneğin Bursa Ovası bu yönüyle kötü bir örnektir.

Özellikle ani yağışın olduğu ya da yağışın bol olduğu durumlarda ise sellerin kabarmasıyla ***taşkınlar*** meydana gelir. Dolayısıyla ***taşkın, bir akarsuyun yatağından taşmasıyla sonuçlanan ve oldukça önemli zararlara yol açan kabarma olarak tanımlanır.*** Başka bir deyişle, taşkın bir akarsuyun aşırı yağış ya da kar erimesi sonucu taşması ile oluşan doğal bir afettir. Taşkın, akarsu debisinin normal olmayan derecede artması ile gerçekleşir. Taşkınlar hiçbir şekilde engellerle (setlerle) önlenemez. Akarsu yatağı boyunca setler çekilmesi ya da akışı düzenlemek için depolar yapılması çeşitli büyük felaketlere yol açar. Yatak değiştirme kanalları, yatak arkları ya da savaklar yapılması geçici önlemlerdir. Dağların ağaçlandırılması ve çimlendirilmesi, suların düzgün dağıtılması en akılcı çözümler olarak kabul edilir.

Taşkınlar, yağışlı mevsimler yada karların eridiği dönemlerde, sağanak yağışlarla meydana gelirler ve dik eğimli, geçirimsiz topraklarda etkin olurlar. Taşkınların önceden kestirilmesi, ısı ve yağışa ilişkin gözlemlerin yapılmasına, kıyının ve yukarı kesimlerin eğim derecelerinin değerlendirilmesiyle bir ölçüde mümkündür.

Sel ve taşkınlar, çoğu kez eş anlamlı terimler olarak kullanılmaktadır. İki olayın ortak yönü, ***yüksek su akışlarının*** sonucu olarak oluşmalarıdır. Ancak ***sellerin***, daha çok yukarı havzalarda ve yan derelerde ani olarak meydana gelen, ***taşkınların*** ise daha çok vadi tabanlarında ve aşağı havzalarda meydana gelen ve sellere oranla daha az oranda ve daha küçük boyutlu gereçler içeren yüksek su akışlarını ifade ettiği bilinmektedir (Görçelioğlu, 2003).

Denizin sahillerinde özellikle ilkbahar ile birlikte boraların oluşturduğu dalgalarda taşkınlara ve can, mal kaybına neden olmaktadır. Ganj deltasında ve Doğu Pakistan' da 12 Şubat 1970 tarihinde bir tayfun ile kabaran deniz karanın iç taraflarına doğru ilerleyerek bir milyon insanın ölümüne yol açmıştır. Bu tip felaketleri haber veren çeşitli uyarı dizgeleri kurulmuştur. Örneğin Luisiyana deltası alanından uyarı dizgelerinden edinilen bilgilerle 1965 yılında 150 bin kişi taşınarak uzaklaştırılmış ve büyük bir felaketin eşiğinden dönülmüştür.

Dolayısıyla sahil kentlerinin planlanmasında hem tsunami hem de karadan olabilecek taşkınlar gözetilmelidir. Doğal ya da yapay (örneğin bentlerin yıkılması sonucu oluşan) akarsu taşkınları olağandır. Sel ve taşkınlar beklenmedik bir anda da bastırabilirler. Böyle olunca uyarı sistemlerinden de

yararlanılamaz. Su ile birlikte çok miktarda irili ufaklı kırıntılar da sürüklenebilir. Örneğin çamurlu su taşkınları kimi köyleri süpürerek 1000' lerce insanın ölümüne yol açmıştır. Kimi kentlerde verimli topraklardan geçen akarsular boyunca kurulmuşlardır. Bunların taşkınlara uğrama olasılıkları yüksektir.

Nil, Dicle, Fırat ve Sarı Nehir boyunca gelişen yeni uygarlıklar, akarsuların taşkınları nedeniyle yok olmuşlardır. Taşkın önleme girişimleri tarih kadar eskidir. Bilim ve teknik geliştikçe taşkın zararları azaltılmıştır. Planlamada, taşkın olasılığı olan alanlar haritalanmış ve bu alanlarda gereksinimi duyulan önlemler ortaya konulmuştur. Taşkın incelemelerinde, jeoloji haritası, meteroloji ve hidroloji verileri birlikte ele alınırlar.

Sağanak yağmurlu fırtınalar, ani kar erimeleri, bent ya da setlerin yıkılması sonucu korkunç taşkınlar oluşabilirler. Var olan akaçlama (drenaj); suyu uzaklaştırmada yetersiz kalınca "yaygın seli" oluşur. Nil, Po ve Missisipi akarsularının taşkınları beraberinde getirdiği kırıntılı kayaları yayarak verimli ovaların gelişmesine de yol açmaktadırlar.

SEL VE TAŞKINLARIN NEDENLERİ VE TÜRLERİ

Sellerin oluşumunu atmosferik (iklim) kökenli ve fizyografik (özellikle arazinin eğimi) faktörler belirlemektedir. Atmosferik kökenli faktörlerin en önemlisi şiddetli yağmur ya da dolu yağışıdır. Yani, sel ve taşkınların ana nedeni şiddetli yağışlardır. Yarı kurak iklime sahip Türkiye'de sel ve taşkınların önemli bir bölümü yaz aylarındaki sağanak yağışlardan kaynaklanmaktadır. Özellikle aşırı yağışlar, belirleyicidir. Yağışlardan sonra, hidrolik yapılar da yüksek akımların taşkına dönüşmesine neden olabilir. Hidrolik yapılar, 100 yıl tekerrür aralıklı yağışlara göre tasarlansa da iklim değişikliğinin sonucu olarak, ani akımı taşımaya yetersiz kalabilirler.

Sel ve taşkınların olduğu yerler gözetilirse, bunlar iki temel gruba ayrılabilirler. Örneğin, akarsu yatakları boyunca gelişen sel ve taşkınlar ve denizel kıyılarda oluşan sel ve taşkınlar.

Akarsu yataklarında gelişen sel ve taşkınların nedeni doğrudan ani gelen yağışlar ve barajda meydana gelen kazalardır. Akarsu taşkınları, su ile beraber taşınan ince taneli gereçler nedeniyle çamur akıntılarına (yoğunluk akıntılarına) dönüşürler. Bu da taşkının gücünü daha çok arttırır ve büyük hasarlara yol açar. ***Çamur akmaları,*** akarsuların taşıdığı katı gereçlerin birikmesi sonucu oluşurlar. Taşkın suları, bulanık-bulamaç halinde olabilir. Kurak bölgelerde birden bastıran sağanaklarda kuru vadilerden çamur selleri inebilir.

Amerika'da bir çamur akmasına kapılan tren çamura gömülmüş ve lokomotifin yeri, ancak jeofizik yöntemlerle bulunmuştur. Hindistan ve Güney Afrika' da meydana gelen çamur akmaları, önlerine gelen konut, köy, köprü ve diğer yapıların km'lerce uzaklara dek çamura gömülmelerine neden olmuşlardır. Bu felaketlerden korunmak için ağaçlandırma ya da çamur akmalarının olabileceği güzergâhlar boyunca konut yapmama birer yöntem olarak düşünülebilir.

Denizel kıyılarda meydana gelen sel ve taşkınlar ise, akarsu deltalarında oluşan tehlikeler, deniz ilerlemesi (transgresyon) ve deniz gerilemesi (regresyon) nedeniyle gelişen tehlikeler, denizlerde meydana gelen depremler nedeniyle oluşan tsunamiler, kıyılarda şiddetli rüzgarlar (harikanlar) ve akarsularda meydana gelen sel ve taşkınların kıyılardaki etkileri sonucu can ve mal kaybına yol açmaktadır.

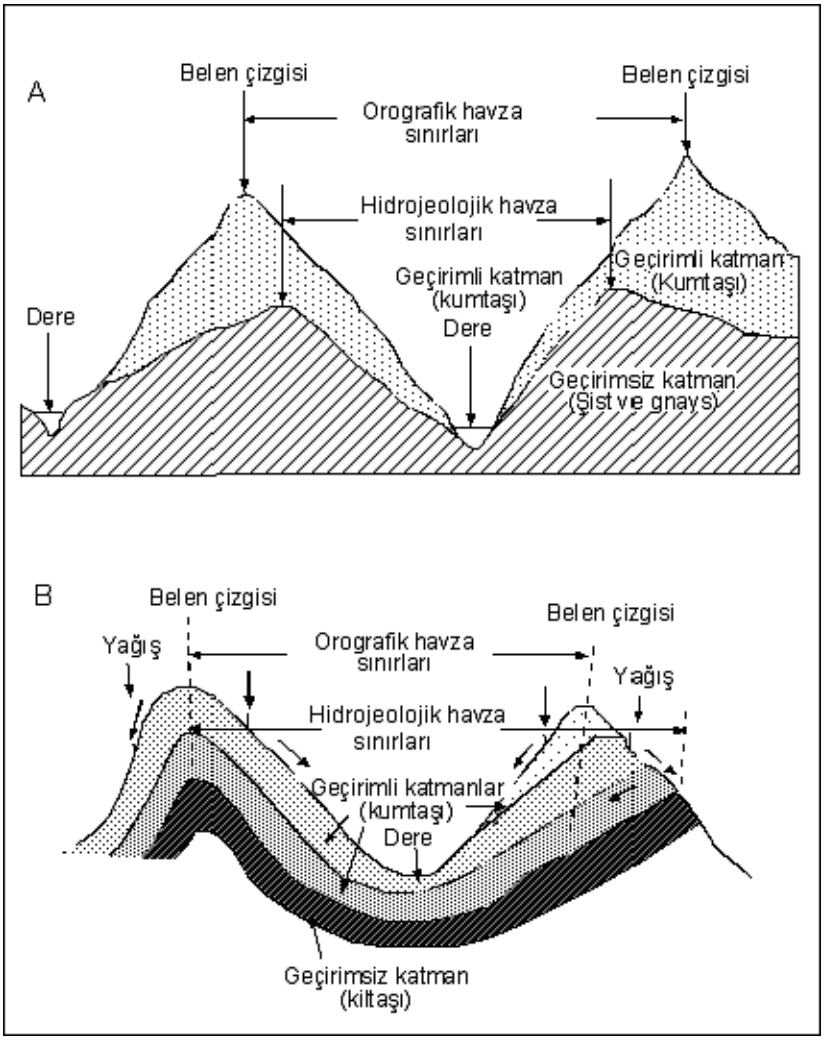
SEL VE TAŞKINLARIN ANALİZİ

Sel ve taşkınları denetleyen öğeler ve bunların analizi konusundaki bilgiler ağırlıklı olarak Özbek' in (1982) çalışmalarından derlenmiştir.

Genel tanımlar

Yağış ve kaynak sularını aynı dere yatağına yada göle akıtan ve su bölüm çizgisi ile sınırlanan arazi yüzeyine genel olarak ***havza*** denir. Hidrolojide kullanılan coğrafi birim olan ***akarsu havzası*** (su toplama havzası, akaçlama (drenaj) havzası) da akarsuyu besleyen tüm yüzey olarak tanımlanır.

Bir topografik haritada havza alanı ya da akaçlama alanı, yüzey suyu yerçekimi ile akarken o alan içinde kalacak şekilde en yüksek noktaları birleştirerek belirlenir. En yüksek noktaları birleştiren ve bir akarsuyun beslenme havzasını belirleyen çizgiye ***belen sınırı*** ya da ***su bölüm çizgisi*** denir. Belen sınırı ile ayrılan havzalara ***orografik havzalar,*** yeraltında süreksizliklerin (ya da geçirimsiz katmanların) ayırdığı havzalara ise ***hidrojeolojik havzalar*** (Şekil 1A ve B) denilmektedir (Görçelioğlu, 2003). Öncelikle orografik ve hidrojeolojik havza sınırlarını belirleyen ögeler tanımlanmalıdır. Bu havzaların tanımlanmasında gözetilmesi gereken hususlar Şekil 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 1. Orografik ve hidrojeolojik havza sınırlarının karşılaştırılması (A-Görçelioğlu, 2003'den; B-Özbek, 1989' den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Ayrıca, her havzayı etkileyen başlıca özellikler aşağıda sunulmuştur (Özbek, 1982):

Zemin türü ve jeolojik yapı

Havzanın jeolojik özellikleri, yani havzayı oluşturan kaya türlerinin hidrojeolojik özellikleri ve yapısal konumları, yeraltına sızan sular açısından önemlidir.

Bitki örtüsü

Evapo – transpirasyon kayıplarını belirlediği için bitki örtüsü havza üzerindeki akışın miktarını belirler.

Havzanın büyüklüğü

Akışın miktarını etkiler. Havza büyüdükçe pik debi ve taşkın hacmi büyür ve böylece pike ulaşma süresi uzar.

Havzanın biçimi

Havza şeklinin taşkınların oluşumunda etkisi çok önemlidir. Büyüklükleri ve diğer özellikleri aynı, fakat biçimleri farklı olan havzalarda meydana gelen taşkın hacimleri eşit olduğu halde havzanın şekline göre, akıttıkları su miktarları ile pike ulaşma ve devam süreleri değişiktir.

Havzanın eğimi

Havzanın yamaç eğiminin etkisi fazladır. Akaçlama alanları eşit ve diğer özellikleri aynı olan iki havzanın taşkın hacimleri eşit olmasına rağmen, yamaç eğimi büyük olanın debisi daha büyük, pike ulaşma ve taşkın süresi daha kısadır. Genellikle uygulamada bu eğim harmonik eğim olarak tanımlanır.

Yukarıda sunulan tanımlamalar ışığında, Sivas ili sınırları dâhilinde yer alan yüzey sularına ilişkin orografik havzalar Şekil 2'de bir örnek olarak sunulmuştur. Genellikle belen sınırı ile sınırlanan yüzeyde yer alan akaçlama (drenaj) alanları ile yeraltı akaçlama alanlarının sınırları birbirine karşılık gelmeyebilir. Çünkü yeraltı akaçlama alanlarını, süreksizlikleri temsil eden geçirimsiz bölgeler sınırlar.

Taşkın boşalımı ve frekansı

Sel ve taşkınların ya da akarsuların analizinde taşkın yada akarsu boşalımının ve frekansının ayrıntılı bir biçimde değerlendirilmesinde yarar vardır.

Taşkın boşalımı (Deşarjı)

Bir ırmağın boşalım (deşarjı) miktarı, belli bir yerde ve birim zamanda akan suyun hacmidir. Boşalım, genellikle fitküp/saniye (cfs) ya da metreküp/saniye (m^3/sn) olarak ifade edilir. Eğer kanalın alan kesiti (derinlik/genişlik) ve nehrin akış hızı biliniyorsa, boşalım aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$Q = A*V$

Q = Boşalım miktarı (debi) (cfs ya da m^3/sn)

A = Akarsuyun kesiti (ft^2 ya da m^2)

V = Suyun akış hızı (f/s ya da m/sn)

Taşkın frekansı

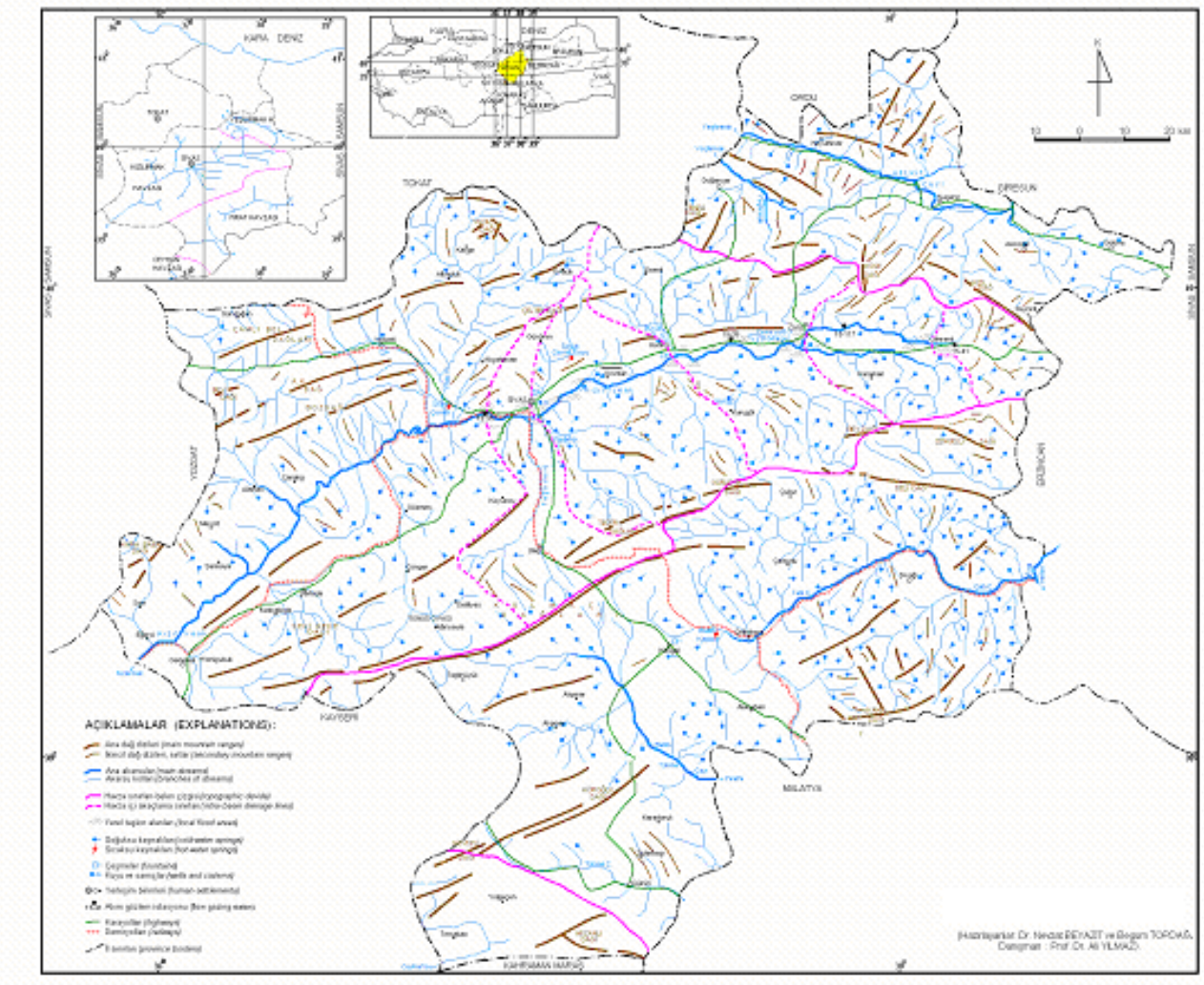
Taşkın olabilirliğinin değerlendirilmesine ilişkin kimi çözümlerin geliştirilmesi yıllarca sürmüştür. Konu olan bölgede yıllık maksimum taşkın boşalımından hesaplanan taşkın frekansının değerleri ve kayıtları çok yararlı olmuştur. ***Taşkın frekansı***, verilen ya da öngörülen şiddetteki iki hidrolojik olay arasındaki ortalama zaman aralığı yani tekrarlanma aralığı (peryodu) olarak tanımlanır. Boşalmaya neden olan taşkının ***tekrarlanma aralığı (peryodu)*** aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$T = \frac{N+1}{m}$$

T= Tekrarlanma aralığı (peryodu),

N= Kaydedilen yılların toplam sayısı,

m= Kayıtlardaki yıllık taşkın boşalımlarının en büyükten küçüğe sıralamasındaki gözlem sıra numarasıdır.



Şekil 2. Sivas ili sınırları dahilindeki bölgenin yüzey sularına ilişkin orografik havzaları.

Frekans (P) ya da (f) ise tekrarlanma aralığının yani peryodun tersidir. Yani P(f)= 1/T' dir. Dolayısı ile frekans

$$P(f) = \frac{m}{N+1}$$ ile hesap edilebilir.

Sonuç olarak taşkın kaydı ne kadar uzun bir zamanda dilimini temsil ediyorsa, o kadar yüksek bir olasılıkla, büyük boşalımlar (deşarjlar) tahmin edilebilir. **T, *yıl olarak tekrarlanma aralığı ise;* P, *bu aralığa karşılık gelen taşkın frekansı (yani tekrarlanma olasılığı) olup,* P=1/T *yardımıyla hesaplanabilir.*** Bu formül ile sayılı bir yılın yıllık maksimum taşkının verilen boşalıma eşit ya da fazla çıkma olasılığını belirtir. 10 yıllık bir tekrarlanma aralığına sahip bir taşkın, herhangi bir yılda %10'luk; ya da 100 yıllık olan %1'lik bir tekrar olasılığına sahiptir.

Etkiyi ve taşkın frekanslarını daha iyi anlamak ve taşkın kestiriminde yardımcı olmak üzere taşkın bilgilerinden boşalım (debi) ordinata, tekrarlanma aralığı (olasılık) apsise işlemek üzere, bir taşkın frekansı grafiğine (logaritmik, yarı logoritmik ya da Gumbel çizelgesi'ne) aktarılır. Noktalar, düzgün bir eğri ile birleştirilir. Bu eğrilerden verilen yıllık maksimum büyüklükteki miktarların arasından geçen ortalama zamanı hesap edebiliriz. Diğer bir deyişle, sabit bir zaman aralığı içinde olayın, verilen şiddette ve zamanda olmasının beklenebilirliği, kesin bir yaklaşımla belirlenebilir. Örneğin yıllık 500 cfs boşalımı olan bir tekrarlanma aralığı 4 yıl olarak bulunuyorsa, 20 yıl boyunca 500 cfs'lik veya 5 kat büyük bir boşalımı öngörebiliriz.

Çeşitli frekanslara sahip taşkınların tanımlanması

Su yapıları, köprü, menfez gibi su ile ilgili yapıların pek çoğu belirli bir ihtimalle gelecek taşkına göre boyutlandırılırlar. Bu tür yapıların gelebilecek en büyük taşkına göre projelendirilmesi ekonomik olmaz. Örneğin; tarım sahasını korumaya yönelik olarak projelendirilen bir seddenin, 25 yılda bir karşılaşılabilecek büyüklükteki bir taşkına göre geçirmesi yerine 10 yılda bir karşılaşılabilir bir taşkına göre projelendirilmesi daha ekonomik olacaktır. Önemli olan hangi taşkına göre projelendirilmesi gerektiğini bilmektir.

Bir su yapısını projelendirirken, yapının tasarlandığı kesitte akarsuyun meydana getirebileceği taşkınlara ait bilgilerin mevcut olması gerekir. Hidrolojik çalışmaların sonunda elde edilen sonuçların, bir betonarme hesabı kadar kesin sonuçlar vermeyeceği doğaldır. Bu durum, rasatların eksik ya da yanlış olması yanında, geçmişte gözlenen taşkınları inceleyerek bir su yapısının ömrü boyunca gelebilecek taşkınların büyüklüğü hakkında hüküm vermenin güçlüğünden doğar.

Herhangi bir su yapısını projelendirirken belirli bir olasılıkta gelebilecek taşkınlara göre boyutlandırılır. Bu nedenle taşkın hesaplarını 2 ana grupta toplamak gerekir;

1 – Belirli ihtimallerle gelecek taşkınların hesabı (Q_N)
2 – Gelmesi olası en büyük taşkının hesabı

"Q_N" demek; herhangi bir "N" yılda görülmesi ve aşılması ihtimali olan taşkın demektir. Örneğin; Q_{50} = 325 m^3/s. 50 yılda bir 325 m^3/s lik debinin ve fazlasının gelebileceğini göstermektedir. Q_{50} ile gösterilen ve yineleme ifade eden N = 50 sayısı örneğin 10000 senelik süre içinde 10000 / 50 = 200 kadar Q_{50} taşkınına eşit veya ondan büyük taşkın geleceğini gösterir. N = 2, 3, 5, 10, 25, 50, 100, 1000 diye seçilir. Yapının önemine göre hesaplarda kabul edilecek olan N sayısı büyür. Örneğin küçük bir drenaj kanalında N = 2, 3 veya 5 alınırken, hesaplanılan debiden fazla debi gelmesi halinde daha büyük zararlara yol açacak olan regülatör yapılarda N = 100 veya 100' den büyük bir sayı olur. N sayısı arttıkça aynı kesitteki debinin de artması doğaldır.

Grafik analiz – gumbel yöntemi ile çeşitli yinelemeli debilerin bulunması

Bir akarsuyun 20 yıl boyunca her yıl gelen en büyük debilerin ölçülmüş olduğunu kabul edelim ve bu debileri küçükten büyüğe doğru sıralayalım. En küçük debinin sıra numarası 1, en büyüğünün 20 olsun. Gözlem sayısı N = 20 ve en küçük debinin gözlem sırası m = 1 olduğuna göre en küçük taşkına eşit ya da daha küçük debi gelme olasılığı; m / N = 1 / 20 = 0.05 olur. En küçük taşkına eşit ya da daha büyük debi gelme olasılığı ise;

1 – (m / N) = 0.95' tir.

Aynı formülün sayı numarası 20 olan en büyük taşkına uygulanması durumunda; bu taşkına eşit ya da daha küçük bir taşkın gelmesi ihtimali ise;

m / N = 20 / 20 = 1 olur ki bu şekilde daha büyük bir taşkın gelme olasılığı ise;

1 – 1 = 0 olur.

Anlamsız olan bu sonuçtan çıkmak için Gumbel yönteminde tekrarlanma olasılığını (yani tekrarlanma frekansını) hesaplamak için, m / N+1 formülünü önermiştir. Bu yöntemle gelmesi olası taşkınların hesaplanmasında izlenecek yol ise aşağıda sıralanmıştır:

1 – Her yıl için ölçülmüş taşkın debileri küçükten büyüğe doğru sıralanır.

2 – Her debi için P = m / N+1 formülü ile olasılıklar (yani frekanslar) hesaplanır (m = taşkın boşalımlarının küçükten büyüğe doğru sıralamada gözlem sıra numarası, N = Toplam gözlem sayısıdır).

3 – Her gözleme karşılık gelen debiler ve tekrarlanma olasılığı değerleri (ordinatta debi, apsiste tekrarlanma olasılığı (P)' na karşılık gelen değerler esas alınarak) Gumbel çizelgesine işlenir.

4 – Daha sonra bu noktaları (alt ve üstte kalan noktaları) dengeleyen bir doğru (Gumbel Doğrusu) çizilir.

5 – Gumbel çizelgesinin üstündeki Q_{50}, ve Q_{100} 'den Gumbel Doğrusu'na dik inilir ve dik inilen çizgilerin Gumbel Doğrusu' nu kestiği noktalardan yatay olarak apsise gidilerek Q_{50}, ve Q_{100} 'e yani 50.ci ve 100.cü yıllara karşılık gelen debiler okunur.

Eğer proje sahası, akım rasat istasyonunun uzağında bulunuyorsa, akarsuyun proje sahasındaki akaçlama alanı, A_1 ve akım gözlem istasyonundaki akaçlama alanı A_2 göz önüne alınarak; $Q_1 / Q_2 = A_1^{2/3} / A_2^{2/3}$ formülü ile proje kesit alanındaki debiler hesaplanır. Bu yöntemin güvenilir sonuçlar vermesi için en azından; N ≥ 20 olması gerekir.

Akım gözlem istasyonlarında yerinde debi hesaplarının yapılması

Akım gözlem istasyonlarının yerinde debi hesaplarında, basit bir şekilde Gumbel grafiği ile yapılan uygulamalar olduğu gibi, bilgisayar ortamına uyarlanmış programlar da kullanılabilir.

Gumbel grafiği ile yapılan hesaplamalar

1 yıl içerisinde günlük ölçülen debilerden en yüksek değerde olan yıllık debiler seçilir. Yıllık en yüksek değerde olan debiler, EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi)' nin "Yıllık akım değerleri" ni içeren kataloglarından sağlanabilir. Alınan bu debiler en az 20 yıllık süre ile ölçülmüş debiler olmalıdır. Yıllık en büyük debilerin gelme olasılıkları (%) olarak bulunur. Yıllık en büyük debiler küçükten büyüğe doğru alt alta sıralanır. Çizelge 1' de sıralanan bu debiler dikey eksene, frekans olasılıkları da yatay eksende yer almak üzere Gumbel çizelgesine işlenmiştir (Şekil 3).

Çizelge 1. Gumbel yöntemi çerçevesinde, bir akarsuyun, yıllık maksimum büyüklük sırasına göre sıralanmış akarsu debileri (Özbek, 1982).

Gözlem sıra numarası (m)	Büyüklük sırasına göre Q (debi)	$P = \frac{m}{N+1}$
1	282	0.0625
2	388	0.125
3	395	0.188
4	422	0.250
5	429	0.313
6	520	0.375
7	528	0.438
8	560	0.50
9	589	0.563
10	594	0.625
11	606	0.688
12	619	0.750
13	697	0.813
14	705	0.875
15	766	0.938

Bilgisayarlarda yapılan hesaplamalar

Daha önce Gumbel yazılımı ile hesaplanan debiler, bilgisayar ağının gelişmesinden sonra bilgisayarlarla yapılmaya başlanmış ve aynı anda (Normal Log, Log Normal 2, Log Normal 3, Gama 2 Par., Log Pearson 3 ve Gumbel) olmak üzere 6 yöntem birden hesaplamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun için sağlıklı bir veri tabanının ve bilgisayar programının oluşturulması gerekir.

DÜNYA'DA ÖNEMLİ BAZI TAŞKIN OLAYLARI

Sadece ülkemizi değil, dünyanın en önemli doğa kaynaklı afetlerden biri de sel ve taşkınlardır. Ohio ve Colorado- Büyük Thompson taşkınları 20. Yüzyılda unutulmaz izler bıraktı.

Zanesviller, Ohio Taşkını

Zanesville'deki 1959 Taşkını, Ohio

21-24 Ocak 1959' deki Zanesville Taşkını, Ohio'da 1913'ten beri gerçekleşen en zarar verici taşkın olayıdır. Bu olayda, 16 can kaybı olmuş, 100 milyon doları aşkın maddi zarar meydana gelmiştir. 17 bin bina su altında kalmıştır. 14-17 Ocak tarihindeki fırtınayı izleyen dönemde yağan yağış, toprağı su ile doyurmuş, ardından su kısmen donmuş ve sonradan da arazi, kar ile kaplanmıştır. Cincinati'den Columbus'a uzanan Kuzey Doğu yönünde, 20-21 Ocak tarihlerinde de 6 inç (6x2,54 cm) yağmur düşmüş, eyaletin büyük bir bölümü de en az 3 inç yağmur almıştır (Edelen ve diğerleri, 1964).

Colorado-Büyük Thompson Nehri'ndeki yüzyılın taşkını

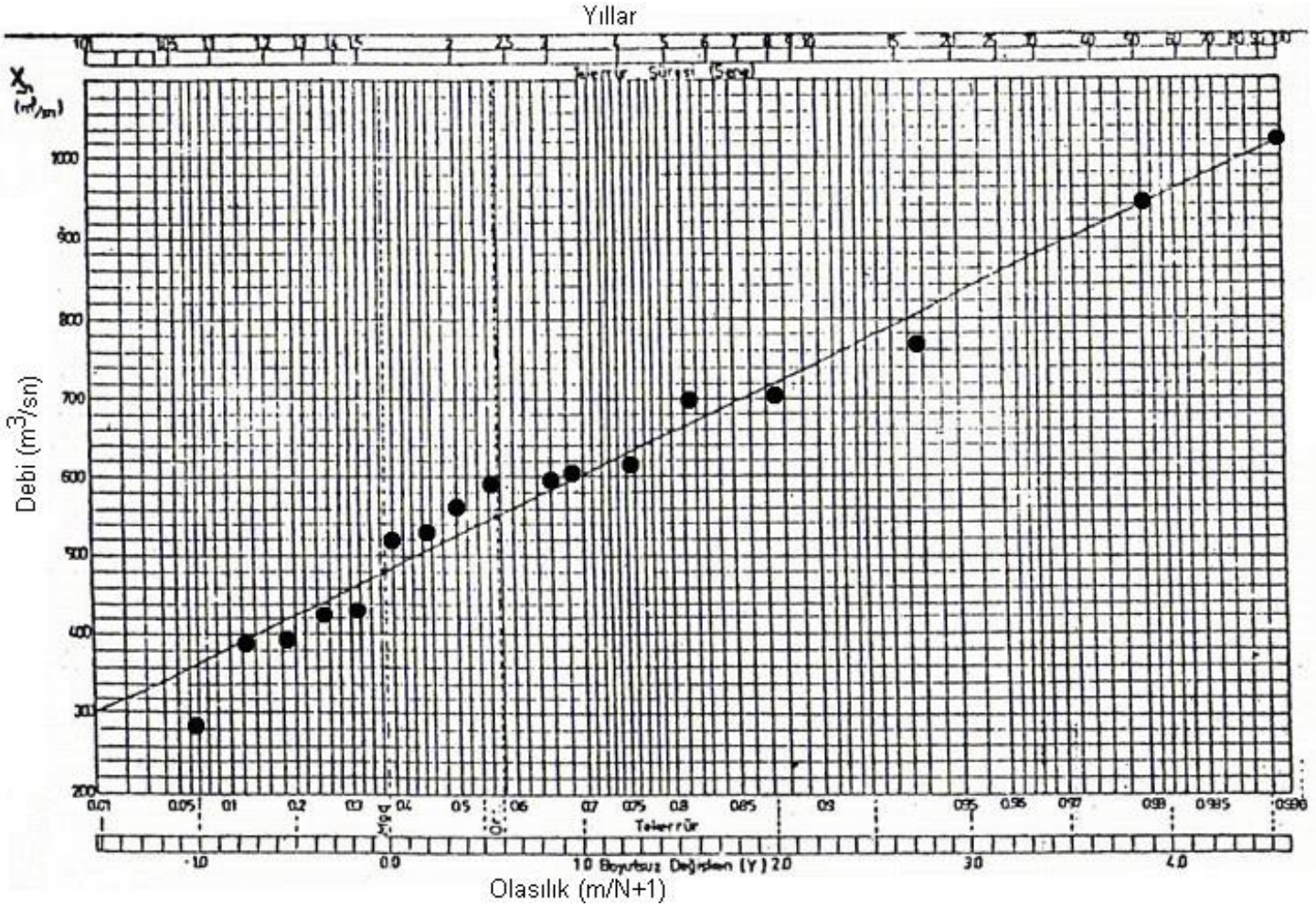
Su taşkınları, erozyon ve heyelan gibi kütlesel hareketler birlikte, 1976' nın 31 Temmuz-1 Ağustos aralığında, Colorado'nun kuzeyini yerle bir etmiştir. Bu olay, 139 ölüm ve 35 milyon dolarlık maddi zarara yol açmıştır.

Fırtınalar, nemli ortamda ve sıkça değişen bir yapıda gelişmiştir. Değişen hava, Front Range'in Batı Bölgesi'nde egemen olmuştur. Güçlü fırtınalar, Kuzey-Güney hattında ve dağ yamaçlarında gelişmiştir. Bu fırtınalar, havzalardaki nemli havayı, batıya sürükleyerek yoğunlaşmasına yol açmıştır. Yer düzeyindeki bulut tabanı, bu orografik sistemde bulutlar altı buharlaşmayı engellemiştir. Yüksek çökelme oranı ve dik yamaçlar nedeniyle Büyük Thompson nehri taşma düzeyine ulaşmıştır.

Gelişen taşkın, yüz yılda bir gelebilir birçok taşkınının boyutlarını aşmıştır. Yağmurlara rağmen, taşkın boşalımları sonucu, Colorado'nun doğu yamaçları ve akarsu boyunca yer alan alanlarda maddi kayıplar meydana gelmiştir (McCain ve diğerleri,1979). Maddi kayıpların başında, devlet otobanının gördüğü zarardır. Sayılamayacak kadar vergi makbuzu, septik tanklar kaybolmuş ve taşkın havzasının içinde yer alan arazi ucuzlamış ve değer kaybına uğramıştır.

Dikkate değer jeomorfolojik değişimler, dik yamaçlarda 3000 fit (ayak)in üstünde ve kanyonun %80 diklikteki yamaçlarında gerçekleşmiştir. Akış eğiminin % 2'nin üzerinde olduğu yerlerde, nehrin büyük kısmında, menderes kıvrımları boyunca kimi uzantılar aşınmıştır. Uzantılarda, eğimin % 2'nin altına olduğu yerlerde ve akış kanalının genişlediği bölümlerde, yer alan çökeller, taşkın havzalarında birikmiştir. Set üzeri çökel birikimi, Büyük Thompson Kanyonu akıntısının sonucu olarak oluşmuştur. Nehir ayaklarında, taşıma boruları (künk=bolder), daha az eğimle döşenmiştir. Birikintiler, heyelanlar ve akıntılar sonucu büyümüştür.

Hem tarihi hem de jeolojik kanıtlar, Front Range boyunca yer alan diğer havzaların da Büyük Thompson havzasındaki (yüzyılda bir) taşkına benzer şiddette bir vurguna uğrayabileceğini göstermektedir.

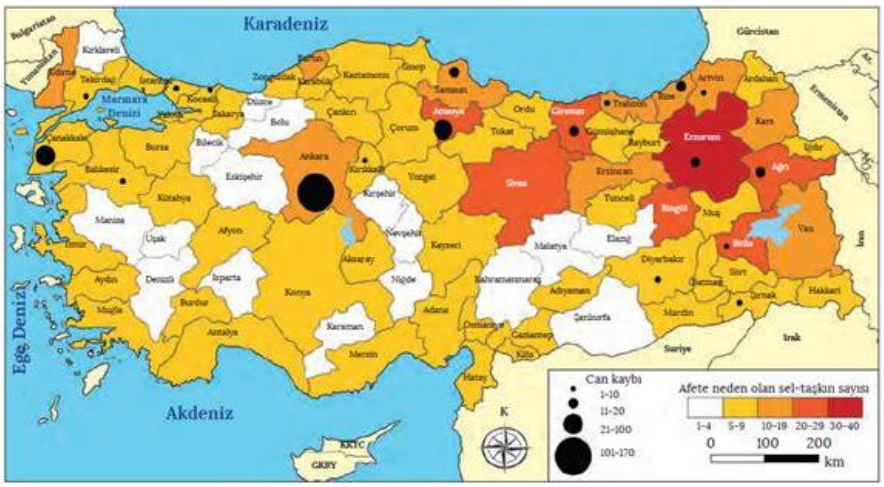


Şekil 3. Çizelge 1' de Yıllık maksimum debileri sunulan bir akarsuyun, 50 ve 100 yıllık periyotlarla gelebilecek akarsu debilerinin bulunması (Özbek, 1982).

ÜLKEMİZDE BAZI SEL VE TAŞKIN OLAYLARI VE NEDENLERİ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de sel ve taşkınlar, en sık görülen ve en çok zarara yol açan afetlerin başında gelmektedir. Sel ve taşkın olaylarının afete dönüşmesi, doğal etkenler (iklim, bitki örtüsü, topoğrafya vb.) ve insanların birtakım faaliyetleriyle yakından ilişkilidir. Hızlı nüfus artışı, yanlış arazi kullanımı, bitki örtüsünün tahribi, altyapı yetersizliği, vadi ve ova tabanlarına yerleşim alanlarının kurulması, dere yataklarının değiştirilmesi gibi faktörler ve gerekli önlemlerin zamanında alınmaması, sel ve taşkınların başlıca nedenleridir. Türkiye'de, geçmişte, sel ve taşkın olayları; yağışların artması ve kar erimelerine bağlı olarak en fazla Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında görülmekteydi. Günümüzde, Temmuz ya da Ekim aylarında da benzer afetler yaşanmaktadır.

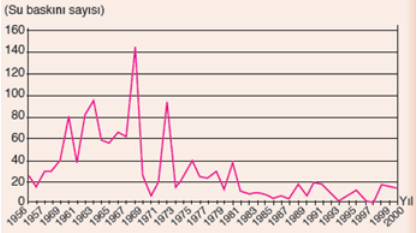
Ülkemizde su baskınları, yağışın fazla olduğu yerler ile büyük akarsu havzalarının bulundukları yerlerde yoğunlaşmaktadır. Su baskınlarının etkisini artıran olay şiddetli ve ani sağanak yağışlardır. İlkbahar aylarında yağışlarla birlikte kar erimelerinin başlaması da su baskınlarının şiddetini artırmaktadır. Şekil 4'de ülkemizde, afete neden olan sel ve taşkın olaylarının illere göre sayısı ve meydana gelen can kayıpları görülmektedir. Çizelge 2'de ise sel ve taşkınların bazı illerdeki sıklığı, maruz kalan nüfus ve yıllara göre istatistiki veriler görülmektedir.



Şekil 4. Ülkemizde sel ve taşkınların illere göre dağılımı ve bazı afetlerde yaşanan can kayıpları https://www.fikir.gen.tr/sel-ve-taskin-olaylari-turkiyeda-sel-ve-taskin-olaylari/ (20 Temmuz 2019, saat 9.30).

Çizelge 2. Sel ve taşkınların bazı illerdeki sıklığı, maruz kalan nüfus ve yıllara göre dağılımı https://www.cografyabilimi.gen.tr/turkiyede-su-baskinlari-sel-taskinlar/ (20 Temmuz 2029, Saat 10.30).

İl	Yıllık Sıklık	Riske Maruz Kalan Nüfus
İzmir	3,4	450 000
Rize	1,8	55 000
Kahramanmaraş	1,6	35 000
Denizli	0,6	20 000
Trabzon	0,5	32 000
Antalya	0,4	400 000



Ülkemizde meydana gelen bazı sel ve taşkınlara dair görüntüler Şekil 5, 6 ve 7'de görülmektedir. Yani yanlış yer seçimi nedeniyle, sadece kentlerde değil, kırsal alanlarda da sel ve taşkınlar yaşanmaktadır.

Şekil 5. Samsun'un Canik ilçesinde 2012 yılında meydana gelen sel can ve mal kaybına neden olmuştur. https://www.cografyabilimi.gen.tr/turkiyede-su-baskinlari-sel-taskinlar/ (20 Temmuz 2029, saat 10.30).

18 Temmuz 2019'da sağnak yağış nedeniyle, Düzce (Akçakoca ve Gökyaka ilçeleri) ile Zonguldak (Ereğli ilçesi) köylerinde sel ve taşkın afeti nedeniyle ulaşım kesildi, can kayıpları yaşandı. Şekil 6'da Gölyaka ilçesi köylerine dair bir görüntü, Şekil 7'de ise Ereğli ilçesi köylerine dair bir görüntü izlenmektedir.

Şekil 6. 18 Temmuz 2019'da Sağnak yağış nedeniyle, Düzce-Gölyaka ilçesi köylerinden birinden bir görüntü (https://www.haberturk.com/duzce-ve-eregli-felaketi-yasadi-2505607 (20 Temmuz 2019, saat 09.25).

Şekil 7. Düzce-Ereğli ilçelerinin köylerinde yaşanan taşkından başka bir görüntü (https://www.internethaber.com/duzcede-son-durum-son-yillarin-en -buyuk-sel-felaketinden-dehset-goruntuler-foto-galerisi-2037606.htm 20 Temmuz 2019, saat 09.45).

Düzce'deki afetin nedeni, elbette bir günde 200 kg yağış düşmesi değildir. AFET'in başlıca nedeni, dere yataklarının yerleşime ve yapılaşmaya açılması, buna izin verilmesi ve göz yumulmasıdır.

Özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde sel ve taşkın kaynaklı doğa kökenli afetler sıkça yaşanmaktadır. Bölgede havza planlaması yapılmadan, HES'lere izin verilmesi, yani daha yeterli inceleme yapılmadan proje sahibine lisans verilmesi önemli bir sorundur. Lisans devrinin çantacı diye adlandırılanlar tarafından alınıp satılması ve özel sektörün bir bölümünün kâr amacıyla teknik ayrıntılardan uzak yöntemlerle HES'leri inşa etmesinin ise savunulabilir bir yönü yoktur.

SEL VE TAŞKINLARIN DENETLENMESİ VE EYLEM PLANLARI

1930'lardan bu yana, baraj ve kanal düzenlemeleri gibi taşkın denetim projelerine, Federal hükümetler tarafından on milyarlarca dolar harcanmıştır. Bununla birlikte, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki taşkın zararı 1977- 86 ortalamalarına göre yıllık 2,5 milyon doları bulmuş ve yaklaşık 130 can kaybı olmuştur (Carr ve diğerleri, 1990). Amerika Birleşik Devletleri Su Kaynaklar Kurulu, ulusal taşkın zararlarının, olası taşkın alanlarının ekonomik olmayan, tehlikeli ve gereksiz kullanımlarının engellenmesi için çaba harcanmaması halinde zararın yıllık 3,5 milyon dolara ulaşacağını rapor etmiştir. Avrupa ve Asya'da bu etki daha büyüktür. 1947- 67 yılları arasında meydana gelen taşkınlardan 164.000'den fazla can kaybı olmuştur. Dünyada 15 milyondan fazla insan son 20 yıllık süre içinde taşkınlardan etkilenmiştir.

Taşkın, genellikle bir nehrin, aşırı yağış ya da kar erimesi nedeniyle yatakların üzerinden fazlaca taşması sonucunda oluşur. Nehir taşkınları su yüksekliğinin yada suyun akış rotasının çoğunlukla herhangi bir zaman aralığındaki düzeyinin (ki buna "Tam kenar düzeyi" denir) aşması durumunda meydana gelir. Nehir kanalları su dolaşımlarını ve yamaç aşılmalarını engelleyecek düzeyde olmadığı zaman da taşkın oluşur. Nehirler, aşırı yağışların düz vadi tabanlarından ya da akarsu yatağına komşu alanlara boşalmasıyla sıkça taşarlar. Taşkınlar nehirlerin tipik geçici özelliklerinden biri olup hidrolojik, meteorolojik, topografik ve yapısal öğelerin (barajlar, setler) birbirlerini etkilemeleri sonucu oluşurlar.

Nehir taşkınları tek taşkın tipi değildir. Taşkın terimi aynı zamanda, göl ve deniz kenarlarından veya alüviyal gereçlerin taşınmasıyla oluşan ***su kabarmalarının*** birleştirilmiş karşılığıdır. Göreceli olarak düz ve kötü akaçlanmış yüksek bölgeler, taşkınların sıkça olduğu yerlerdir. Sular aşırı yağmurlarla, normal sızıntı ya da yetersiz akaçlamalarla lağımlara veya hendeklere taşınır. Zemin katlara ve garajlara girdiğinde ya da insanları rahatsız ettiğinde, bu alan, su baskınlarının kapsamında olmasa ya da sahil veya alüviyal akış bölgesi olsa bile meydana gelen olayı betimlerken ***taşkın*** terimi söz konusu olur.

Bu uygulamalar, doğal nehir taşkınları, taşkınların yarattığı sorunlar ve kimi çözümlerle potansiyel çözümlerle bilgilendirmek üzere düzenlenmiştir. Aşağıda ilk bölümde burada özellikle göz önüne alınan Amerika Birleşik Devletleri'ndeki taşkın zararlarını analiz edilmekte ve taşkın frekansları, şiddetleri ve havza alanlarına olan akaçlanmanın değişimi irdelenmektedir.

Taşkınlara karşı öncelikle ***bentler*** bir önlem olarak yapılabilir. Bu çerçevede suların yönlendirilebileceği alçak bir arazi bulunmalıdır. Diğer taraftan elektrik gücü içinde bent suyu yüksekte kalmalıdır. Bu karşıt gereksinimler, taşkın hızı ile süresini bilmeyen taşkın denetçilerini güç durumda bırakmaktadır. Aslında akarsu akaçlama/drenaj sisteminin bir bütün olarak ele alınması bir zorunluluktur.

Ancak yerleşim yukarısına inşa edilmiş bentlerin yıkılması büyük felaketlere de yol açar. Su kenarındaki arazinin aşınmadan korunmasında ise ***set yapımı*** etkin bir yöntemdir. Bir diğer yöntem de taşkını geciktiren ***dolaşım geçidi*** yapımıdır. Buralardaki yerleşimlere sınırlamalar getirilmiştir. Taşkın ovaları bol ürün verir. Onun için, akarsular boyunca yer alan yerleşim alanları eskiden beri insanlar için çekici olmuştur. Ne var ki böyle yerlerde de yörenin de risklerini bilerek yaşamın düzenlenmesi ve riskleri aşan önlemlerin alınması zorunludur.

Akarsuların elverişli yerlerine ***çevirme setleri*** ya da ***aşırma setleri*** yapılmalıdır. Aşırma setlerinin üstünden de bir miktar su geçer. Bu suların tehlike yaratabileceği evre de hesap edilmelidir. Akarsuların uyarı dizgeleri çalışır halde tutulur. Taşkın için bazı hesaplamalar yapılabilir. Birden bastıran taşkınlar özel ölçerlerle öğrenilir ve iletişim ağıyla izlenir. Ancak uyarı için zaman dardır. Uydularla hava hareketleri izlenerek daha çok zaman kazanılabilir. Ayrıca eski taşkın kayıtları da değerlendirilmelidir.

Yukarıda görüldüğü gibi sel ve taşkınlar oldukça büyük hasarlara, dolayısıyla can ve mal kaybına uğrarlar. Dolayısıyla sel ve taşkınların ayrıntılı bir biçimde irdelenip denetlenmesi zorunludur. Bunun için öncelikle sel ve taşkınlar olmadan evvel, sel ve taşkın anında, sel ve taşkınlardan sonra olmak üzere eylem planlarının oluşturulması gerekmektedir.

Sel ve taşkınlar olmadan önce, konuya ilişkin bir alt yapının oluşturulması öncelikle ele alınmalıdır. Örneğin, eski taşkın kayıtlarının incelenmesi, yağışa (su hacmine, akarsu akış hızlarına, debilere) ilişkin verilerin derlenmesi, yer altı ve yerüstü su potansiyellerinin ortaya koyulması önemlidir. Ayrıca, kar erimelerinin izlenmesi, taşkınların olabileceği yerlerin haritalanması, akarsu ve yağış uyarı sistemlerinin uygun yerlere yerleştirilmesi, özellikle aşınmanın (erozyonun) olabileceği yerlerin ağaçlandırılması, yerleşim alanlarını da gözeterek set ve bentlerin yapılması alt yapının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Öte yandan, sel ve taşkının denetimine yönelik politikaların oluşturulması ve ilgili doğal afet yönetmeliklerinin geliştirilmesi son derece yol gösterici olur.

Sel ve taşkınların olduğu anda yapılabilir işler son derece sınırlıdır. Ancak, taşınması hafif kıymetli eşyaları ve can kaybını en alt düzeyde tutmak amacıyla, sel ve taşkınların olduğu yerlerden daha üst kodlara çıkmak bir çıkış yolu olabilir.

Sel ve taşkınlardan sonra ise büyük boyutlu hasarlar ve çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Öncelikle bunların belirlenmesi ve çevresel etkilerinin giderilmesi amacıyla bir planlama yapmak gerekmektedir.

Doğal afetler içinde su taşkınları en yaygın olanlarıdır ve genellikle en fazla can kaybına yol açarlar. Sel ve taşkınların hangi koşullarda gerçekleşebileceği ve yol açacağı sonuçları tam olarak saptamak gerekmektedir. Bu bilgiler, toprak kullanım planlaması ve önlem alınmasında kullanılmaktadır.

Yerel yönetimler, su taşkınları risk haritalarının yanı sıra, hızlı, güvenilir ve denetlenmiş bir uyarı sistemi oluşturmak zorundadır. Halka yönelik uyarı sistemleriyle ilgili bazı bilgiler telefon rehberinde bulunmalıdır. Sel tehdidinin varlığını saptayacak, kamuoyunun uyarılması gerektiğine karar verecek ve bunu gerçekleştirecek değişik kuruluşlar arasında sorumluluk paylaşımı konusu kesin olarak açığa kavuşturulmuş olmalıdır. Bu tür uyarıların yanı sıra, tekçe kişilere ve kuruluşlara yönlendirici bilgi ve öneriler de sağlanmalıdır.

Sel ve taşkınlardan korunmak ve oluşturduğu zararları en aza indirmek üzere yapılması gereken çalışmalar aşağıda daha ayrıntılı olarak sunulmuştur:

Sel ve taşkınların oluşumundan önce öngörülen çalışmalar

Sel ve taşkınlar, oluşumları bilimsel yöntemlerle açıklanabilen doğa olaylarıdır. Bu nedenle sel ve taşkınların oluşumundan önce yapılacak çalışmalar ve öngörülen önlemler, bu doğa olayında meydana gelebilecek can ve mal kaybını en aza indirgeyecektir.

Sel uyarısı, şiddetli fırtınalar ve bunlarla birlikte oluşan tornadoları, dolu, yıkıcı rüzgarları, ani selleri ve yıldırımı anlamak, belirlemek ve gerekli önlemleri öngörmek, ABD' de Ulusal Şiddetli Fırtınalar laboratuarları, Ulusal Meteoroloji Kuruluşları ve Üniversitelerin Meteoroloji ve Atmosfer Bilimleri Bölümleri'nin görevidir. Ulusal Meteoroloji Kuruluşları' nın birinci görevi kötü hava koşullarının neden olduğu can kayıplarını azaltmaktır. Bu nedenle; örneğin ABD Ulusal Meteoroloji Örgütü, Şiddetli Yerel Fırtına, Sel, Ani Sel, Kasırga, Şiddetli Kar ve Kuvvetli Rüzgar uyarılarını bir kamu kuruluşu olarak tek başına yapar.

ABD ve İngiltere' dekine benzer şekilde tüm dünyada yağışların sele neden olup olmayacağını tahmin edebilecek kuruluş Ulusal Meteoroloji Örgütü' dür. Bunun için yurt dışındaki ulusal meteoroloji örgütleri, bulut içerisinde yağışa dönüşebilecek su miktarını hesaplayabilen, geçmişteki selleri analiz edebilen, çağdaş eş zamanlı-dinamik yöntemlerin yanında orta-ölçekte hava analizi yapabilen elemanlar ile donatılmışlardır.

Dünyada olduğu gibi tüm meteorolojik karakterli doğal afetlere karşı erken uyarı sistemleri kurmak ve işletmek Türkiye' de tek başına Devlet Meteoroloji İşleri genel Müdürlüğü' nün görevi olmalıdır. Bunun için meteoroloji örgütlerinin gerekli elemanlar ve teknoloji ile donatılması ve bu işi yapabilecek biçimde yapılandırılması gerekmektedir (Kadıoğlu, 1998).

Sel ve taşkınların izlenmesi, Sel ve taşkınlardan en etkili şekilde korunabilmek için öncelikle sel izleme birimleri ve bu birimlerin yapacağı uyarılar büyük önem taşımaktadır.

Ani sel gibi meteorolojik kökenli doğal afetlere karşı alınacak önlemler kuşkusuz sınırlıdır. Türkiye' de sel ihbarı "yağışlar yer yer etkili olacak" şeklinde kamuoyu aşırı yağışlar konusunda bilgilendirmek suretiyle yapılmaya çalışılmaktadır. ABD ve Japonya gibi bu alanda teknolojileri gelişmiş ve imkanları geniş ülkelerde bile fırtına önemli hasarlara ve can kaybına neden olabilmektedir. Ancak Türkiye' de görüntülü ve yazılı basın tarafından sadece fırtına sırasında ve sonrasında ortaya çıkan yıkıma ait manzaralar gösterilmekte, fırtına öncesi halka yapılan fırtına uyarısı ve hazırlıklardan bilgi verilmemektedir.

Derelerin su düzeyi şiddetli yağışların başlamasından bir saat sonra ya da kısa bir süre içinde beklenenden çok daha hızlı bir şekilde yükselerek ani selleri oluşturmaktadır. Özellikle ani sellerde,

dere ve nehirlerin aşağı kısımlarındaki halkın uyarılması ve bu bölgelerin boşaltılması için en fazla bir saatlik süre vardır. Bu yüzden bu bölgelere yerleşmiş insanların, olası bir sel tehlikesi karşısında bölgeyi en geç bir saat içerisinde boşaltabilecek şekilde hazır olmaları gerekmektedir (Kadıoğlu, 1998). Bu nedenle sel ihbarı iki aşamada yapılmalıdır:

1 – Tehlikeli hava koşullarından birini doğurmaya uygun hava durumlarda tehlikenin adı fırtına ise fırtına, sel ise sel, kasırga ise kasırga gibi verilerek büyük bir alan için örneğin İstanbul' dan Antalya' ya kadar bir alan için, "Sel Gözetlemesi" nin (Flash Flood Watch) yapıldığı halka yazılı, görüntülü ve sözlü medya ile belirli aralıklar ile duyurulur.

2 – Böylece 1 ile 7 saat arasında sel olması ihtimalinin kuvvetli olduğu (yaklaşık olarak 65.000 km^2 ' lik bir alan) hakkında bilgilendirilmiş olan insanlar artık gece uykularında gafil avlanmazlar. Böylece birinci aşamada büyük bir alanın meteoroloji tarafından Sel Gözetlemesine alındığı ilan edilir. Sel gözetlemesine alınmış olan alan içerisinde sel tehlikesine maruz insanların bulundukları yerden daha güvenli bir yere kısa sürede ulaşabilmeleri için zaman sağlanmış olur.

Sel uyarısına hazır bir şekilde beklendiği zaman dere yatakları gibi sel tehlikesine açık bölgeler anında terk edilebilir. Sel gözetleme alanına dağılmış resmi ve gönüllü gözcüler, bulundukları konumda tehlikenin başlangıcını belirledikleri anda Fırtına Tahmin Merkezi tarafından sadece o nehir ve dere yatağının aşağı kısımlarında yaşayanlar için görüntülü ve sözlü medya ile sürekli ***sel uyarısı*** yapılır. Ayrıca yerel yönetimlerde sivil savunma sirenleri ile halkı uyarır.

Önceden sel gözetleme uyarısı ile bilgilendirilmiş olan insanlar bu tehlikeye karşı hazırlıklı olduklarından paniğe kapılmadan çok önceden tehlike bölgesinden uzaklaşabilirler. Gelişmiş ülkelerde halk genellikle meteorolojik sel uyarılarında paniğe kapılma yerine, sel oluşumu doğrulanana kadar tedbir almada gereğinden daha yavaş davrandığı gözlenmiştir. Son zamanlarda ülkemizde en küçük olasılıkla bile "yağış" hatta "aşırı yağışlar bekliyoruz" şeklinde yapılan tahminler ve uyarılar hava tahmincisinin kendini garantiye alma endişesinden kaynaklanmaktadır.

Aşırı yağışlara neden olabilecek hava sistemlerinin geliştiği ve bu nedenle de sel ihtimalinin bulunduğu yerler sel gözetimine alınır. Sel gözetimindeki yerlerde nehir kıyılarında, nehirlerin su seviyesini gözetleyen veya nehirlerin su seviyesini otomatik bir şekilde ölçen aletler selin başlangıcını anında haber verir. Sel başlangıcı tespit edilen nehir yatağı çevresinde Sivil Savunma sirenleri halka sel uyarısında bulunur.

Barajlar ve tam olarak denetlenemeyen büyük nehirlerde görülen sellerin tahmini ise günler öncesinden mümkündür. ABD Ulusal Meteoroloji Teşkilatı nehir ve göl su seviyelerini de rutin bir şekilde tahmin etmektedir. Bunun için ulusal fırtına tahmin ve erken uyarı merkezinde;

a) Nehir ve nehirleri besleyen derelerde ne kadar su var?
b) Son zamanlarda nehrin su toplama havzasına ne kadar yağış düştü ve ne kadar daha yağış düşmesi bekleniyor?
c) Yağan yağmurun, eğer varsa ne kadar karın erimesine neden olabileceği?
d) Toprağın nemi ve daha ne kadar su sızdıracağı? gibi sorulara cevap aramak ile mümkündür.

Seller her zaman yağmur yağan yerlerde görülmez. Tüm gün boyunca güneşli olan bir yer, kilometrelerce öteden gelen sel suları tarafından tahrip edilebilir. Bu nedenle meteorolojik ihbarlara güneşli havalarda da dikkat edilmelidir (Kadıoğlu, 1998).

Doğal olayların önceden bilinmesindeki belirsizliklere rağmen, su taşkını riski altındaki alanların saptanması genellikle mümkündür. Özellikle su yapılarının projelendirilmesi ve ekonomik analizlerinde, taşkın zararlarının önlenmesinde ve yerleşim politikalarının belirlenmesinde akarsu havzalarının taşkın özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Meteoroloji, hidroloji, topoğrafya, morfoloji, bitki örtüsü gibi faktörleri de gözeterek ve değişik sürelerde ortaya çıkabilecek yağış şiddetlerini kullanarak gelecekte sel veya taşkınlarda ortaya çıkabilecek yüzeysel su derinliklerinin tahmin edilebilmesi için sel hesapları yapılmalıdır. Akarsu havzalarında taşkın koruma yapıları hizmete girdikçe, taşkınların sıklığı ve yaptığı zararlarda önemli bir azalma olduğu görülmektedir. Ancak, bu tesislerin üst havzalarında erozyondan korunma, bitki örtüsü ve arazi kullanımının iyileştirilmesi çalışmalarını en az taşkın koruma yapısının kendisi kadar önem taşımaktadır. Taşkın zararlarının azaltılması konusunda da ilgili kuruluşların yeniden yapılanarak, zamanlama yönünden birlikte çalışmalarının önemi ortaya çıkmaktadır (Kadıoğlu, 1998).

Türkiye'nin günlük hava tahminlerini sağladığı, ancak İngiltere' de ilgili birimlerin kullandığı sayısal hava tahmin modelinin büyük grid mesafeleri nedeni ile ülkemizde ani sellerin tahmininde kullanılması hususunda en yetkili kuruluşlarımız bile yetersiz kalmaktadır. Türkiye' nin dağlık yapısı nedeniyle sağlıklı bir fırtına analizi ve takibi için sık bir radar ağı kurmak da mümkün değildir. Bu nedenlerden dolayı, Türkiye' nin meteoroloji radarlarından önce dağlık alanlardaki yağış miktarını iyi bir şekilde tahmin edebilen, küçük grid mesafeli ulusal modele daha çok gereksinim vardır (Kadıoğlu, 1998).

Bütün bölgelerde taşkın yatakları için risk alanları belirlenmelidir. Birinci derece riskli olan alanlarda her ne koşulda olursa olsun hiçbir şekilde yerleşime / yapılaşmaya izin verilmemelidir. Bu bölgelerdeki yerleşimler ise belirlenecek takvime göre boşaltılmalıdır.

Sel ve taşkınlar olmadan evvel, sel ya da taşkın potansiyeli olan akarsular boyunca, sel ve taşkınların denetlenmesi amacıyla, teknik ve biyoteknik (kültürel) yapıların geliştirilmesi ve yönetsel önlemlerin alınması gerekmektedir.

Sel ve taşkın alanlarının denetimi için öncelikle konunun sistemli bir biçimde ele alınması gerekir. Çizelge 3'de görüldüğü gibi sel ve taşkınların denetimi, bir yönüyle erozyon, suyun akışı ve taşınan malzemelerin denetimlerini içermektedir.

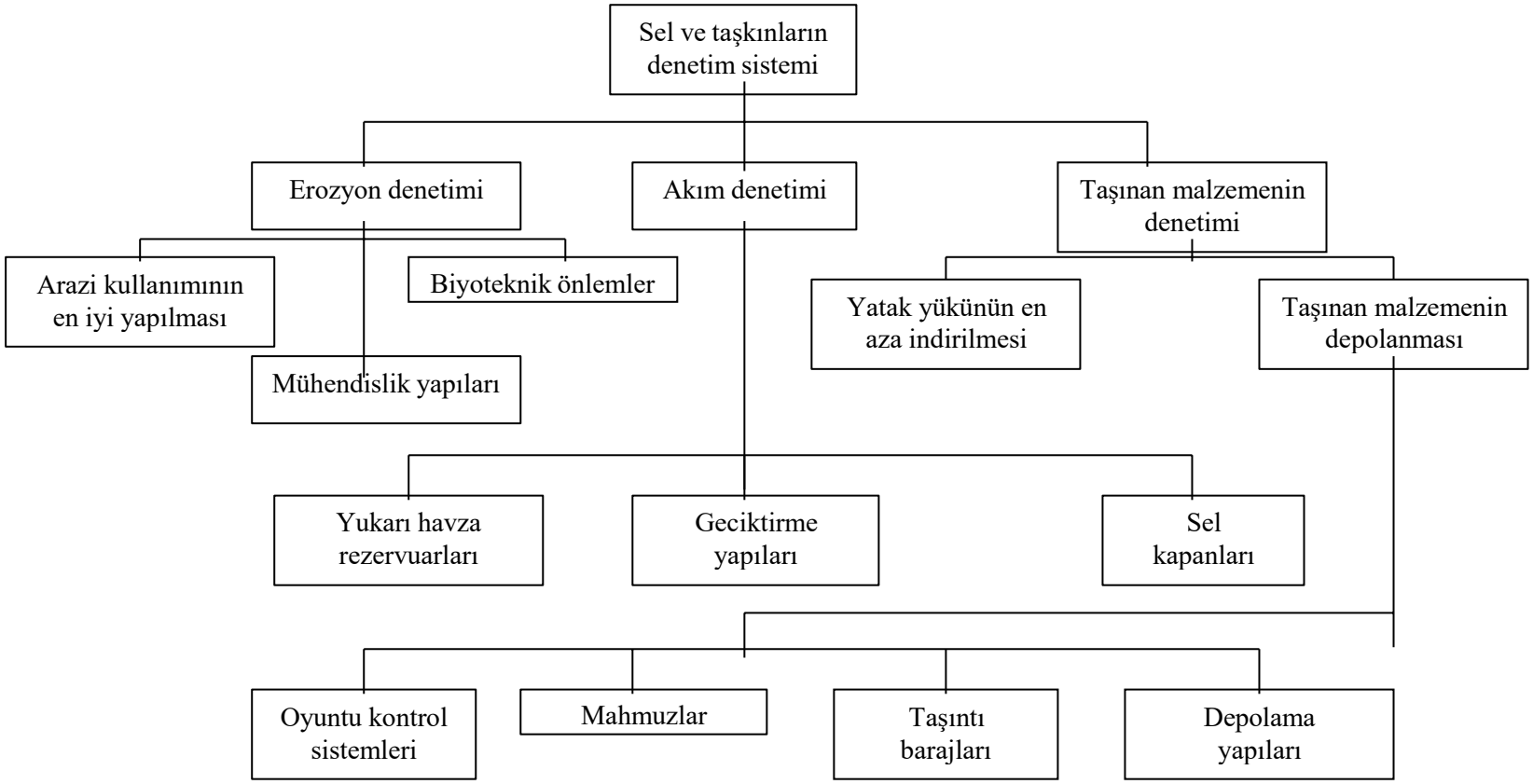
Yani ***ilk hedef***, var olan koşullar altında ve olanaklar ölçüsünde toprağın aşınıp taşınmasını (erozyonu) önlemektir. Bu amaçla arazi kullanımının en uygun bir biçimde planlanması, teknik (mühendislik) ve biyoteknik (kültürel) önlemlerin alınması gerekmektedir. İstinat duvarları teknik önlemlere, aşırı su tüketen bitkilerin yetiştirilmesi biyoteknik önlemlere örnek verilebilir.

Sel ve taşkınların denetiminde ***ikinci hedef*** akmakta olan suyun akımının denetim altına alınmasıdır. Bu amaçla havzanın uygun yerlerinde, suyun fazlasının geçici olarak depolanması için rezervuar yapılması, yüzeysel akışın kısa sürede dere yataklarına ulaşmasını önlemek üzere havzada geciktirme kanallarının ya da sel kapanlarının yapılması ve suların emilmesini arttırmak üzere biyoteknik önlemlere başvurulması gerekmektedir.

Üçüncü hedef, dere yataklarında taşınan malzemenin denetim altına alınmasıdır. Bu amaçla bir tarafta yatak yükünü en aza indirecek, diğer tarafta taşınan malzemeyi depolamaya yarayacak teknik önlemlerin alınması gerekmektedir. Bunun için depolama yapılarının ve taşınan malzemeyi toplayan barajların yapılmasının yanı sıra oyuntu denetim tesislerinin ve mahmuzların yapımı tercih edilir.

Mahmuzlar, akarsu yataklarında kıyı oyulmalarına neden olan hızlı ve yıkıcı su akımlarını uzaklaştırma amacıyla yapılan; oyulan ve göçen kıyıdan akarsu yatağının ortasına doğru uzanan, ancak oluşturulacak kıyı çizgisinden öteye geçemeyen kısmi enine yapılardır.

Çizelge 3. Sel ve taşkınların denetim sistemi ve alınması gereken önlemler (Görçelioğlu,2003'den kısmen değiştirilerek).



Dere yataklarının ıslah edilmesinin her türlü yetkisi DSİ'ye aittir. TCK'nın yol işlerine ise, DSİ karışamamaktadır. Kazı pasaları derelerin yataklarına dökülmektedir. Böylece, derelerin kesitleri daralmaktadır. Taşkınlar, genel olarak kesiti daralan yerde olmakta ve bu daralmaya TCK neden olmaktadır. Bölge yönetimleri, hasarı kaldırmak için elinden geleni yapmaktadır. Ancak bir daha taşkın olmaması için gerekli önlemler alınmamaktadır. Bu nedenle çeşitli boyutlarda can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Taşkın olan ve HES'i olmayan vadiler de var. Taşkınların bir bölümünün, HES'ler yüzünden olduğu da tartışmaya açıktır.

Teknik ve biyoteknik (kültürel) önlemleri içeren karma tesisler de yapılabilir. Ancak, alınan önlemlerden beklenen olumlu etkileri güvenlik altına almak ve hızlandırmak için bu önlemlerin yönetsel (idari) nitelikteki önlemlerle pekişmesi gerekmektedir.

Yönetsel önlemler, risk altında yaşayan halkın konuya yönelik aydınlanması, köylere ait birlik ve kooperatiflerin geliştirilmesi, ağaçlandırma çalışmalarının yapılması ve sel ve taşkınların denetimi ile ilgili düzenlemeleri içermelidir. Ayrıca özel nitelikli ormanları, tarım alanlarını, çayır ve otlakların bakımı ve geliştirilmesi yasal çerçeveler altına alınmalıdır.

Sel ve taşkın anında uygulanması gereken çalışmalar

Afet anında selden korunmak üzere daha önceden hazırlanmış olan eylem planları uygulamaya konulmalıdır. Eylem planının bir parçası olarak ve bulunduğumuz yere ve konuma göre sorumluluklarımızın neler olduğunu bilmek ve yerine getirmek zorundayız. Bu planlar çerçevesinde;

1 – Meteorolojik sel gözetleme ve uyarılarına anında uymak ve olanak varsa riskli alanı boşaltmak.

2 – Görünüşe aldanmayarak dibi görünmeyen hiçbir sel suyuna yüzerek, yürüyerek ya da otomobille girmemek.

3 – Yakın bir yerde selin görüldüğü ya da duyulduğu an, taşınabilir değerli varlıklarımızla beraber daha yüksek ve güvenli yerlere tırmanmak şeklinde özetlenebilir.

Afete ilişkin hava durumu ve gelişmeler anında canlı olarak ve naklen verilmelidir. TV'ler, radar örgütleri ve bu görüntülerin uzman meteorologlar tarafından yorumları, tehlikedeki ya da tehlikede olan yurttaşlara yardım şansı olan diğer insanlara sürekli olarak ulaştırılmalıdır. Haberleşme önemlidir. Sağlıklı bir haberleşme, gereksiz panikleri de önler ve Eylem Planı'nın başarıya ulaşmasını sağlar.

Sel ve taşkınlardan sonra yapılması gereken çalışmalar

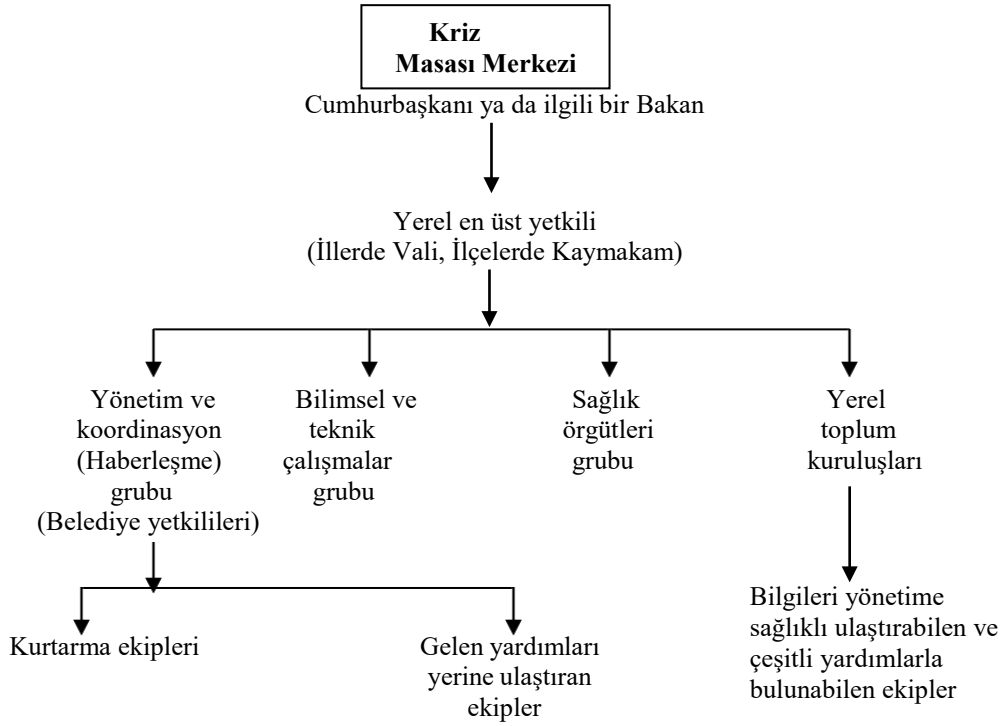
Sel ve taşkın felaketlerinde en azından yerel boyutlarda bir kriz masası daha önceden oluşturulmalı ve görevliler arasında iş bölümü yapılmalıdır. Çizelge 4' de bir kriz anında ***Eylem Planı*** olarak hazırlanan yalınlaştırılmış bir yönetim şeması görülmektedir. Konunun sunulan şemanın çok daha ötesinde kapsamlı bir örgütlenme gerektirdiğini göz ardı etmemek gerekir. Ancak, sağlıklı bir örgütlenme ve iş bölümüyle aşılamayacak hiçbir kriz yoktur.

Eylem Planının ilk ve acil aşaması yerel bir kriz masasının oluşturulmasıdır. Yerel kriz masası, yerel en yetkili mülki amirin başkanlığında ve en başta Belediye, Sağlık Örgütleri ve Yerel Sivil Kuruluşlarının en yetkili amirlerinin yanı sıra, afetin idari, bilimsel ve teknik ayrıntılarını değerlendirebilen uzmanlardan kurulu olması gerekir. Eylem planları, sorunları çözme ve yeni sorunlar yaratmamak üzere planlandırılmalıdır. Gelen gönüllü yardımların en etkin biçimde amacına ulaşması için özen gösterilmeli ve yardımların akışı kolaylaştırılmalıdır.

Yerel eylem planı sürdürülürken afetin büyüklüğüne göre gerektiğinde Başbakanlık Kriz Masası'na bağlanıp afetin idari ve teknik sorunlarını çözmek üzere olay yerine çalışmalarını sürdüren ekiplerin eş güdümü sağlanmalıdır. Kanalizasyon ve atık su tesisatlarının hasar görüp görmediği denetlenmeli ve ortaya çıkan sorunlar en kısa sürede çözülmelidir. Öncelikle meydana gelen hasarların

belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü bu tür felaketler, can ve büyük maddi kayıplara neden olmaktadır. Maddi kayıpların bir bölümü çeşitli sigortalarla ödenebilmektedir (Kadıoğlu, 1998).

Çizelge 4. Bir kriz anında eylem planı olarak hazırlanan yalınlaştırılmış bir yönetim şeması.



Etkili bir sigorta sistemi de sağlıklı bilimsel değer olmaksızın oluşturulamaz. ABD' de, konu olan bir sigorta sistemi ulusal anlamda değinilen belgeler derlenerek oluşturulmuştur. Bütçe, olayları yada olayların yinelenme değerlerine göre değişmektedir. Sigorta fonlarını karşılamak hükümetlerin sorumluluğudur.

İnsanlar bilimsel bulguları kullanmak ya da reddetmek konusunda özgürdürler. Bu nedenle sağlıklı bilimsel veriler sağlamak, işin sadece ilk basamağıdır.

Sonuç olarak, sel öncesi, sel anı ve sonrasında halkın yapması ya da yapmaması gereken işler konusunda broşür ve benzeri biçimlerde sürekli olarak bilgilendirilmesi ve bu çerçevede ilk ve ortaöğretim ders kitaplarındaki meteoroloji ve meteorolojik afetler ile ilgili olan bilgilerin doğru ve yeterli bir şekilde verilmesi gerekmektedir. Ayrıca, ülkemizde genellikle afet yönetimi denildiğinde, afet meydana geldikten sonra yaraların sarılması sanılmaktadır. Ancak artık risk yönetimine geçilmeli, yani, sorunlar meydana gelmeden önce, riski azaltmaya yönelik önlemlerin alınmasını kucaklayan risk yönetimi esas alınmalıdır (https://www.cumhuriyet.com.tr/yazarlar/olaylar-ve-gorusler/2021-rize-taskini-ve-alinmasi-gereken-onlemler-1854378; 22 Temmuz 2021 Perşembe).

KAYNAKLAR

Carr, J. E., Chase, E. B., Paulsun, R. W., ve Moody, D. W., 1990, National water summary, 1987-Hydrologic events and water supply and use:US Geological Survey Water- Supply paper 2350, 553s.

Edelen, G. W., Ruggles, F.H. ve Cross, W. P., 1964, Floods at Zanesville, Ohio:US Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA- 46.

Foley, D., McKenzie, G. D. ve Utgard, R. O., 1993, Investigations in Environmental Geology: Macmillan Publishing Company, 866 Third Avenue, New York, 10022, USA, 304s.
Görçelioğlu, E., 2003. Sel ve Çığ Kontrolü: İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın no 4415 / 473, İstanbul, 384s.

https://www.cografyabilimi.gen.tr/turkiyede-su-baskinlari-sel-taskinlar/(20 Temmuz 2029, saat 10.30).
https://www.cumhuriyet.com.tr/yazarlar/olaylar-ve-gorusler/2021-rize-taskini-ve-alinmasi-gereken-onlemler-1854378 (22 Temmuz 2021 Perşembe).

https://www.fikir.gen.tr/sel-ve-taskin-olaylari-turkiyeda-sel-ve-taskin-olaylari/(20 Temmuz 2019, saat 9.30).

https://www.haberturk.com/duzce-ve-eregli-felaketi-yasadi-2505607 (20 Temmuz 2019, saat 09.25).

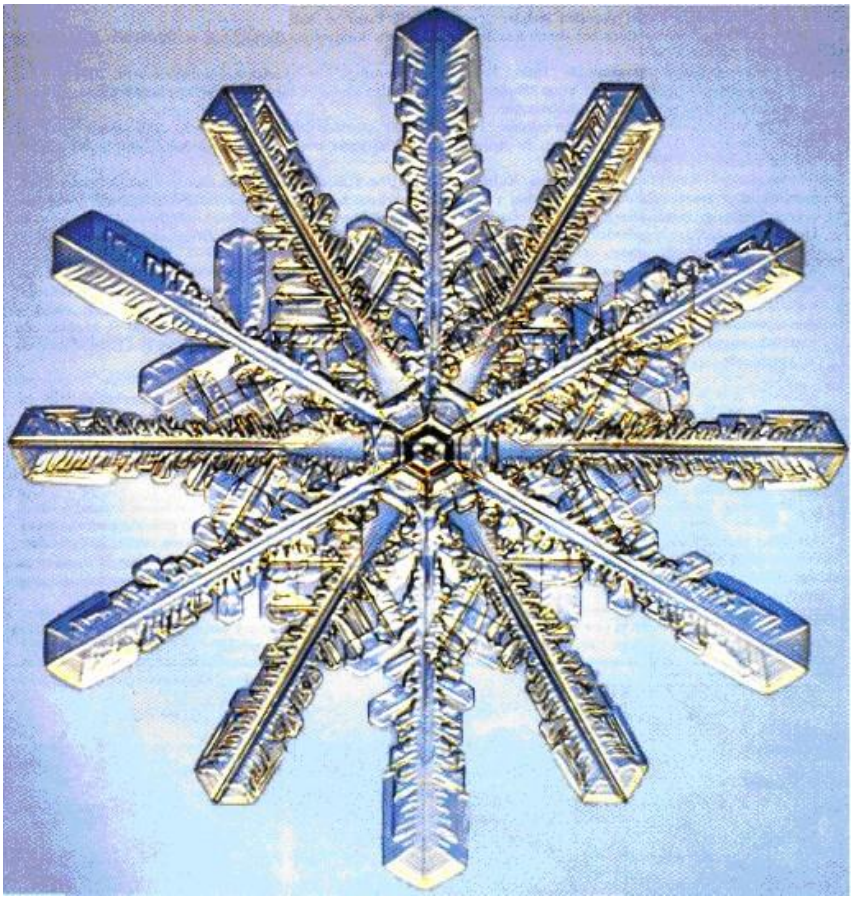
https://www.internethaber.com/duzcede-son-durum-son-yillarin-en-buyuk-sel-felaketinden-dehset-goruntuler-foto-galerisi-2037606.htm (20 Temmuz 2019, saat 09.45).

Kadıoğlu, M.,1998, Sel ve Meteorolojik Uyarılar: Meteoroloji Mühendisliği Derg. No 4.
Knödel, K., Lange, G. Ve Voigt, H. J., 2007, Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer Berlin Heidelberg New York, USA, 1357s.
Lundgen, L.,1986, Environmental Geology: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, USA, 576s.
McCain, J. F., Hoxit, L. R., Maddox, R. A., Chappell, C. F., ve Caracena, F., 1979, Storm and flood of July 31- August 1, 1976, in Big Thompson River, Colorado, US Geological Survey Professional Paper 1115, s.1-85.
Özbek, T., 1982. Hidroloji: Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara, 207 s.
Topdağ, B., 2003. Sivas ili dolayının sel ve taşkınlar açısından incelenmesi ve alınması gereken önlemler: Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 78 s.
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

12. 5. ÇIĞLAR

GENEL BİLGİLER

Çığlar, dünyadaki dağlık arazilerde soğuk kış mevsimlerinde meydana gelen doğal tehlikelerdendir. Genel olarak çığ, kar kristallerinin (Şekil, 1) yoğunlaşıp yerçekimi doğrultusunda kayması ve yuvarlanmasıyla birlikte, kitle olarak giderek büyümesi ve devrilip oturmasıdır. Yani, çığ, bir bakıma eğimli bir kayma yüzeyi boyunca gerçekleşen oldukça hızlı olan kar akışıdır. Çığların oluşumunda, hidrodinamik yükler, sıcaklık, diğer meteorolojik değişkenler ve topoğrafik yapı belirleyicidir.



Şekil 1. Bir kar kristalinin genel görünümü (2004 tarihli 'Günce' dergisinin kapağından).

Çığlar, kayakçılar, kar sporları yapan ve dağ kulübelerinde yaşayan tüm insanlar için risk oluşturur. Ayrıca karayolları ve demiryollarındaki kar kaymaları yolcular için de tehlikelidir. Buzullar ya da sürekli karlı alanlar ile dağlarda yıllar boyunca çığ riski artabilir. Bu bölümün amacı çığların basit nedenlerini açıklama, çığlı arazinin farklı tiplerini tanıtma, haritalarda tehlikeli bölgeleri ve çığ yollarını yorumlama ve tanıtmaya olanak sağlamaktadır.

Dağlardan yuvarlanan çığların büyük oranda can ve mal kaybına yol açtığı bilinmektedir. Dağ köylüleri, çığ alanlarına yaklaşınca av tüfeği boşaltmakla çığın inmesini sağlarlar.

ÇIĞLARIN SINIFLANDIRILMASI

Tıpkı yer kaymasında olduğu gibi çığ için de bazı sınıflamalar yapılmıştır. Kar yağarken oluşan çığlara birincil çığlar, kar yağışından sonra oluşan çığlara da ikincil çığlar denir. ***Birincil çığlar*** küçük boyutlarda, ***ikincil çığlar*** ise çeşitli boyutlarda olabilir. Çığların çeşitli şekillerde sınıflandırılabileceği bilinmektedir. Bu çerçevede çığlar, içerdikleri kar tipleri ve devinim biçimleri de gözetilerek sınıflandırılabilmektedir (Çığ Grubu, 1999). Buna bağlı olarak yapılan çığların sınıflandırılması aşağıda sunulmuştur:

1. Kopma (ayrılma) sınırının durumuna göre:
   - Levha (tabaka) çığı (kopma sınırı çizgisel)
   - Gevşek kar çığı (kopma sınırı nokta halinde)
2. Kayma yüzeyinin durumuna göre:
   - Üst çığ
   - Taban çığı
3. Karın su içeriğine göre:
   - Kuru kar çığı
   - Islak kar çığı
4. Çığ yolunun şekline göre:
   - Yayvan (sınırlanmamış) çığ
   - Yatak çığı (sınırlanmış) çığ
5. Devinim biçimine göre:
   - Toz çığı
   - Akan çığ
   - Karışık çığ

Çığlara ilişkin ayrıntılı morfolojik ve kökene yönelik sınıflandırmalara karşın, tanımlamada kolaylık sağlama amacıyla herhangi bir çığın ilk aşamada sınıflandırılması çığın başlama noktasındaki egemen koşullara dayandırılır. Çığların ***kopma (ayrılma) sınırının durumuna*** göre başlıca iki tipi vardır: Gevşek kar çığları ve levha çığlarıdır. Bu tipler Şekil 2'de görülmektedir.

Şekil 2. Kopma (ayrılma) sınırının durumuna göre oluşan iki çığ türü: Levha kar çığı **(A)** ve gevşek kar çığı **(B)** (AFAD, 2015).

Gevşek kar çığları küçük bir bölgenin üstünde veya bir noktada başlar. Kar inerken çoğaldığından miktarı ve büyüklüğü artar. Gevşek kar küçük iç kohezyon ile kütle biçiminde hareket

eder. Diğer yandan kütle çığları, yağan karla birlikte kütlenin kaymasıyla geniş bir bölgede etkili olur. Durgun karın uzağındaki kar kırıklarının hareketiyle kırık hattı meydana gelir.

Levha kar çığlarında kar kristalleri yapışma eğilimi gösterir. Karın iri parçaları veya açısal bloklar kaymayı kolaylaştırır. Levha kar çığı, farklı bir çığ türüdür. Kar yağışı kopma ile kar çökeltisi oluşur. Arada sıcak kuru yel ya da buz eriten yel eserse duraysız kar katmanları gelişir. Burada kar daha yoğun olduğundan, çığ daha yıkıcı etki yapar. Eğer arada güneşlenme olursa, eriyen yüzey, daha sonra yağan kar için hazır bir kopma yüzeyi olur.

Kayma yüzeyinin durumuna göre adlandırılan ***Kayma türü çığlar***, düşen karın başkalaşımına bağlıdır. Eğer düşen kar kuru ve çok yoğun ise, çığ, karın aralıklarla erimesi ve sonunda akmasıyla oluşur. Elverişli atmosfer koşullarında gelişen yıkıcı başkalaşım sırasında kar tanecikleri daha ufaklarına ayrılır, sonunda kar daha yoğun ve sıkı bir yapı kazanır, kohezyonu artar. Böyle durumlarda çığ olasılığı azalır.

Yıkıcı başkalaşım derinlikle değişir. Yapıcı başkalaşım yıkıcı olanın karşıtıdır. Yapıcı başkalaşım sürecinde ufak kar taneleri süblimleşme ile irileşirler. Büyücek taneler ve aralarında da büyücek boşluklar meydana gelir. Derinlerde az kohezyonlu ve yuvarlak parçalardan yapılı bir katman ile temsil edilen derinlik kırağısı oluşur. Bunun makaslama dayanımı çok küçüktür. Dik yamaçlarda önce çatlaklar gelişir ve sonunda kar levhası devinerek çığı oluşturur.

Çığ aşağılara doğru inerken parçalanır ve kar parçacıkları akıntısına dönüşür. Bu durum, yer kaymalarında oluşan sıvılaşmanın karşılığı oluşan bir süreçtir. Çığ yamaçtan inerken bir yoğunluk akıntısı halini alır. Atmosfer ve topografyanın konumuna göre, ısınma sonucu başlangıçta toz halinde olan kar, daha sonra sulu kar haline gelir.

Japonya'da çığların büyüklüğünü tanımlamak için kullanılan ***kütle geni*** (MM), ton cinsinden kar kütlesinin 10 tabanlı logaritmasına göre düzenlenmiştir. Bu değer, küçük çığda 1'den küçük, orta çığda 1- 3 arası, büyük çığda 3- 5 arası, çok büyük çığda ise 5-7 arasında yer alır. Çığın hızı ise, şev açısına, kar yoğunluğuna, karın makaslama dayanımına ve izlediği yolun uzunluğuna bağlı olarak birkaç km/saat ile 300 km/saat arasında değişir.

ÇIĞLARIN OLUŞUMU VE ETKİLİ OLAN DEĞİŞKENLER

Olağan yer kayması (heyelan) ile çığ arasında oluşum biçimi yönüyle benzerlikler vardır. Çığın yamaçtan aşağıya doğru devinimi ve yamaçtaki ince toprağın kayması yerçekimi nedeniyledir. Örneğin karın yerindeki dayanımı, karın ağırlığı ile şev açısından türeme makaslama dayanımından büyükse kar yerinde durur, küçükse çığ oluşur. Çığ oluşumu sırasında izlenen bazı görüntüler Şekil 3'de görülmektedir. Çığların oluşumu sırasında meydana gelen kar dumanı (snow smoke) ya da bulutsu kütle toz kardan oluşmaktadır.

Çığların oluşumunu tetikleyen ***Yenilme***, kayan karın kalınlığına, yoğunluğuna, kohezyonuna, yer ile sürtünmesine ve yamaç açısına bağlı olarak gelişir. Çığ sırasında, yer kaymasında olduğu gibi yay biçimli bir kayma yüzeyi oluşmaz. Çığın devinimi sırasında meydana gelen mekanik özellikler, toprağın makaslama dayanımına bağlı olanlardan farklıdır. Kar ile çığ arasındaki ilişkiler sürekli değişim halindedir. Kar kristalleri birbirine yapışma eğilimi gösterir. Örneğin çok düşük sıcaklıkta yağan karın kohezyonu yok gibidir, makaslama dayanımı ise yalnızca sürtünme sunan kumunki gibidir.

Önemli hususlardan biri olan ***Güneşlenme*** sonucu, sıcaklık değişimiyle oluşan su buharı karın kohezyonu ve yoğunluğu gibi özelliklerini değiştirir ve sonuç olarak duraylılığını yitiren kar kayar. Çığın gelişiminde hava koşulları ve topografyanın durumu da belirleyicidir. Devinim kar yağışından az ya da çok sonra olur.

(A)

(B)

Şekil 3. Bir çığ oluşumunun genel görünümü (AFAD, 2015).

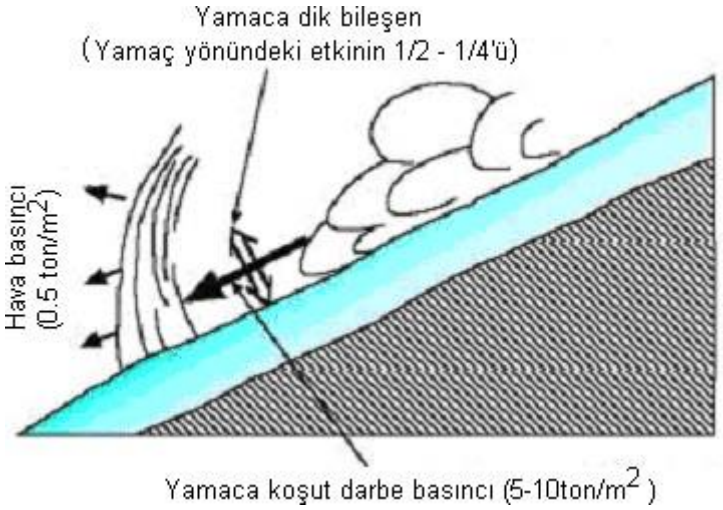
Çığ oluşturma potansiyeli içeren bir kar kütlesine etkiyen kuvvet vektörleri, başlıca bir kütleye etkiyen yer çekim kuvveti, F kuvvet (N); m (kg) kütle, g yerçekimi ivmesi (N/kg) olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir.

F = mxg

Yamacın yatayla Θ açısı yaptığını düşünelim. Bir yamaç üzerindeki kar kütlesine yerküre merkezine doğru etkiyen yerçekimi kuvveti (mxg) vektörünün yamaca paralel bileşeni mxgxsin(Θ), yamaca dik bileşeni ise mxgxcos(Θ) büyüklüklerine sahiptir. Kar kütlesinin kaymadan yamaç üzerinde durabilmesi için doğal olarak kütleyi etkiyen yamaca yatay ve yamaca dik vektör bileşenleri eşit büyüklükte, yani; **mxgxsin(Θ) = mxgxcos(Θ)** olması gerekmektedir. Diğer bir deyişle, eşitliğin iki tarafındaki mxg ifadesi aynı büyüklükte olduğundan, yüzeye yatay ve dikey yöndeki kuvvet büyüklükleri eğim açısının sinüs ve cosinüs değerlerince belirlenmektedir.

Çığların hızı, karın makaslama(kesme) direncinin ve yoğunluğunun, yamaç eğiminin ve çığ yolu uzunluğunun bir fonksiyonudur (Görçelioğlu, 2003). Gözlemler, ortalama çığ hızının 40- 60 km/saat arasında değiştiğini göstermektedir. Ancak, hızı 200- 300 km/saat olan çığlar da belirlenmiştir.

Büyük bir çığın yamaca koşut doğrultudaki basıncı (darbe basıncı) 5- 50 ton/m^2 arasında değişmektedir. Dikey doğrultudaki basınç bileşeni, yamaç doğrultusundaki etkinin 1/2 ile 1/4'ü kadardır. Bu boyutlardaki bir çığın önünde sürüklediği hava kütlesinin darbe etkisi ise 0.5 ton/m^2 dolaylarındadır. Çığların devinimine yol açan ve yer çekimi güdümünde gelişen darbe basıncı ana bileşenleri Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Çığların darbe basıncı bileşenleri (Görçelioğlu, 2003).

Yukarıda sunulan denklikler gözetildiğinde, ayrıca kar yoğunluğu ve çığ hızı bilinirse, yaklaşık darbe (çarpma) basınçları, yani dinamik basınçlar aşağıdaki denklikle hesap edilebilir.

$P_{max}=\gamma.v^2/g$ ve $P_{ort}=\gamma.v^2/2g$

Bu denkliklerde P_{max}, en yüksek çarpma basıncı (kg/m^2)
P_{ort}, ortalama çarpma basıncı (kg/m^2)
γ , karın yoğunluğu(kg/m^3)
g , yerçekimi ivmesi (g= 9.80m/sn)
v , çığın hızı (m/sn)

Kar yoğunluğu 100- 200 kg/m^3 ya da daha fazla olabilir. Yapılan testlere göre çığın maksimum çarpma basıncı 100 ton/m^2'yi aşabilir. Böyle bir çığ betonarme yapıları bile yerinden oynatır. Çarpma basıncı ile potansiyel hasarlar arasındaki ilişkiler de bir ölçüde bilinmektedir. Örneğin 0.1 ton/m^2 çarpma basıncına sahip çığ pencereleri kırar. 0.5 ton/m^2 basıncına sahip çığlar kapıları, 3 ton/m^2 basıncına sahip çığlar ise ahşap karkas yapıları tahrip eder.

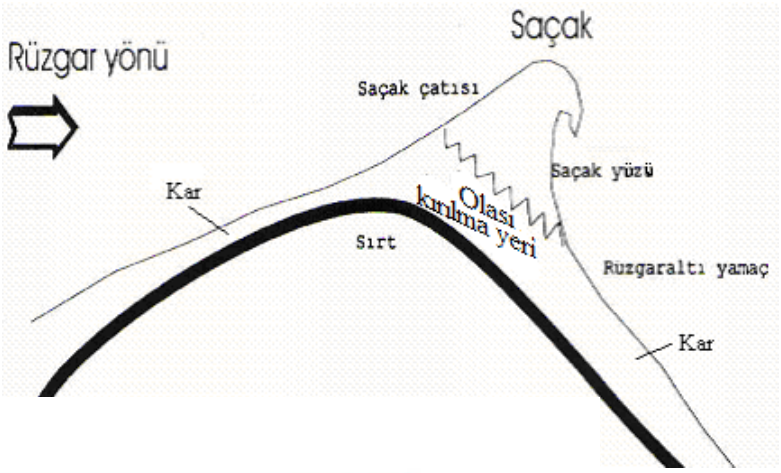
Çığların oluşumunu etkileyen değişkenleri daha ayrıntılı irdelemekte yarar vardır. Çığın ne zaman, nasıl ve niçin olabileceğini anlayabilmek için öncelikle iklim ve hava durumu ile topoğrafyanın irdelenmesi gerekmektedir. Çığın oluşumunu başlıca iklim tipi, yağış türü ve şiddeti, rüzgâr yönü ve hızı, sıcaklık değişimi ve topografya etkilemektedir.

Çığın oluşumunu denetleyen ***iklim tipi,*** denizel ve karasal hava akımları olmak üzere ikiye ayrılır. ***Denizel kar iklimi*** çok sert soğukların olmadığı ve bol kar yağışının meydana gelmesi ile tanımlanır. Oluşan kar örtüsü kalınlığı fazladır. ***Karasal kar iklimi*** ise düşük sıcaklık ile kar yağışı kendini belli eder. Konum itibariyle bu tür iklim denizlerin kıyılarından uzak iç bölgelerde egemendir. Türkiye, hem denizel hem de karasal iklim tipinin özelliklerini yansıtmaktadır.

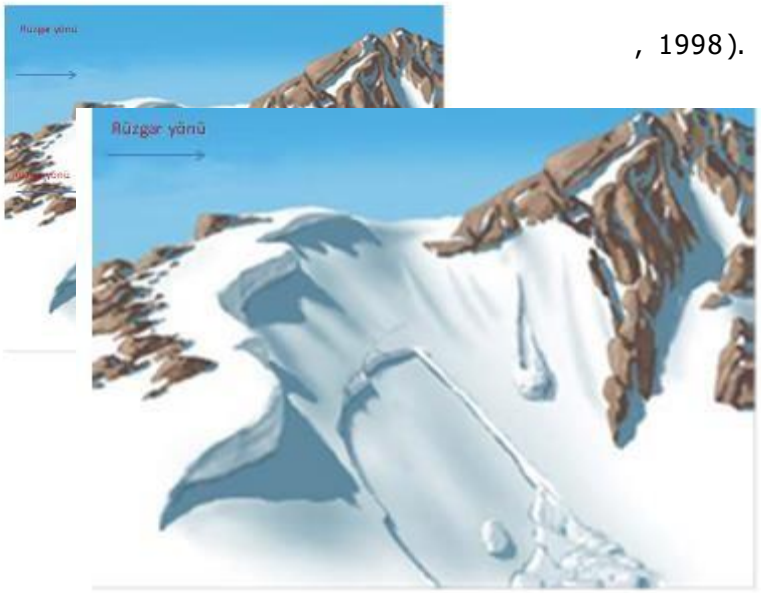
Rüzgârın yönü ve hızı yönüyle en önemli değişken, rüzgâ r hızının yatay bileşenidir. Yatay bileşen, yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Dikey bileşen ise karın ***yağış türü ile şiddetini*** ve yayılımını belirlemektedir.

Rüzgâr nedeniyle, karın taşınması ve kar örtüsünün yanal ve dikey yöndeki dağılımı değişmektedir. Bu da çığ oluşumunu tetiklemede belirleyicidir. Karın rüzgâ r ile taşınması, yuvarlanma, sıçrama ya da türbulans biçiminde taşınma mekanizmaları ile olmaktadır. Taşınmadaki farklılıklar ve düzensizlikler sonucu, çığ tehlikesini artıran saçaklar ve rüzgâ r levhaları gibi yapılar oluşur. Saçaklar (korniş, kar balkonu), dışbükey yamaçlarda meydana gelir. Dışbükeyliğin olduğu yerde, rüzgâ r altı yamaca doğru önce gerilme çatlakları gelişir. Bu da çığın başlamasına neden olan zincirin ilk halkasını temsil etmektedir. Bir kar saçağının genel yapısı ve rüzgâr yönü ile ilişkisi Şekil 5'te; arazideki görünüm ise Şekil 6'da görülmektedir.

Çığların tetiklenmesinde diğer önemli bir değişken ***topoğrafyanın*** durumudur. Genel olarak 35- 45 derecelik eğime sahip yamaçlar çığ alanları olarak haritalanmaktadır. Ancak, bu eğimlere sahip yamaçların gerçekten risk taşıyıp taşımadığına, yöre halkı ile yapılacak görüşmelerden sonra karar verilmelidir.



, 1998).



Şekil 6. Sabit yönlü ve sürekli esen rüzgârın sırtlar boyunca oluşturduğu saçaklardan bir görüntü (AFAD, 2015).

Çığların gelişmesinde önemli olan ***arazi faktörleri*** ise başlıca dik şevin dikliği, şev profili, şevin konumu, toprak örtüsü ve diğer unsurlardır. Bu unsurların yanı sıra diğer hususların da çığların gelişmesindeki yeri genel olarak aşağıda sunulmuştur:

Şevin dikliği: Çığlar, çoğunlukla 35°-45°'deki (%60-%100) şevlerden inmektedir. Fakat 25°-65°'lik şevlerde de çığ başlayabilir.

Şev profili: Tehlikeli levha çığları genellikle dış bükey şevlerde başlar, ancak kimi zamanlarda iç bükey şevlerde de başlayabilir.

Şevin konumu: Kuzeyde yer alan şevlerde kar kayması yavaş olabilir. Diğer yönlerindeki şevlerde ise kar dengededir. Güneyde yer alan şevleri özellikle ilkbaharda ısının yükselmesiyle çığ açısından tehlikelidir.

Toprak örtüsü: İri kayalar, ağaçlar ve yüksek çalılıklar karın dayanımına yardım etmektedir. Düzgün, açık şevler daha çok tehlikelidir. Fakat ağaçlar arasında dahi tehlikeler oluşabilir.

Eski kayma yolları ve yeni çığ etkinliği: Genellikle çığlar aynı bölgelerde meydana gelir. Çığ yolları izlenir. Küçük ağaçların üzerine indiğinde ağaçların dalları kırılır. Dik yamaçlar, açık seller ve şevlerden kaçınılmalıdır. Çığlar, yeni görülüyorsa yaratacağı tehlikeler gözetilmelidir. Yamaçtan aşağı kar toplarının yuvarlanması göz önüne alınmalıdır. Çığ ülkelerinde seyahat yolları planlanırsa, çığ olayında çeşitli hava koşulları göz önüne alınacaktır.

Eski kar: Derin eski karlarda kayalar ve çalılar gibi doğal örtünün bulunması yeterlidir. Eski kar tabakalarında kayma kolay olur. Doğada eski kar yüzeyleri önemlidir. Donmamış yüzeysel karın yağmur ya da güneşin etkisiyle birbirine yapışması zayıf olabilir. Gevşek kar tabakasında bir sıkışma olduğunda tehlikelidir. Kayak sopası veya demir ile kar katmanı denetlenebilir. Soğuk karın göçmesi ise zordur.

Yeni kar: Yeni kar bir ayak ya da daha fazla kalın olduğunda tehlike oluşturabilir. Yeni karın derinliği şevin yüksekliği, dikliği ve doğrultusuna bağlı olarak değişebilir.

Yaş kar: Yağmur fırtınalarında, baharda güneşli günlerde, sıcak rüzgâ rlar ve bulutlu gecelerde kar örtüsü sıcak olabilir. Gevşeme sonucunda ve süzülen su ile yaş kar çığlarına sebep olur. Yaş kar çığları, güney şevleri ve şev altındaki kayalarda daha çok gelişmektedir.

Kar yağışının hızı: Kar yağışının hızı 1 inç/saat yada daha fazla ise çığlarda tehlikelidir.

Kristal türleri: Yıldız şeklindeki kristaller, iğne ve yumak şeklindeki küçük kristallerden daha tehlikelidir.

Sıcaklık ve sıcaklığın değişimi; Düşük sıcaklıkta kar örtüsü dengesizleşmektedir. Sıcaklık yükselince (donmaya yakın) kar oturmakta ve denge artmaktadır. Kuru kar ve düşük sıcaklık ile fırtına başlar. Sıcaklık yükselince çığ olasılığı artar. Kuru kar, yüzeysel eski kar için hafif, fırtınadan sonra ise ağır kar çökelir ve dayanıklılığı artar. Hava koşullarındaki (rüzgâ r, sıcaklık, kar yağışı) hızlı değişimler kar örtüsünde değişimlere neden olmaktadır. Bundan dolayı hava koşulları uyarıcı olabilir. Kar örtüsündeki değişimler duraylılığı etkilemekte ve bir çığa neden olmaktadır. Sıcaklığın artışıyla zemine yakın soğuk havanın üzerinde sıcak hava meydana gelir. Bu hava koşulları yerel kar duraylılığında değişmelere ve çığlara sebep olabilir.

Rüzgâ rın durumu; Rüzgâr altı yönüne doğru (rüzgâr yönünde, rüzgâ r doğrultusunda esme) şevler de tehlikelidir. Çünkü rüzgâ r karı toplayarak derinlerde biriktirmekte ve kar levhaları dengesizleşmektedir. Rüzgâr üstü (rüzgâ ra karşı) şevler, genellikle daha az toplar, kar sıkışır ve çoğunlukla rüzgâ r altı şevleri dengelidir. 15 mil/saat üzerindeki sürekli rüzgâ rlar hızdaki artıştan dolayı tehlikeye neden olabilir. Gevşek yüzeysel kar da taşıma için kullanılır. Rüzgâr yönündeki şevlerde karın hareketi bayır ve tepelerdeki kar tanelerinden (tüylerinden) kaynaklanmaktadır. Bu koşullar tehlike yaratabilir.

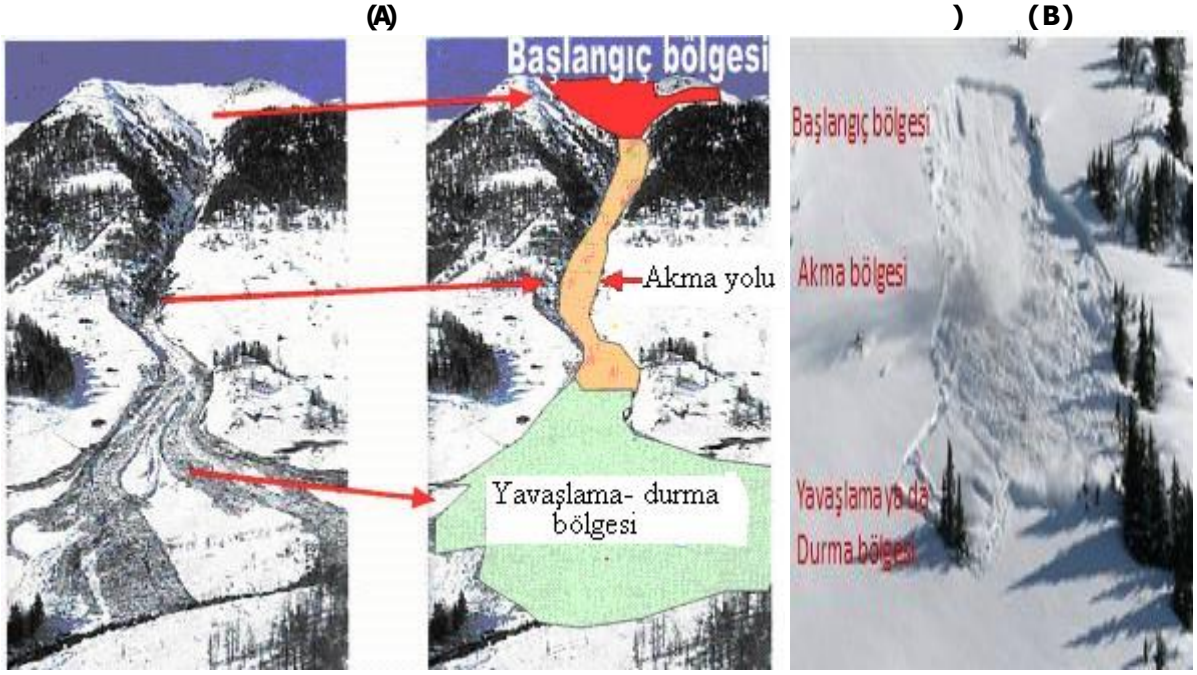
Fırtınalar: Çığların büyük bir kısmı fırtınalardan sonra meydana gelir. Bu periyotlar boyunca dikkat edilmelidir.

Yukarıda sunulan değişkenlerin tümü çığ analizlerinde gözetilmesi gereken unsurlardır. Günümüzde, çok değişkenli istatistiksel analizlerde, kütle hareketlerinin çözümlenmesine yönelik olarak araştırmacıların üzerinde yoğunlaştığı yöntemler ise, faktör analizi, diskriminant analizi ve lojistik regresyon modelleridir. Bu yöntemlerde, dikkate alınan değişkenler, tüm sistemin çözümüne yönelik bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Sağlıklı Envanter Verileri daha güncel metodolojilerle doğruya en yakın analizler yapılmasını sağlar (AFAD, 2015).

ÇIĞ AKIŞININ ÇEŞİTLİ BÖLÜMLERİ

Bir çığ patikası üç ana bölümden oluşur: 1-Başlangıç bölgesi, 2-Akma yolu, 3-Yavaşlama-durma bölgesi. Çığ akışının bölümlerine dair bazı görüntüler Şekil 7A ve 7B'de görülmektedir.

Başlangıç bölgesi, duraysız kar örtüsünün yenilmeye uğradığı ve devinmeye başladığı nokta ya da çizgisel bir yapı ile temsil edilen bir alandır. Bu alanın yamaç eğimi, çığların oluşmasında önemli bir rol oynar. Örneğin 11- 28 derecelik eğime sahip yamaçlarda küçük çığlar, 28- 45 (hatta 55) derecelik eğime sahip yamaçlarda tehlikeli kadastrofik çığların oluştuğu bilinmektedir. Ayrıca rüzgâ r yönü (özellikle kuzeydoğu yamaçlarda kar birikiminin olduğu gözetilmeli), orman örtüsü, zeminin özellikleri, yükseklik(kot) ve kırılma hattının (taç bölgesinin) konumu (özellikle dışbükey bir yamaç, bir kayalığın en alt kısmı, bir saçağın altı gibi yerler), çığların tetiklenmesinde önemli değişkenlerdir.



Şekil 7. Bir çığ patikasının bölümleri (**A**, Cyberspace Snow and Avalanche Center, 1998, Çığ grubu, 1999; **B**, AFAD, 2015).

Akma yolu, çığın başlangıç bölgesini, çığ malzemesinin biriktiği ve durduğu yere bağlayan güzergâhtır. Akma yolu, çığın bir tür parmak izidir. Akma yolları, açık yamaçlar ve kanallar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Açık yamaçlar, kendilerini sınırlandırıcı yanal engellere sahip değildir.

Yavaşlama-durma bölgesi, çığın hızının azalmaya başladığı, çığın getirdiği malzemenin depolandığı ve çığın durduğu bir alandır. Bu bölge, geniş bir düzlük, ters eğimli bir yamaç ya da çığın akış hızını durduran herhangi bir engel olabilir. Durma bölgeleri için tipik eğim açısı 15 dereceden daha azdır.

ÇIĞLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Ülkemizde Erzincan, Erzurum, Tunceli, Bingöl ve Bitlis illeri dahilindeki bölgelerde gelişen çığlar da ani gelişen doğal afetlerden biridir. Öncelikle küçük yerleşim birimlerinde çığların can ve mal kaybına yol açtıkları bilinmektedir. 71 yıllık verilere göre ülkemizde çığa bağlı yıllık ortalama 28 olay, 20 ölüm ve 6 yaralı olmaktadır (AFAD, 2015). Ayrıca kayak merkezleri ve enerji nakil hatları çığ felaketlerinden zarar görmektedir. Ulaşım ve haberleşmeyi sağlayan tesislerin çığ kaymaları nedeniyle beklenen hizmeti sağlayamadıkları ya da kimi aksaklıkların meydana geldiği söylenebilir. Örneğin, 18 Ocak 2017 günü İtalya'da olan Mw 5.7 ve 5.6 büyüklüğündeki depremler çığı tetiklemiş ve ilk aşamada depreme dair herhangi bir can kaybı olmadığı ve hafif hasarın geliştiği belirtilmişti. Buna karşın, depremin tetiklediği çığın gece yarısı Rigopiano Oteli'nin üzerine düştüğü açıklandı (Şekil 8). Şekil 9'da ise başka bir olayda yardıma gelen bir iş makinasının görüntüsü izlenmektedir.

Bölgeye ulaşan kurtarma ekibi de, deprem dış-merkezinin 35 km güneydoğusunda yer alan Rigopiano Oteli'nde 30 kişinin ölümüne neden olan bir çığın düştüğünü bildirdiler. Çığ duvar ve camları parçalamakla kalmamış, aynı zamanda çatının çökmesine neden olmuştur. Bina, temeliyle birlikte, 10 metre sürüklenmiştir. Bu arada İtalyan haber ajansı Ansa da, çığ felaketi sonrası bölgeye kurtarma ekiplerinin ulaştığını ve çok sayıda ölünün olduğunu abonelerine duyurdu.

Şekil 8. Rigopiano Oteli'nin çığı düşmesinden sonraki görüntüsü (http://www.ntv.com.tr).

Şekil 9. Orta büyüklükteki bir çığ tarafından sürüklenmiş karayolu iş makinası (AFAD, 2015).

Çığlar ormanlara zarar verdiği gibi, ağaç kesimi de çığ olasılığını arttırır. Çığ güzergâ hları boyunca yerleşim birimleri yapılamaz. Kayseri'nin Aladağlar bölgesi, Hecer Vadisi'nde oluşan orta büyüklükte bir çığın ağaç gövdesi üzerinde oluşturduğu tahribat Şekil 10 **(A)**'da; kesildiği tarihten yaklaşık 30 yıl önce çığ tahribatına uğramış bir ağaç gövdesindeki büyüme halkaları Şekil 10 **(B)**'de görülmektedir. Bu büyüme halkalarından hareketle çığ frekansının tahmin edilmesi çığ riski haritalarının hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (AFAD, 2015).

Şekil 10. Çığların bitki örtüsü üzerindeki etkileri görülmektedir. Orta büyüklükte bir çığın ağaç üzerinde oluşturduğu tahribat **(A)** (Hacer Vadisi, Aladağlar, Kayseri); Kesildiği tarihten yaklaşık 30 yıl önce çığ tahribatına uğramış bir ağaç gövdesindeki büyüme halkaları **(B)** (AFAD, 2015).

Çığlar olduktan sonra, kurtarma çalışmaları önemli bir yer tutar. Kurtarma çalışmalarının bu konuda eğitilmiş personelin öncülüğünde ve uçakla yapılmasında yarar vardır. Kurtarma faaliyetlerine katılan personele her türlü desteğin sağlanması gerekmektedir. Daha sonra hasar belirlenmesine gidilmelidir. Alt yapı hizmetlerinde bir aksama meydana gelmişse, bu hizmetlerin yürütülmesi için asgari koşullar sağlanmalı ve daha sonraki çalışmalara katkı niteliğinde bir planlamaya gidilmelidir.

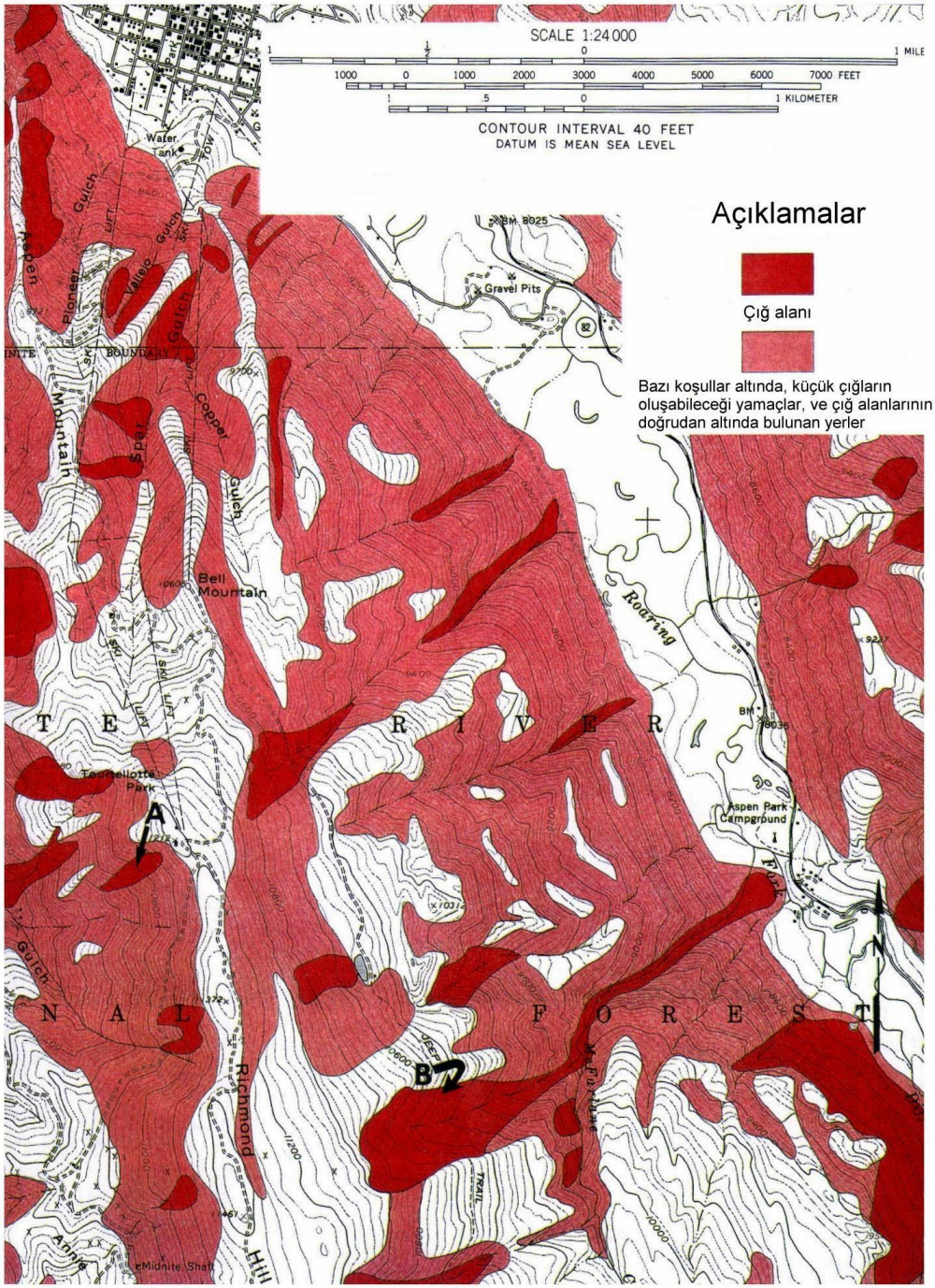
ÇIĞLARI HARİTALAMA ÇALIŞMALARI

Karmaşık bir doğa olayı olan ve önemli oranda belirsizlik içeren çığ olayının gelişebileceği bölgelerin olabildiğince güvenilir biçimde haritalanabilmesi için genel olarak geçmişte yaşanmış çığ bilgilerine, yerel topografya ve bitki örtüsüne ve yerel çığ karakteristiklerine özgü bilgilere gereksinim duyulmaktadır.

Bu bilgiler ayrıntılı olarak, çığ değerlendirme amacına (envanter, duyarlılık vb.) yönelik şekilde farklı parametreler ve yöntemler kullanılarak haritalamalar yapılmaktadır. Bu tür haritaların üretilmesinin temel amacı, can ve mal kayıplarının minimize edilmesidir. Ayrıca, dağlık alanlarda mevcut yerleşimlerin dışında, yine insan odaklı turizm faaliyetleri, doğa sporları, ulaşım gibi unsurların varlığı nedeniyle, çığ değerlendirmelerinin yapılması hem insan hayatı, hem de doğal çevre ve mal kayıplarının azaltılması yönünde olumlu etkiler yapacaktır. Bunların dışında, çığ değerlendirmeleri bölgesel ölçekteki planlamalar, arazi kullanımı, envanter oluşturulması, modelleme, risk yönetimi gibi amaçlar doğrultusunda da yapılmaktadır (McClung ve diğerleri, 2002).

Günümüzde çığlara ilişkin haritalamalar konusunda ister büyük ister küçük ölçekte olsun, Coğrafi Bilgi Sistemi'nin (CBS) kullanımı vazgeçilmez bir unsurdur. Bu tür değerlendirmelerde CBS'nin kullanılmasının sağladığı en önemli faydalardan biri, veri tabanı oluşturmak, veri tabanını yönetmek ve

teknik analizlerin yapılmasına olanak sağlamasıdır. Haritalama, çığdan korunma çalışmalarının ilk basamağıdır. Çığ verileri topoğrafik haritalara işlenerek ***çığ haritaları*** hazırlanır. Bunun için öncelikle topografik haritalarının verilerinden yararlanarak eğim haritaları hazırlanır. Çığ, daha çok 25-40^{o}'lik eğime sahip yamaçlarda oluşur. Söz konusu eğimli yamaçlarda yaşanmış deneyimlere göre, olmuş ya da olası çığ alanlarına ek olarak, çığ akma yolları ve öngörülen çığ önlem yapıları işaretlenir. Çığ güzergahlarının haritalamasını amaçlayan böyle bir harita örneği, Şekil 11'de sunulmuştur.



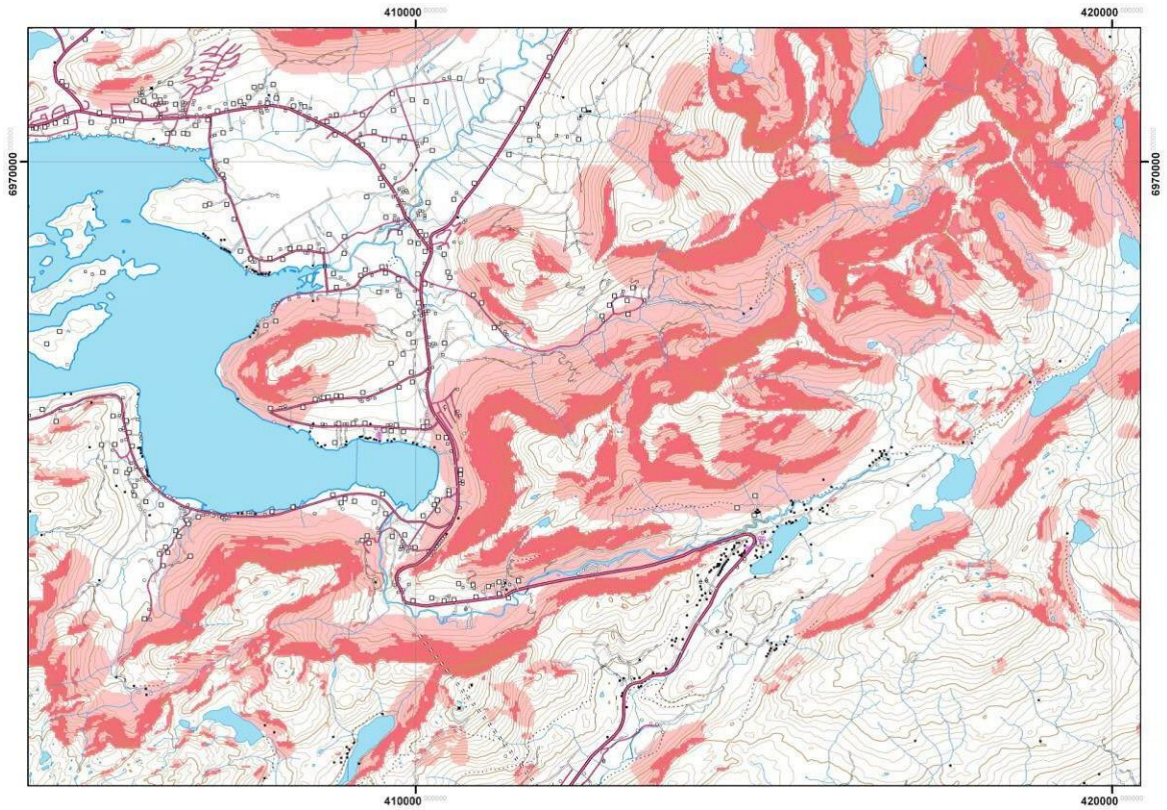
Şekil 11. Colorado'nun, Piktin ilçesi, Apsen yöresi çığ haritası (Foley ve diğerleri, 1993).

Çığ haritaları hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve yorumları ile arazi gözlemlerinin yerel halktan sağlanan bilgiler ışığında yapılan ***"Çığ anket formları"*** ile beraber değerlendirilmeleri sonucu hazırlanabilmektedir. Bu çalışmalarla elde edilen veriler, topoğrafik haritalara işlendikten sonra, tüm bilgiler, Coğrafik Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak sorgulanmak ve istenilen ölçekte basılmak üzere bilgisayar ortamına aktarılarak 1/5000 gibi bir ölçekte, ***"Çığ risk haritaları"*** üretilmektedir.

Çığ haritalarında riskli alanlar dört farklı renkte gösterilmektedir. Kırmızı alanlar, herhangi bir yapının inşa edilemeyeceği riskli alanlardır. Turuncu alanlar, kaya düşmesi, sel ve heyelan açısından riskli, mavi alanlar ise kullanımı sınırlı önlemlerle mümkün olanlardır. Beyaz renk ise güvenli alanları temsil etmektedir. Çığ risk haritalarının amacı, çığın sahip olduğu fiziksel özelliklere bağlı olarak, çığın etkileyeceği arazinin kullanımına yönelik bazı kurallar ve sınırlamalar gerektirmektir.

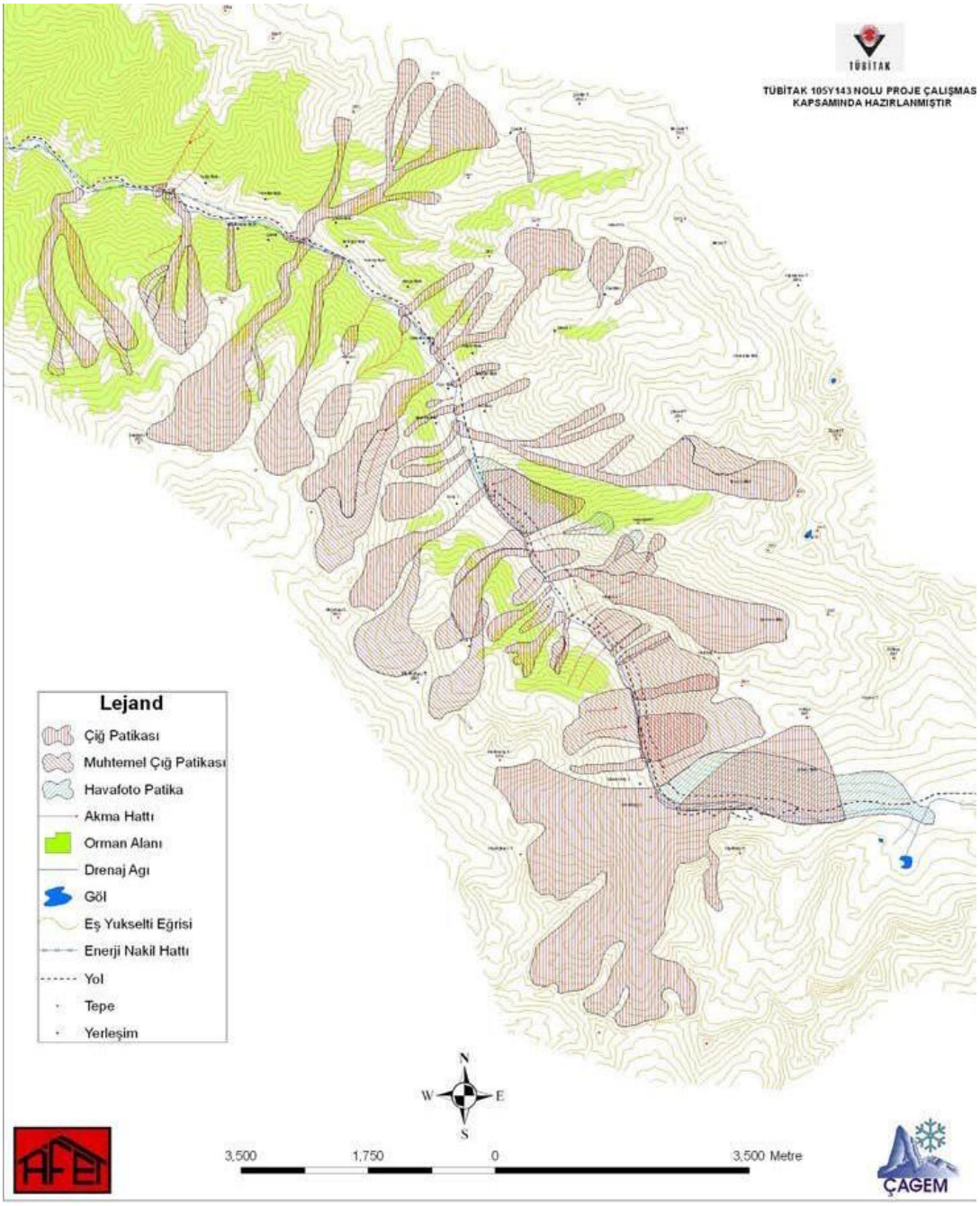
Çığ oluştuğu güzergâ h boyunca aşınmaya ve yamacın eteğinde gevşek bir yığıntıya neden olmaktadır. Çığ, daha çok 25-40º'lik yamaçlarda oluşurken, 45º'den yüksek açılı yamaçlarda ise kar fırtınaları nedeniyle kar yeterince tutunamadığından çığ oluşmaz. Yığışan karın özellikleri derinlerde çabuk değişir. Kar örtüsünün değişik derinliklerdeki sıcaklığını ölçmek de zordur. Karın ısı dengesi, yel hızı ile hava ve zeminin sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık ölçümleri için çeşitli aygıtlar yapılmıştır.

Ayrıca çeşitli amaçlarla hazırlanan çığ haritaları vardır. Örneğin, Doğrusal Yayılım Analizi, NGI (Norwegian Geotechnical Institute) tarafından önerilen ve tüm Norveç'i kapsayacak şekilde kullanılan bir yöntemdir. Yöntem, duyarlılık analizlerinin yapılmasını temel alarak çıktı üretmektedir. Yöntemde 30º ile 55º arasındaki yamaç eğimleri arasında kalan alanlar CBS yardımıyla belirlenmekte ve bu alanlar kaynak bölge olarak seçilmektedir. 25 m çözünürlüğe sahip bu işlemler yardımıyla, çığ yayılım zonları belirlenmektedir (AFAD, 2015). Norveç Tekniği ile üretilen çığ duyarlılık haritalarına bir örnek Şekil 12'de görülmektedir.



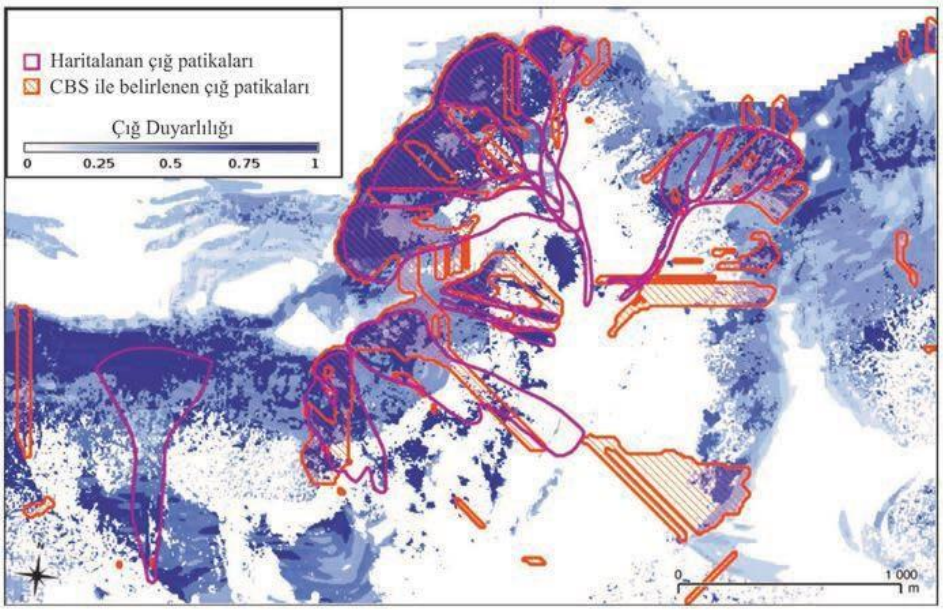
Şekil 12. Norveç Tekniği ile üretilen çığ duyarlılık haritalarına bir örnek (Kırmızı alanlar başlangıç zonlarını, pembe alanlar ise yayılım zonlarını göstermektedir) (NGU, 2010; AFAD' 2015).

Çığ veri tabanı özellikleri, ilgili oldukları öz nitelik tabloları olarak, mümkünse bir CBS yazılımı yardımıyla sayısallaştırılmış çığ yerlerine (lokasyonlarına) entegre edilmiş şekilde sunulmalıdır. Burada önemli olan husus, çığ patikalarının mümkün olduğu ölçüde sahada yerinde yapılacak çalışmalar ile haritalanmasıdır. Hava fotoğrafı yorumlamaları ve saha çalışmaları ile oluşturulmuş bir çığ envanter haritası, Şekil 13'de görülmektedir.



Şekil 13. Sivrikaya (Ovit Dağ geçidi) bölgesi çığ envanter ve jeomorfolojik analizle belirlenmiş olası çığ yerlerinin haritası (Yavaş ve diğerleri, 2010).

Ayrıca, ***Çığ Duyarlılık Haritaları*** da hazırlanabilir. Bu haritaların hazırlanmasında en önemli olan husus, çığ yerlerinin belirlenmiş olmasıdır. Bu alanlar haritalanarak, mevcut bilgiler çığ kayıt formuna işlenmeli, istatistiksel olarak değerlendirilmeli ve daha sonra çığ oluşumunda etkin olacağı düşünülen değişkenlerle ilişkilendirilerek, ayrıntılı analiz edilmelidir. Böylesi bir yaklaşımla, morfolojik olarak çığ oluşumunda etkin olan bir alanda, örneğin iğne yapraklı ağaçlar varsa, bu alanlar çıkartılarak, çığ başlangıç bölgeleri yeniden belirlenip, bu çerçevede duyarlılık derecelendirilip, sonuç duyarlılık haritası oluşturulmalıdır. Şekil 14'de bir çığ duyarlılık haritası görülmektedir.



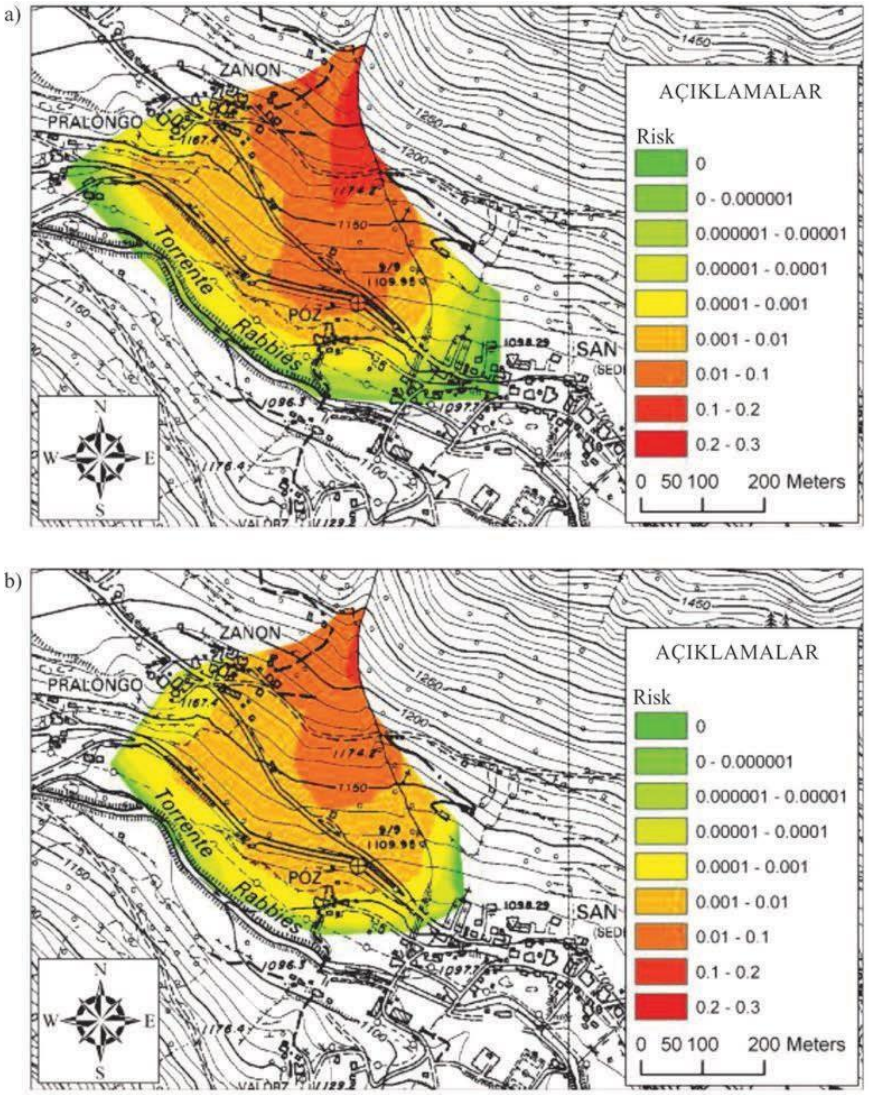
Şekil 14. Çığ duyarlılık haritası örneği (Suk ve Klimanek, 2011; AFAD, 2015).

Öte yandan, risklerin boyutlandırılabileceği haritalar da hazırlanabilir. Risk kavramı ise, farklı disiplinlerde farklı anlamlar içermekle birlikte, herhangi bir doğal afet türü için, can ve mal kaybına yol açan veya çevreye zarar veren bir olayın (doğal afetin) oluşma olasılığının bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir (Fell ve diğerleri, 2008).

Bu kavram, tehlike, zarar görebilirlik ve risk altındaki elemanları da içermektedir. Bunlardan zarar görebilirlik, çığ riski içeren bir alandaki eleman veya eleman grubunun (örneğin insanlar, evler, kritik tesisler gibi), çığ sonucunda uğrayacağı kaybın derecesini [0,1] aralığında ifade etmektedir.

Örneğin, çığ sonucunda zarar göreceği düşünülen bir bina ise, buradaki kayıp derecesi, binada meydana gelen hasarın, binanın mali değerine oranı şeklinde yorumlanmaktayken, insan yaşamı söz konusu ise, çığdan etkilenen insan sayısının toplam nüfusa oranı şeklinde değerlendirilmektedir. Risk altındaki elemanlar ise, bir çığ sonucunda potansiyel olarak etkilenebilecek insan, binalar, yapılar, altyapı, yol gibi elemanları içermektedir (Fell ve diğerleri, 2008). Binalar (Şekil 15a) ve insanlar (Şekil 15b) için hazırlanan bir çığ risk haritası örneği görülmektedir.

Ülkemizin, özellikle can ve mal kaybına yol açan çığ yollarının da eğim haritalarına eklenmesi ve haritalama yönüyle çığ duyarlılığına yönelik bir alt yapının oluşturulması son derece yararlı olacaktır. Çığların denetiminde, özellikle çığ konusunda eğitilip yetiştirilmiş personele gereksinim vardır.



Şekil 15. Trento (İtalya) bölgesi için üretilen çığ risk haritası: (a) binalar için ve (b) insanlar için (Cappabianca ve diğerleri, 2008).

ÇIĞLARIN DENETİMİ

Günümüze değin gerçekleşen çığların oluştuğu koşullar dikkate alınarak öncelikle, bazı göstergelerin çığ oluşma potansiyelinin tahmin edilmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir (Çizelge 1). Değerlendirmede kullanılan temel göstergeler bölgeye özgü çığ iklimi, çığ topoğrafyası, hava durumu tarihçesi ve yakın zamanda çığ oluşumu ile mevcut kar örtüsüne ilişkin bilgileri içermektedir.

Doğa kaynaklı afetlerin oluşturduğu zararların asgari düzeye indirgenebilmesi için ilk aşamada yapılması gereken çalışma; ülke, bölge ve il düzeyinde doğa kaynaklı afetlere dair bütünsel tehlike ve risk haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu çerçevede, çığların denetlenmesi amacıyla çığların

önceden kestirilmesi (tahmini), çığ önleme teknikleri, çeşitli gözlem ve değerlendirmeleri ve bu konuda yapılan haritalama çalışmalarının ele alınmasında yarar vardır.

Çizelge 1. Çeşitli göstergelere göre bir bölgede çığ oluşma potansiyeli (AFAD, 2015).

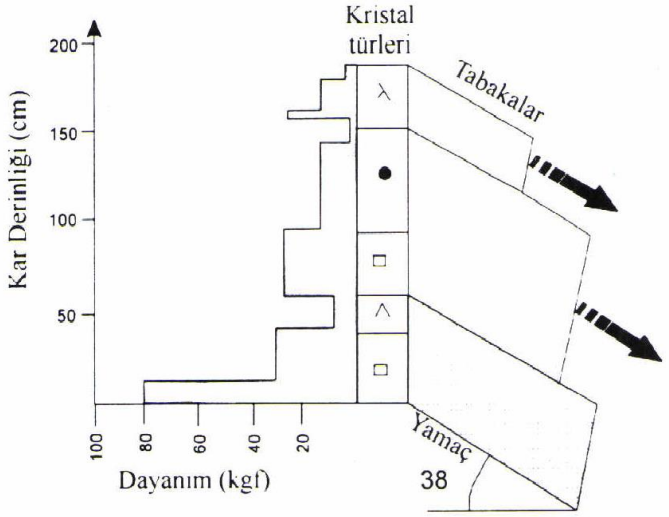
Gösterge	Yüksek Çığ Potansiyeli	Belirsiz Çığ Potansiyeli	Düşük Çığ Potansiyeli
Çığ İklimi	Karasal	Dağlararası Plato	Denizel
Çığ Topoğrafyası	35°- 40° arası değişen eğimler	25° - 35° arası ya da 40° - 60° arası değişen eğimler	25°'den az ya da 60°'den büyük eğimler
Hava Durumu Tarihçesi	Genellikle soğuk ve kuru	Bilinmeyen ya da değişken	Genellikle ılık ve yağışlı
Güncel Çığ Oluşumları	Son 24 saat içinde	Son 24 ile 48 saat arasında	Son 48 saatten önce ya da hiç çığ oluşmamış
Kar Örtüsü Tanımı **	Genellikle sığ, zayıf ve oturmamış	Bilinmeyen ya da değişken	Genellikle derin, dayanımlı ve oturmuş
Kar Örtüsü Duraylılığı **	Duraysız	Bilinmiyor ya da belirsiz	Duraylı
Kar Yüzeyi **	Sert, düzgün ya da soğuk	Bilinmiyor ya da düzensiz	Yumuşak, düzensiz ya da ılık

** Saha ve kar profili gözlemlerinden edinilen bilgilerden hareketle tanımlanır.

Çığların önceden kestirilmesi (tahmini) çalışmaları

Günümüzde, bir çığın kesin oluşum zamanını belirleme olanağı yoktur. Ancak, çığ yerini ve oluşum zamanının yakın olup olamadığını kısmen de olsa belirlemek mümkündür. Bu amaçla kar ve çığ rasat istasyonlarında çeşitli ölçümler yapılır. Ölçümler, periyodik olarak, kar örtüsünün özelliklerinin tanımlandığı ***kar profili*** alma işlemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ile kar tabakalarının kalınlıkları, sıcaklıkları, sertlikleri, tabakaları oluşturan kar kristallerinin türleri ve boyutları ile tabakaların yoğunlukları belirlenir.

Elde edilen sonuçlara göre, tabakaların dayanımlılığını gösteren profiller çizilir. Bu profillere kar derinliği ile dayanımlılığa ilişkin değerler işaretlenir (Şekil 16). Böylece, hangi tabakanın risk taşıdığını özellikle dayanımlılığın zayıfladığı yerleri, kar örtüsündeki değişim (metamorfik) sürecini belirleyerek karar verilebilir. Ayrıca Ram Profili Alma (Ramsond) Yöntemi, Ratschblock Testi, Kürek Testi ve Sondalama (Kayak Sopası) Testi yardımlarıyla çığların önceden belirlenmesine yardımcı olabilecek veriler sağlanabilir (Çığ grubu,1999).



Şekil 16. Yalınlaştırılmış bir kar profili (Ancey ve diğerleri, 1996; Çığ Grubu, 1999).

Çığ önleme teknikleri

Çığların risklerini, başlangıç bölgesinde ya da çığ yolu ve çığın yavaşlama-durma bölgesinde denetim altına almak üzere tasarlanan yapılar aracılığıyla çığların olumsuz çevresel etkileri en alt düzeye indirilebilir. Bu tekniklerin bazıları aşağıda sunulmuştur:

1. Çığın saptırma barajıyla önlenmesi
2. Geciktirme tümseğinin yapılması
3. Durdurma barajlarının yapılması
4. Zonlama yapılması
5. Teraslama yapılması
6. Kar perdesi ve kar çitinin yapılması

Yukarıda sunulan tekniklerin güvenlik düzeyi, birim fiyatı ve güvenlik/fiyat oranı Çizelge 2'de sunulmuştur:

Çığ riski olan bölgelerde, arazi kullanımı ve binalarla diğer yapıların tasarımında uyulması gereken kurallar göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, mavi bölgede, çığın evlere çarpma olasılığı gözetilerek, binaları güçlendirici ya da çığın etkisini azaltıcı bazı ekler yapılabilir. Bu çerçevede çığın geldiği yönde bulunan balkon ve bacaların, evin diğer tarafına aktarılmasına özen gösterilmelidir.

Çizelge 2. Çığ önleme tekniklerinin güvenlik ve maliyet açısından Karşılaştırılması (Çığ grubu, 1999).

Önlem Türü	Güvenlik Seviyesi		Fiyat (Birim ABD doları)				Güvenlik/fiyat oranı
			Yatırım		Çalışma verimi/yıl		
Saptırma barajı	Saptırma açısına, yüksekliğine ve yüzünün yamaç yukarı doğru akış yönüne doğru olan dikliğinin az olmasına dikkat edilmelidir.	👍	5 $/m³	👍	?	👍👍	👍/(👍+👍👍)
Geciktirme tümseği	Bir depolama alanına ve diğer bazı önlem yapılarına ihtiyaç duyar	👎	6 $/m³	👍	? + kar temizleme masrafı	☞	👎/(👍+☞)
Durdurma barajı		👎	5 $/m³	👍		☞	☞/(👍+☞)
Zonlama	En iyi sonuçları elde etmek için, zonlama yapılan yerdeki insanlar ile iyi bir diyaloğa ihtiyaç duyar	👍	30 000 $	👍	0 $	👍👍	👍/(👍+👍👍)
Teraslama	Sadece zemin çığlarının olduğu yerlerde uygulanabilir	👎	20 - 75 $/m	☞	0,5 $/m	👍	👎/(☞+👍)
Kar perdesi	Araziye uygunluk gerekir; diğer önlem yapılarını desteklemesi gereklidir	☞	600 $/m	👎	2 $/m	👎	☞/(👎+👎)
Kar çiti	Bütün başlangıç bölgesi boyunca inşa edilmeli ve yüksekliklerine dikkat edilmelidir	👍👍	1 000 $/m	👍👍	2 $/m	👎	👍👍/(👎👎+👎)
Yasal sınırlamalar	Bazı pratik ve yasal problemleri de beraberinde getirebilir	☞	2 500 $	👍	?	👍👍	☞/(👍👍+👍👍)

Semboller : 👍👍 Çok iyi · 👍 İyi · ☞ Ne iyi ne kötü · 👎 Kötü · 👎👎 Çok kötü

Çığdan korunmak için çeşitli yöntemlere başvurulur. Örneğin çığın kopma kuşağına yerleştirilen yel perdeleri, kar çitleri ve kar siperleri şevin yeraltı yanına karın yığılmasını sağlarlar. Çığın kopmasını saptıracak dengeleyici kuvvetler oluşturmak üzere çelik ve beton kazıklar kullanılabilir. Kırma setleri ya da yapay sekiler, çığı yavaşlatıp başka yöne saptırabilir. Yapıları ve özellikle santralleri çitlerle ya da verevince duvarlarla korumak mümkündür. Dağlarda çığların sıkça oluştuğu yerlerde demir ya da karayolu tünel içerisine alınabilir. Kayak istasyonların da sürekli nöbette olan çığ habercileri vardır. Çığların felakete dönüştüğü yerler ve tarihler yayınlanmıştır.

ÇIĞLARA YÖNELİK EYLEM PLANLARI

Çığ bölgesinde yolculuk için güvenilir yollar tepelerin rüzgâ r yönündeki taraflarıdır. Çünkü tepelerin rüzgâ r altı yönündeki taraflarında sürüklenen kar yığılır. Rüzgâr üstü şevleri, rüzgâ r altı şevlerinden genellikle güvenlidirler. Tepelerde yolculuk yapılıyorsa diğer güvenilir yollar vadinin dışında, şevlerin altından uzakta olmalıdır. Pervazların altı ve yukarısından kaçınılmalıdır. Tehlikesiz yollar pervaz bölgesinin dolayı ve tepelerdir.

Şevler tehlikeli ise tepelerin yanında ya da yükseğinde durulmalıdır. Karda kırılma hattında çığ görülüyorsa benzer kar bölgelerinden sakınılmalıdır. Kar çukurdaysa özellikle rüzgâ r altı yönündeki şevler de tehlikelidir. Karda çatlak varsa levha çığlarında tehlike yüksektir. Tehlikeli şev alçalıyor ya da yükseliyorsa düz ya da aşağıya doğru gidilmelidir. Şevde aşağı ya da yukarıya doğru çapraz geçişler yapılmaz.

Yukarıda sunulan gözlem ve deneyimler ışığında, çığların denetimi ve eylem planlarının oluşturulması önemli bir konudur. Eylem planları, diğer doğal afetlerde olduğu gibi, afetten önce, afet sırasında ve afet sonrasında olmak üzere yapılandırılmalıdır.

Çığ afetleri olmadan evvel, çığların denetimi için eylem planının bir parçası olarak öncelikle hidro-meteorolojik ölçüm ağının oluşturulması ve meteorolojik koşulların izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, çığ kestirim ve gözetleme çalışmalarının yanı sıra çığ uyarı sistemleri ağının oluşturulması, çığların denetimi yönüyle alt yapının oluşturulmasına katkı sağlar. Bu arada, kış mevsiminde sıcaklık ve erime koşullarını gözeterek, çalışma saatlerinin ayarlanması önemlidir.

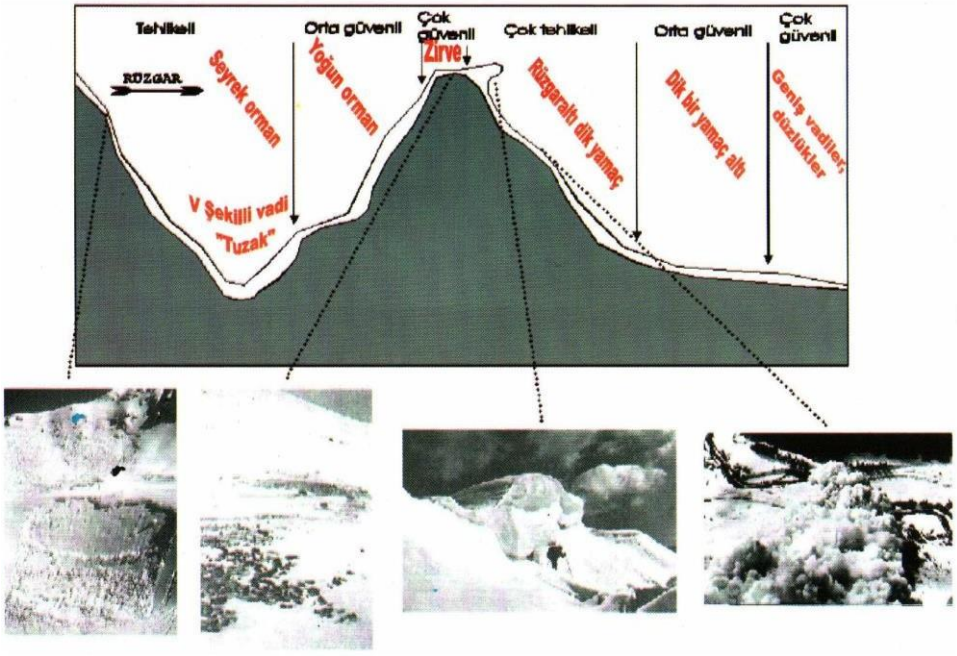
Çığ, özellikle kış aylarında can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerden biridir. Diğer doğal afetlerde olduğu gibi çığlardan korunmak amacıyla çeşitli eylem planları geliştirilmelidir. Bu eylem planları, çığ oluşumundan önce, çığ sırasında ve çığ oluşumundan sonra olmak üzere üç ayrı evre üzerinde yapılandırılmalıdır.

Çığlar oluşmadan yapılması gereken çalışmalar

Öncelikle çığlara yönelik bilgi alt yapısı, kritik alanların haritalarının yapılması ve korunmaya yönelik tekniklerin uygulanması hususunda halkın bilgilendirilmesi gerekmektedir. Çığın riskli olduğu alanlara bazı örnekler Şekil 17'de görülmektedir (Çığ grubu, 1999). Çığların oluşmasıyla birlikte, yaşama geçirilmesi gereken kriz masasının yerel yönetimlerin öncülüğünde yapılandırılmasında yarar vardır. Riskin büyüklüğüne göre, ilçe, il ya da bakanlık düzeyindeki kriz masaları oluşturulmalıdır.

Ayrıca çığ oluşmadan önce önlem yapıları hariç, yapılması gereken en önemli uygulamalardan biri boşaltma planının yapılmış olmasıdır. Bu planda:

- Boşaltılacak alandaki tüm tehlikeli patikaların tanımlanmış ve iyi bir çiziminin yapılmış olması,
- Boşaltma sırasında emirleri verecek ve bunları uygulayacak kişilerin isimlerini içeren bir listenin hazırlanmış olması,
- Boşaltma sırasında izlenecek iletişim ve alarm işlemlerinin belirlenmiş olması,
- Acil kaçış yolları, toplanma alanları, park yerleri ve etkilenen insanların geçici olarak iskân edileceği yerlerin saptanmış ve her an kullanım hazır halde bulunduruluyor olması,
- Boşaltılan alanlardaki güvenliği sağlayacak ve diğer problemleri çözecek şekilde bazı yasaklamaların ve kuralların konulmuş olması gereklidir!



Şekil 17. Çığın riskli olduğu alanlara birkaç örnek (Çığ grubu, 1999).

Yakındaki yollarda çığ uyarı işaretleri, yolları çığ olma durumunda kapatacak elle veya otomatik olarak çalışan engellerin kurulması şarttır. Ayrıca, yollara, üzerinde uyarı mesajları yazılı levhaların

konulması da iyi bir yöntemdir. Tehlikeli yamaçlardan sürekli uzak durmak en akılcı yoldur ve kuşkusuz en iyi çözümdür. Çığ olan veya olmaya aday olan yamaçlarda ağaç kesimine son vermek ve bunu yasal yollarla sağlamak ve daha önce çığ olduğu bilinen yerlere, av veya herhangi bir amaçla insanların gitmemeleri için uyarmak gereklidir.

Çığ sırasında yapılması gereken çalışmalar

Çığ genellikle çok hızlı gelişir ve hareket eder. Bu nedenle, çığın oluşması fark edildiğinde olabildiğince hızlı ve soğukkanlı olunmalıdır. Çığın başlangıç anından sonra, eğer bina dışında bulunuyorsanız:

- Çığ başladığında, çığın büyüklüğüne, hızına, patikanın genişliğine, etrafta bulunan araçlara (araba, kayak, kar aracı veya hiçbir şey) ve varolan daha güvenli yerlere (büyük ve sabit kayalar, yamaç aşağı girintiler, vb.) bağlı olarak, o alandan çok hızlı bir şekilde ayrılmaya karar vermek.
- Çığın daha yavaş ve yüksekliğinin az olduğu kenar kısımlarına ulaşmaya çalışmak,
- Bağırarak veya başka ses kaynaklarını (korna, çan, ıslık, siren) kullanarak, diğer insanları uyarmak,
- Eğer çığa yakalanmamız kesin ise veya o anda kayak yapıyor iseniz, kayak sopalarını ve kayakları çıkarıp atmak, sabit bir ağaç (yeterince güvenilir olmasa da çığın büyüklüğüne göre çare olabilir), kaya veya başka bir cisme tutunmaya çalışmak,
- Kırılmış ağaç ve kaya parçalarından uzak kalmaya veya korunmaya çalışmak,
- Yerden de destek alarak yüzme hareketi yaparak akan karın üstünde kalmaya çalışmak,
- Ağzı sıkıca kapatmak, eğer mümkünse kafa karın altında kaldığı anda uzun süre nefesi tutmaya çalışmak,
- Önerilen diğer bir yöntem de akış sırasında oturma konumunu almaktır. Bu yöntemde bacaklar ve kollar birbirlerine yapıştırılır ve çığ durmadan kısa bir süre önce, bacaklar ile yeri sertçe iterek (eğer zemin altta ise veya zemin üzerindeki kar sertleşmeye başlamış ise) kalkmaya çalışmak. Çünkü çığ durduktan sonra, betonumsu bir özellik kazanacak olan kar içinde, değil kalkmak parmağınızı oynatmak bile imkansızdır.

Çığ durmadan önce mutlaka bir el yüzün önünde (ağız ve burnu kapatacak şekilde) diğer el de başın üstünde(yüzeye doğru uzatarak) tutmak ve kar altında kalınan zaman boyunca bizim için hayati önem taşıyacak olan nefes alınan boşluğu(hava kesesi) genişletmek ve bu arada başı sağa sola çevirmeye çalışmak,

Bu hava kesesi, çok küçük olsa bile ağız ve burnun kar ile dolmaması demektir. Kesenin varlığı, kazazedenin her zaman kurtulma şansının olduğunu ümit etmesini sağlar.

- Karda ses iletimi az olmasına rağmen, eğer yüzeye yakın olunduğu hissedilirse yada öyle olabileceği varsayımını ihmal etmemek için bağırmak yararlı olabilir.
- Bazı olaylar ve araştırmalar göstermiştir ki, sırt çantası taşıyan insanların çığın topuğu civarında yüzeyde kalma şansları, taşımayanlardan daha fazladır.

Eğer bir aracın içinde bulunuyorsanız;

- Motoru durdurup, ışıkları söndürmeli,
- Araçtaki oksijen miktarını korumak için sigara içmemeli ve kibrit yakmamalı,
- Eğer telsiz varsa çağrı yapmalı ve telsizi alıcı konumunda sürekli açık tutmalı,
- Dışarı ses (korna) ve ışık verecek herhangi bir alet (fener gibi) faydalı olabilir,
- Eğer araçta bir çubuk veya benzeri bir alet var ise, bunu kar içine yukarı doğru batırıp kurtarmaya gelecek olanların çubuğu görmelerini ümit etme şansımız da olabilir,
- En son olarak da çevreleyen karı kazmaktır. Ancak, kazarken kişi kendini kesinlikle güvende hissetmiyorsa araç içinde kalmanız daha emniyetlidir.

Çığ anında, tehdit altında ve çığ yolu olarak tanımlanan güzergâ hın dışında olan yerlerden daha yüksek yerlere çıkılması, diğer bir acil önlem olarak değerlendirilebilir. Çünkü çığlar, yerçekimi doğrultusunda ve topoğrafik olarak daha düşük olan yerlere doğru devinir.

Çığdan sonra yapılması gereken çalışmalar

Çığ olduktan sonra en kısa zamanda ilgili kişi ve kuruluşlara haber verilmelidir.

Ayrıca, ikamet ettiğiniz yerleşim yeri dolayında bir orman örtüsü varsa, ormanda. oluşabilecek yangınların kısa zamanda yetkili kuruluşa bildirilmesi ve acilen söndürülmesine başlanılması, orman içinde yeni çığ patikalarının oluşmasını engelleyebilir.

Çığdan hemen sonra, kurtarma, ilkyardım ve enkaz kaldırma çalışmalarına başlatılmalıdır. Kar altında kalan insanları hemen çıkarmaya çalışmalı ve aynı zamanda uzman kurtarma grupları ve sağlık ekipleri çağırılmalıdır. Zaman çok kısıtlı olduğundan, çığ riski olan her ilde, olabildiğince hızlı ulaşım olanakları ile donatılmış iyi eğitimli kurtarma gruplarının olması şarttır. Gerçi, illerde Sivil Savunma Müdürlüklerinin bünyesinde bu tür kişiler bulunsa da, bu uzmanların çığ konusunda da eğitilmeleri gerekir. Günümüzde insanların artan gereksinimleri dolayısıyla ulaşım, haberleşme, elektrik ve turizm amaçlı olarak daha fazla oranda dağlara gelmeleri sonucunda çığlardan etkilenebilecek insan sayısı da arttığından bu tür kurtarma gruplarının gerekliliği daha da önem kazanmaktadır. Bu gruplar, genellikle şu kurtarma yöntemlerini kullanırlar,

Göz ve kulak ile arama

Bu teknik tüm arama yöntemlerinin ilk basamağını oluşturur. Çok basit ve hızlı olarak uygulanabilmesine rağmen, kar altında olan kurbanları,

- kardaki ses iletiminin az olması,
- arama süresinin sınırlı olması,
- görüş mesafesinin sis, gece ve kar yağışı gibi unsurlar nedeni ile tespit etmek imkansız hale gelebilmektedir.

Elektronik alıcılar ile arama

Eğer kazazede bir alıcı taşıyor ise (radyo dalgalarını alan ve veren elektronik cihaz- genellikle 457 kHz'lik frekans kullanırlar), kısa sürede kurtarma grubundaki cihaz ile kazazedelerin yerlerini bulmak mümkün olabilmektedir. Ancak aşağıdaki koşullar bulma şansını azaltabilir;

- Cihazın kazazedenin cebinde, çantasında veya araçta olması,
- Cihazın verici konumunda bulunmaması,
- Pilinin azalmış veya bitmiş olması,
- Arama yapan grubun arama hızı ve eleman sayısının az olması,
- Kazazedenin konumunun (cihaz kazazedenin altında kalmış olabilir) uygun olmaması.

Sondalama

Kazazedeleri metal çubuklar ile arama yöntemi de, sık kullanılan bir yöntemdir. Uzunlukları 3-6 m. arasında değişen çubuklar sırt çantasında rahatça taşınabilecek kadar hafif ve katlanabilir özelliktedir. Bu teknik, kara sokulan çubuğun kazazedeye teması sonucu kişiyi bulma mantığı üzerine kurulmuştur. Sondalama yapılacak yerin seçimi çok önemlidir. Yöntemin uygulanacağı yerler, kazazedenin gömülü olduğundan az çok emin olunan yerler olmalıdır. Tüm patikayı aramak hem anlamsız hem de çok zaman kaybettirecek bir işlemdir. Arama yapılacak yerler arasında;

- Arama köpeğinin belirleyeceği bir yer ve çevresi,
- Kar aracı veya kazazedenin bir eşyasının yüzeyde bulunduğu alanlar,
- Kazazedenin vücudunun kar akışı sırasında takılacağı yerler (ağaçların etrafı gibi),
- Çığın akışının menderesli olması durumunda, çığın menderes yaptığı köşeler ve yakın dolayı
- Son olarak durma bölgesi (çığ topuğu) sayılabilir.

Kurtarma köpekleri

Çığ kurtarma köpekleri, elektronik cihazlar taşımayan kazazedeleri bulmada en iyi yoldur.

Avantajları:

- Çok hızlıdır (bir köpeğin ortalama arama hızı 20 dakika/hektar),
- Köpek bakıcısının özel işaretlerine gerek duymadan arama yapılabilir.

Dezavantajları;

- Köpeği arama yapılacak alana ulaştırmadaki zorluk,
- Köpeğin eğitim kalitesi ve deneyimi (eğer eğitimli köpek yoksa kazazedelerin kendi köpekleri de kullanılabilir),
- Köpeğin bakıcısı yanında değilse, köpeğin arama yapan insanlar arasında kendini rahat hissetmemesi (korkmuş veya kızmış olmaması),
- Arama grubu içindeki kişilerde veya arama yapılan alanda güçlü koku kaynaklarının (kırılmış ağaçlar, yiyecek, yağ, petrol, hayvan pisliği) varlığı,
- Kazazedenin 2m'den daha derinde olması,
- Rüzgârın etkisi,
- Yoğun, çok sertleşmiş kar

Radar

Radar cihazı (Recco), reflektör taşıyan kazazedeleri bulmada kullanılan etkin bir cihazdır. Dezavantajları arasında, reflektör taşıyan insan sayısının az olması ve reflektörlerin ucuz olmasına rağmen radar cihazının çok pahalı olmasıdır.

Magnetometre

Magnetometre bir metal dedektördür. Araba, kar aracı vb. büyük metal cisimleri bulmada kullanılır. Herhangi bir kurtarma çalışması sırasında kazazedenin hava kesesinin kapanmamasına dikkat edilmelidir!

Enkaz kaldırma çalışmaları, bütün kurbanların bulunduğu veya bilinen yöntemler ile kurtarılamadığı, hayatlarından ümit kesilmiş olduğu andan itibaren başlatılır. Bu çalışmalar sırasında iş makineleri kullanan operatörlerin ve diğer işçilerin kurbana zarar vermemeleri için çok dikkatli olmaları gerekir.

Çığdan canlı kurtulma şansı:

- Çığ topuğundan veya daha az derin olan yukarı kesiminde sert ve yoğunlaşmış bir kar örtüsü birikintisi oluşur. Bu örtüde tamamı ile gömülü olan bir kişinin, bu kütlenin içinden kendi kendine çıkma olanağı yoktur. Ancak, kazazede yine de çıkmaya gayret ederse, bu onun enerji ve oksijen kaybetmesi anlamına gelir. Kısacası, gömülü olan bir kişi kar içinde hareketsiz kalmalıdır. Bu yapması zor ama gerçekçi bir davranıştır.
- Kazazede sakin olmaya çalışmalı ve kendini kurtarmaya gelen insanların sesini duymadan önce bağırmamalıdır. Kardaki ses iletimi çok zayıf olduğundan, sesini duyurmayı başaramama ihtimali yüksek olacağından, bu teşebbüs oksijenin hızlıca tükenmesi ile sonuçlanabilir.
- Eğer kazazede bayılacağını hissediyor ise, buna direnmemelidir. Çünkü baygın bir kişi yavaş nefes alır, kalp atışı yavaşlar ve vücut ısısı düşer. Bu belirtiler, vücudun ihtiyacı olan oksijen miktarını düşürecektir.

Günümüzde bazı istatistiksel çalışmalar tüm dünya üzerindeki çığların insanlara olan etkilerini belirlemek için yapılmaktadır. Birçok ülkenin yaptığı araştırmalarda; çığa karşı alınan önlem türleri ve yeterlilik derecesi, ülkenin kültür yapısı, veri uzunluğu ve kalitesi gibi parametrelere bağlı olarak değişen, ancak nispeten yakın sonuçlar alındığından, bu kısımda en iyi kayıtlara sahip ülkelerin istatistiksel çalışmalarının sonuçlarına değinilecektir.

Buradan ilki Fransa'ya ait 308 çığ kaydı kullanılarak yapılan bir değerlendirmenin sonuçlarıdır:

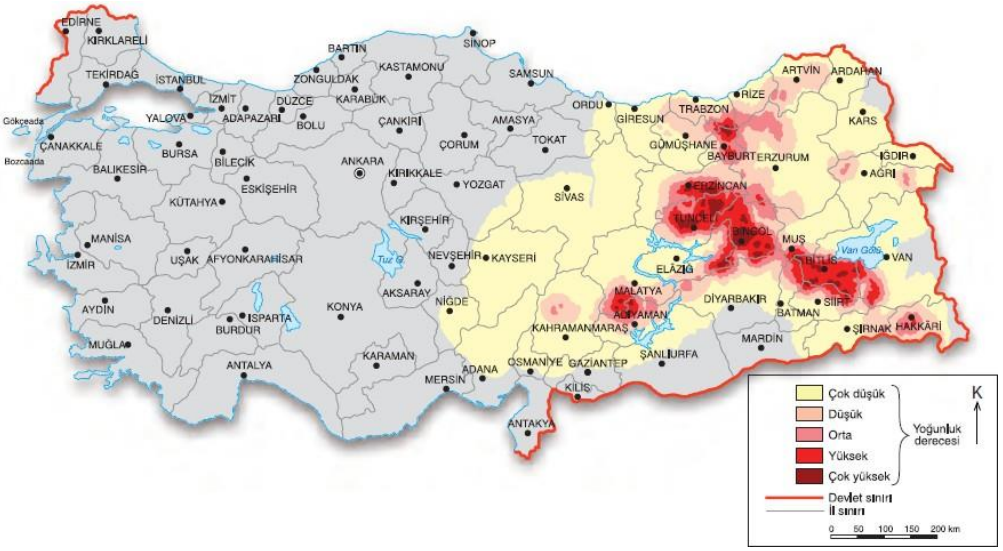
"Ciddi bir şekilde yaralanmamış ve çığ sonucu tamamı ile gömülmüş bir kimsenin kurtulma şansı 15. dakikaya kadardır. 15. ve 35. dakikalar arasında, karda hava kesesi oluşturamayan tüm kazazedeler boğularak ölmüşlerdir. 35. dakikadan sonra ise, sadece hava kesesine sahip olanların kurtulma şansları azalarak devam etmektedir. Yaklaşık olarak 90 dakika kar altında kalan kazazedelerden kurtulanlar olmuştur, ancak çoğu 90 ile 130. dakikalar arasında değişen oksijen yetersizliği ve hipotermi sonucu ölmüşlerdir. Kurbanların biraz daha fazla yaşamaları ancak, büyük bir hava kesesi veya yüzeye kadar uzanan bir hava deliği vasıtasıyla mümkündür."

İkincisi ise, Amerika, Avusturya, Kanada, İsviçre ve Fransa'da yapılan tüm çalışmaların bir ortak sonucu olarak verilebilir. Çığa yakalanan insanlardan canlı kurtulanların % 80'i yüzeyde kalanlar, % 55-60'ı bina veya araç içinde kalanlar, % 40-45'i ise kısmen veya tamamen gömülü olanlardır. Çığlarda ölüm nedenlerinin: % 65'ı boğulma, % 25'i ağaç, kaya veya diğer cisimlerin çarpması, % 10'u hipotermi ve şoktur.

Kar altında kalma süresine bağlı olarak canlı kurtulanların (ABD istatistiklerine göre): % 20'si 30 dakikadan fazla (kurtulanların % 50'si), % 13'ü 1 saatten daha fazla, % 7'si 2 saatten daha fazla ve % 4'ü ise 3 saatten daha fazla kar altında kalanlardır.

SONUÇLAR

Ülkemizde çığ ile ilgili çalışmalar, iyi bir düzeydedir. Bu tür doğa kaynaklı afetlerden korunmak için öncelikle riskli alanların haritalanması gerekir. Ayrıca çığ önleme tekniklerinin gözetilerek uygulanmasında yarar vardır. Çığ olayının gerçekleşmesinde, yamaçta biriken kar kalınlığının ve yamaç eğiminin fazla olmasının yanı sıra insan ve hayvanların hareketleri ile sesin oluşturduğu titreşim de etkili olmaktadır. Türkiye'de çığ olaylarına daha çok Doğu Anadolu'da rastlanır (Şekil 18). Örneğin, Bitlis, Bingöl, Tunceli, Malatya ve Erzincan çığ olaylarının en çok görüldüğü yerlerdir. Çığ ile ilgili eylem planlarını sürekli diri tutmakta yarar vardır.



Şekil 18. Türkiye'nin çığ haritası (https://www.cografyaci.gen.tr/turkiyede-cig/ (20 Temmuz 2019, saat 12.20).

KAYNAKLAR

AFAD, 2015. Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması, Çığ Temel Klavuz. TC Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 130s.

Ancey, C. ve diğerleri, 1996. Guide Neige et Avalanches: connaissances, pratiques, securite. Anea, Grenable, France.

Cappabianca, F., Barbolini, M., Natale, L., 2008. Snow avalanche risk assessment and mapping: A new Method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform. Cold Regions Science and Technology, 54, 193-205.

Çığ grubu, 1999. Çığ el kitabı, TC. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara,117s.

Etter, H.J., 1998. Avalanche basics, determination of avalanche risks, (Çığ riskinin belirlenmesi ve çığdan kurtarma, ilkyardım semineri), Palandöken, Erzurum.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. Engineering Geology, 102, 3-4, 85-98.

Foley, D. Mc Kenzie, G,D. ve Utgard, R.O., 1993. Investigations in Environmental Geology, Macmillan Publishing Company, 886 Third Aveneue, New York, USA, 304s.

Görçelioğlu, E., 2003. Sel ve Çığ Kontrolü. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakülte Yayınları, İstanbul, 384s.

Günce, 2004, Türkiye Bilimler Akademisi, Nisan 2004, Sayı 29'un kapağından, Ankara.

http://www.ntv.com.tr

McClung, D.M., Jamieson, B., Stethem, C., Schaere, P.A., 2002, "Guidelines and Standards For Avalanche Risk and Hazard Mapping For Canada", Canadian Avalanche Association, Revelstoke, B.C., National Search and Rescue Secretariat, Ottawa, Ontario.

NGU, 2010. Method for the susceptibility mapping of snow avalanches in Norway. Technical Report, (Geological Survey of Norway (NGU), 14 p.

Perla, R.I., ve Martinelli, M.Jr., 1976. Avalanche Handbook. USDA Forest Service Agriculture Handbook 489, Fort Collins, Colorado.

Suk, P., Klimanek, M., 2011. Creation of the snoe avalanche susceptibility map of the Krkonose Mountains using GIS. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelian e Brunensis, 28, 237-246.

Varnes, D.J., 1984, Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 pp.

Yavaş, Ö. M., Varol, N., Arslan, G., Erengil, M., Yazıcı, Z., 2010. Çığ haritalama ve önlem yapı tekniklerinin karşılaştırılarak, Julian Alpleri (KB Slovenya) ve Rize-Sivrikaya (KD Türkiye) bölgelerinde uygulanabilirliğinin ortaya konulması. TÜBİTAK Proje No 105Y143, 108 s.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

12. 6. KIYILARDA OLUŞAN BAZI TEHLİKELER

GENEL BİLGİLER

Eski tarihi devirlerde de kıyılarda oluştuğu ileri sürülen bazı tehlikeler tanımlanmıştır. Örneğin Plato'nun yitik kent Atlantis'in sonu ile ilgili yazdıklarından yola çıkan bilim adamları, Cebelitarık Boğazı yakınlarında, suların altında kalan Spartel adasının Atlantis olabileceğini ileri sürülmektedir.

Plato bu felaketi, haftalarca ya da yüzyıllarca sürmüş gibi değil, tek bir gün ve gecede meydana gelmiş gibi anlatıyor. Yazılarında çok şiddetli depremlerden ve devasa sellerden bahsediyor. Sanki bir tsunami tanımlanıyor. Fransa'da Western Brittany üniversitesi'nden Marc-Andre Gutscher'e göre Plato'nun belirttiği bölgede MÖ 10 bin yıl önce oluşan kaba taneli 50-120 cm kalınlığındaki tortul katmanlar, o yıllarda meydana gelmiş büyük bir Tsunamiyi temsil etmektedir (Cumhuriyet Bilim Teknik, 2005; Geology, vol.33, s.685'den).

Kıyı bölgeleri, topografik, iklim ve bitki örtüsü yönüyle önemli farklılıklar sunan genel olarak dinamik ortamlar olup, denizlerde gelişen süreçlerle, karalarda gelişen süreçlerin birlikte etkili olduğu ve önemli ani değişimlerin yaşandığı yerlerdir. Kıyılarda nüfusun da yoğun olması nedeniyle, tehlikeli süreçlerin etkisi önemli boyutlara ulaşmaktadır. Bu durum, üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz için de geçerlidir. Türkiye'nin nüfusunun %60'ından fazlası ve büyük şehirlerimizin önemli bir bölümü kıyılarda bulunmaktadır.

Kıyılarda meydana gelen başlıca tehlikeler, önemli ölçüde can ve mal kaybına neden olan ***tropikal kasırgalar;*** özellikle Pasifik Okyanusu kıyıları boyunca etkili olan ***sismik deniz dalgaları*** ya da ***tsunamiler*** ve insanların malına zarar veren ve kapsamlı önlemler alınmasını gerektiren ***erozyon*** kıyılarda oluşan afetlerdir. Türkiye, bulunduğu konum nedeniyle tropikal kasırgalar ve tsunamilerden çok erozyonun yaygın olduğu bir bölgede yer almaktadır. Her yıl Kıbrıs adası büyüklüğünde bir toprak parçasının denizlere taşındığı düşünüldüğünde, sorunun boyutları kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Onun için erozyon konusu üzerinde daha çok durulacaktır.

TROPİKAL KASIRGALAR

Kendiliğinden gelişen, aniden oluşan kasırgalar, ağırlıklı olarak okyanusun ortasındaki tropikal kuşaklarda oluşmaya başlar. En önemli koşulun, okyanustaki su sıcaklığının yaklaşık 26^0C'ye kadar yükselmesidir. Deniz yüzeyiyle temas eden nemli hava, aslında yavaş yavaş yükselir. Belli bir yüksekliğe ulaşıldığında, okyanustaki ısı yayılımı artar. Bu da, havanın yükselmesine neden olur ve söz konusu süreç döngüsel bir karakter kazanır. Sıcak hava akışı dönmeye başlar. Bu da, gezegenin kendi ekseni etrafında hareketiyle şiddetlenir. Çeşitli türde bulutlar oluşur. Rüzgâr hızı 130 km/saati aşmaya başladığında, kasırga net bir taslak oluşturur ve belli bir yönde hareket etmeye başlar.

Kıyılarda oluşan tropikal kasırgalar (tropical cyclones), en önemli afetlerden biri olup, her seferinde binlerce can ve mal kaybına yol açmaktadır. 1970 yılı Kasım ayında Bengladeş'in Bengal körfezinin kuzey kesimini vuran bir tropikal kasırga, denizin 6 m yükselmesine, 300 000 kişinin ölümüne, 63 milyon dolar ürünün ve yöredeki toplam balıkçılık kapasitesinin % 65'inin yok olmasına neden olmuştur.

Katrina Kasırgası, ABD tarihindeki en yıkıcı kasırgadır. Bu kasırga, Saffir-Simpson kasırgası ölçeğindeki 5. kategorinin ve gözlem tarihinin en güçlü altıncı Atlantik Havzası kasırgasıydı. Kasırga, Ağustos 2005 sonunda gerçekleşti. En ağır hasar, Louisiana'daki New Orleans kentinin yaklaşık% 80'inin su altında kaldı. Afet sonucu 1836 kişi öldü, ekonomik zarar 125 milyar dolara ulaştı.

Tropikal kasırgalar Pasifik çevresinde ***tayfun*** (typhoons), batı yarıkürede ***harikanlar*** (hurricanes) olarak bilinir. Bunlar, rüzgârın çok hızlı esmesinden dolayı zarar ve yıkıma yol açmakta, kasırgaların yanı sıra yoğun yağıştan ileri gelen ani akarsu taşkınları, rüzgârdan daha çok yıkıma ve ölümlere neden olmaktadır. Fırtına dalgaları (storm surges) ise kasırgaların en etkili ve öldürücü bir

yönünü göstermektedir (Şekil, 1). Bu fırtınaların etkisinde kalan insanların çoğu boğulmaktan dolayı ölmektedir. Harikanların neden olduğu mal kaybı da büyüktür. ABD'nin kıyıları boyunca oluşan harikanların da alınan çeşitli önlemlere karşın binlerce insanın ölümüne ve milyonlarca dolar mal kaybına yol açtığı bilinmektedir.

A B

Şekil 1. Kasırgaların değişik açılarda görünümü. A, Yandan, https://torbaliguncel.com/abdde-kasirga-alarmi-h11217.html (20 Temmuz 2018, saat 16.35).
B, Üstten (https://tr.ilovevaquero.com/novosti-i-obschestvo/77681-imena-uraganov-pravila-prisvoeniya-imen-uraganam-samye-razrushitelnye-uragany-v-istorii.html (20 Temmuz 2019, Saat 16.30)

Yukarıda belirtildiği gibi tropikal kasırgaların önemli bir etkisi de, fırtınanın karaya doğru ilerlediği bir sırada meydana gelen yoğun yağışın neden olabileceği ani taşkınlardır. 1969 yılında Camilla kasırgası, önce Louisiana ve Mississippi kıyılarında iki gün sonra ise batı Virginia dağlarında (yağışla birlikte) etkili olmuş ve 100 milyon dolardan daha fazla bir zarara yol açmıştır.

Çoğu harikanlar, 8 derece kuzey ile 15 derece güney enlemleri arasında oluşmaktadır. Bu aralık, okyanuslardaki yüzey sularının sıcak olması dolayısıyla tropikal kasırgaların gelişmesine uygun bir kuşaktır. Fırtınalar önce okyanuslarda yavaş olarak başlar, sonra gelişir ve nihayet karaya doğru hareket ettikten sonra giderek sönümlenir. Kasırgaların hızı saatte 100 km'den fazla olabilir. Genel olarak, harikanların gözü olarak adlandırılan sakin bir merkez etrafında dönen rüzgârın hızı 100 km ise etkileyeceği alanın çapı 160 km' ye ulaşabilmektedir. Ayrıca saatteki hızı 60 km' den fazla olan bir bora, 640 km'lik çapa sahip bir alanı etkileyebilir.

Kasırga kategorileri

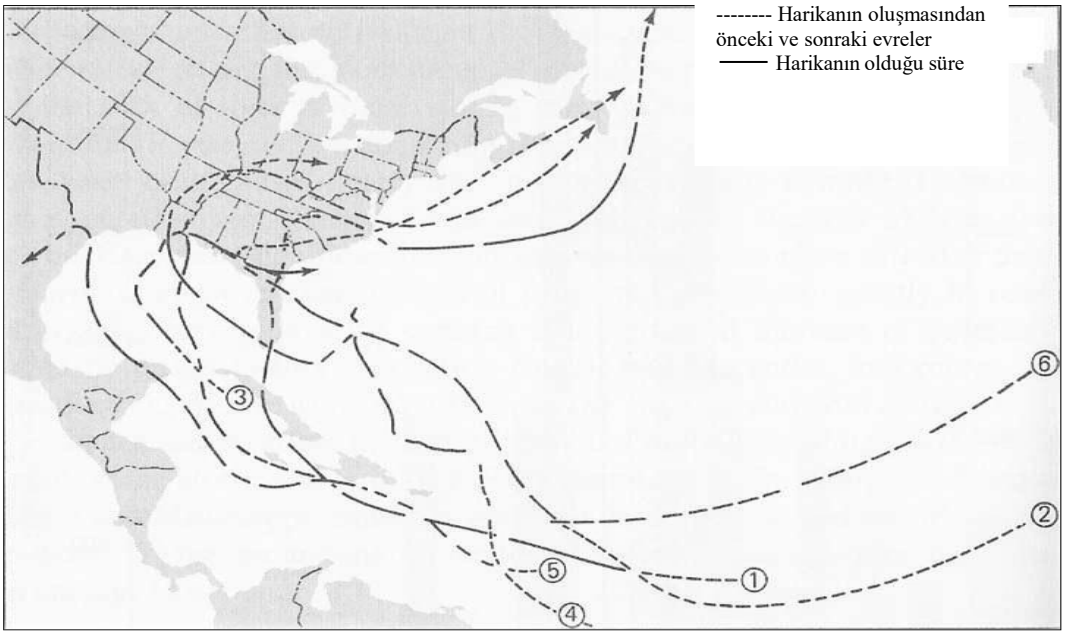
Kasırga kategorilerine dair, karakter belirlemek üzere, özel bir ölçek, 1973'te Robert Simpson ve Herbert Saffir tarafından geliştirildi. Söz konusu ölçek, fırtına dalgalarının şiddetine ve rüzgârın üfleme hızına bağlı olarak oluşturuldu. Buna göre kasırga kategorilerinin 5 tehdit seviyesi vardır [https://tr.ilovevaquero.com/novosti-i-obschestvo/77681-imena-uraganov-pravila-prisvoeniya-imen-uraganam-samye-razrushitelnye-uragany-v-istorii.html (20 Temmuz 2019, saat 16.30)]:

1. ***Minimal-*** küçük ağaçlar ve çalılar yıkıcı etkilere maruz kalırlar. Kıyı şeritlerinde önemli olmayan zararlar görülmekte, küçük gemiler çapadan yırtılmaktadır.
2. ***Orta-*** ağaçlar ve çalılıklar önemli hasar görür. Bazı ağaçların gövdesi salınır. Prefabrik yapılar ve iskeleler hasar görür.
3. ***Önemli-*** Prefabrike evler çok zarar görür, büyük ağaçlar devrilebilir, çatılar, kapılar ve pencereler savrulabilir. Sahil şeridinde ciddi seller görülebilir.
4. ***Çok önemli-*** Büyük çalılar, ağaçlar, reklam panoları, prefabrike yapılar havaya savrulabilir. Evler ve işyerleri tahrip olabilir. Suların taşındığı yerlerde suyun yüksekliği deniz seviyesinden

üç metreye ulaşabilir. Taşkınlar, 10 kilometre derinlikte karaya ulaşabilir. Enkaz ve dalgalar nedeniyle çok önemli hasarlar oluşur.

5. ***Felaket –*** Bu kategorideki kasırga, tüm yapıları ve doğayı derinden etkiler. Tüm binalar, kritik derecede hasara uğrar. Doğa kaynaklı bu felaketin sonuçları, karada 45 kilometre derinliğindeki bir alana ulaşabilir. Böyle bir felaket sırasında kıyı bölgelerinde yaşayan nüfusun kitlesel tahliyesine ihtiyaç vardır.

Şekil 2'de 1964 yılından 1970 yılına kadar geçen sürede ABD'nin Atlantik kıyılarında meydana gelen bir dizi kasırganın başladığı, geliştiği ve sönümlendiği tarihlerin yanı sıra, oluştuğu yerleri ve ölenlerin sayısı görülmektedir (Keller, 1979). Dikkat edilirse, harikanların genellikle Ağustos ve Eylül aylarında kıyıların çok ötesinde açık okyanuslarda başladığı, kıyıya doğru şiddetlendiği ve karaya ulaştıktan kısa bir süre sonra sönümlendiği kolayca görülür.



Harikaların olduğu tarih	En çok etkilenen yerler	Ölenlerin sayısı
1. Ağustos 20 – Eylül 5, 1964 CLEO	Güney Florida, Doğu Virginia	5
2. Ağustos 28 – Eylül 16, 1964 DORA	Kuzeydoğu Florida, Güney Georgia Louisiana	38
3. Eylül 28 – Ekim 5, 1964 HILDA	Güney Florida, Louisiana	75
4. Ağustos 27 – Eylül 12, 1965 BETSY	Güney Texas	15
5. Eylül 5- 22, 1967 BEULAH	Mississippi, Louisiana, Alabama,	255
6. Ağustos 14- 22, 1969 CAMILLE	Virginia, Batı Virginia Texas, New Mexico	69
7. Temmuz 30,Ağustos 5,1970 CELIA		11

Şekil 2. 1964 ile 1970 yılları arasında ABD'nin Atlantik kıyılarını etkileyen harikanlarla ilgili bilgiler (Keller, 1979).

Kasırgaların adlandırılması

İkinci Dünya Savaşı sırasında, Amerikan meteorologları Pasifik Okyanusu'ndaki tayfunların davranışlarını etkin olarak izliyordu. Atmosferik olaylara isim verme kararı, bu konudaki kafa karışıklığını önlemeye dönüktür. Bu konuda çalışan araştırmacılar, önce kayınvalidelerinin ve eşlerinin adlarının düşündüler. Buna göre, büyük savaşın sonunda, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Meteoroloji Servisi, kısa ve kolay hatırlanan kasırga isimlerini içeren özel bir liste hazırladı.

Kasırgaları adlandırma için özel kurallar, geçen yüzyılın 50'li yıllarında belirlendi. İlk olarak, fonetik bir alfabe kullanıldı. Ancak, bu yöntemin uygunsuz olduğu anlaşıldı. Meteoroloji uzmanları, doğrulanmış sürüme göre, yani kadın isimlerinin kullanılmasına karar verdiler. Daha sonra bir sistem oluşturuldu. Tüm okyanuslarda meydana gelen tayfun tanımlanması için kısa, unutulmaz isimleri seçme prensibi kullanılmaya başlandı. 70'lerde, adlandırma süreci başladı. Buna göre, yılın ilk büyük kasırgası, alfabenin ilk harfi ile en kısa, en tatlı kadın ismi ile gösterilmeye başlandı. Kasırgaların adlarını tanımlamak için 84 kadın ismini içeren geniş bir liste derlenmiştir. 1979'da ise, meteoroloji uzmanları, kasırgaların erkek isimlerini de içeren listeyi genişletmeye karar verdiler.

TSUNAMİLER YA DA SİSMİK DENİZ DALGALARI

Tsunami sözcüğü Japonca kaynaklıdır. Japoncada Tsu liman, nami ise dalga anlamına gelir. Dolayısıyla tsunami yerel dilde liman dalgası karşılığı olarak kullanılmaktadır. Tsunamiler, sıkça yanlış olarak gelgit dalgaları (tidal waves) ile karıştırılır. Oysa, tsunamiler, genel olarak uzun peryotlu yer çekimi dalgaları olup, erozyonun şiddetini de arttırmaktadırlar. Bunlar, oldukça yıkıcı doğal afetlerden biridir. Ancak, tsunamilerin doğal afetlere göre daha seyrek olarak ve çoğunlukla Pasifik çevresinde oluştuğu bilinmektedir. Bu olayların sıklığı, ABD'de sekiz yılda bir olaya karşılık gelmekle birlikte, her olayda 100'lerce ölüm ve 100 milyonlarca dolar zarar meydana gelmektedir.

Tsunaminin tanımı ve yayılımı

Tsunami, büyük depremler sırasında okyanus sularının önce dikey olarak yükselmesi ve daha sonra yerçekimi nedeniyle yükselen suların yatay yönde büyük dalgalar oluşturarak devinmesi sonucu oluşan sismik deniz dalgalarının yarattığı doğal bir afettir. Okyanus sularının dikey olarak yükselmesinin nedeni, yerkabuğunun deprem sırasındaki deformasyonu ile ilişkilidir. Deformasyon genellikle okyanus altındaki yakınsayan levha sınırları boyunca olmakta ve özellikle üstteki levhanın sıkışmanın sonucu olarak daha da yükselmesi, okyanus sularının dikey olarak yükselmesine bir itici güç oluşturmaktadır. Okyanus sularının önce yükselmesinin nedeni bu itici güçtür. Yani, yer kabuğunun deformasyonu ile suya geçen potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi ve buna bağlı okyanusta su düzeyi değişimi sonucu dev dalgalar oluşur. Depremler dışında, sıradan çökmeler, zemin kaymaları, deniz altı heyelanları, okyanuslarda gelişen volkanik patlamalar, büyük bir meteoritin okyanuslara düşmesi gibi doğal süreçler tsunami dalgalarını oluştururlar.

Tsunami dalgalarının hızı, bulunduğu yerin derinliğinin karekökü ile doğru orantılıdır. Dalga yüksekliği, dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki dikey mesafe, dalga boyu, ard arda gelen iki dalganın tepe noktaları arasındaki yatay mesafe, dalga peryodu, ard arda gelen iki dalga arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır. Açık denizlerde, dalgalar saatte 800 km'lik bir hızla ilerleyebilirler. Dalgaların birbirini izleyen iki doruğu arasındaki mesafe, 100 km'yi aşmaktadır. Derin yerlerde dalga yükseklikleri 1 m'den az olabilir. Ancak dalgalar kıyıya ulaştığında hızı 60 km'ye düşmekle birlikte, dalga yüksekliği 15 m'yi aşmaktadır.

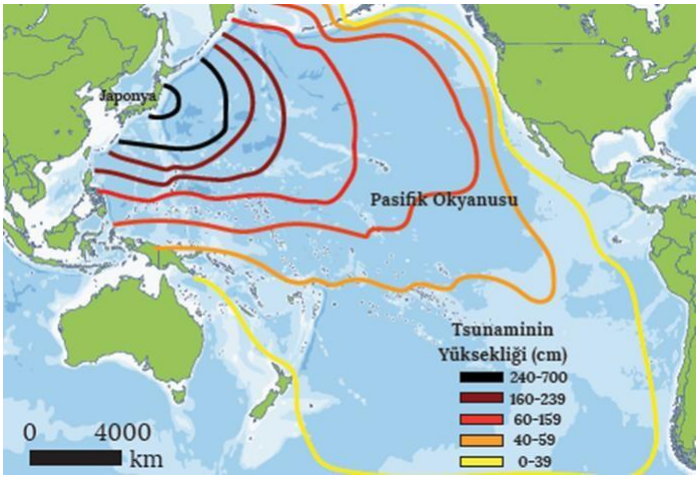
Pasifik Ateş Çemberi olarak adlandırılan, deprem ve volkan kuşağında yer alan Endonezya'da, 26 Aralık 2004'te 9,1 büyüklüğündeki deprem ve ardından oluşan tsunami sonucunda bölgedeki diğer ülkeleri de kapsayan geniş bir alanda 230 bin kişi hayatını kaybetmiştir.

Şekil 3'de bir tsunami dalgasının genel görünümü izlenmektedir. Böylesi bir dalganın yıkıcı etkileri de elbette büyük olur. Şekil 4'de ise Japonya'nın Tohoko yöresinde 11.03. 2011'de yaşanan

deprem sonrası oluşan tsunaminin yayılma alanı ve dalga yüksekliği sunulmuştur. Öyle anlaşılıyor ki, tsunaminin yıkıcı etkileri küreseldir.

Tsunamilerin oluştuğu yerlerden binlerce kilometre uzaklıklarda can ve mal kaybına yol açmaktadır. Tsunamiler, özellikle Pasifik Okyanusu çevresinde meydana gelmektedir. Çünkü bu bölge, etkin (aktif) olan okyanus içi hendeklerin yaygın olduğu bir alandır. Tsunamileri de depremleri önceden kestirme ile ilgili bilgilerin yetersizliği nedeniyle, önceden kestirme olanağı şimdilik yoktur.

Şekil 3. Bir tsunami dalgasının genel görüntüsü (https://www.superhaber.tv/tsunami-nedir-nasil-olusur-neden-olur-tsunami-nerede-oldu-ne-demek-haber-162221; 21 Temmuz 2019, saat 14.30).

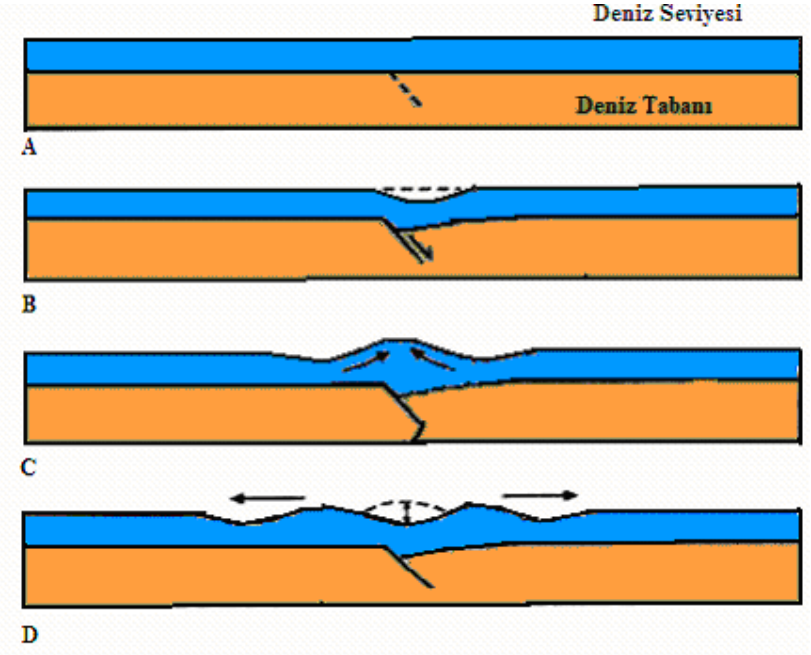


Şekil 4. Japonya'nın Tohoko yöresinde 11.03. 2011'de yaşanan deprem sonrası oluşan tsunaminin yayılma alanı ve söz konusu alana dair tsunaminin yüksekliği https://www.fikir.gen.tr/tsunami-nedir-tsunamilerin-asamalari-nelerdir-turkiyede-meydana-gelen-tsunamiler/ (21 Temmuz 2019, saat 14.45).

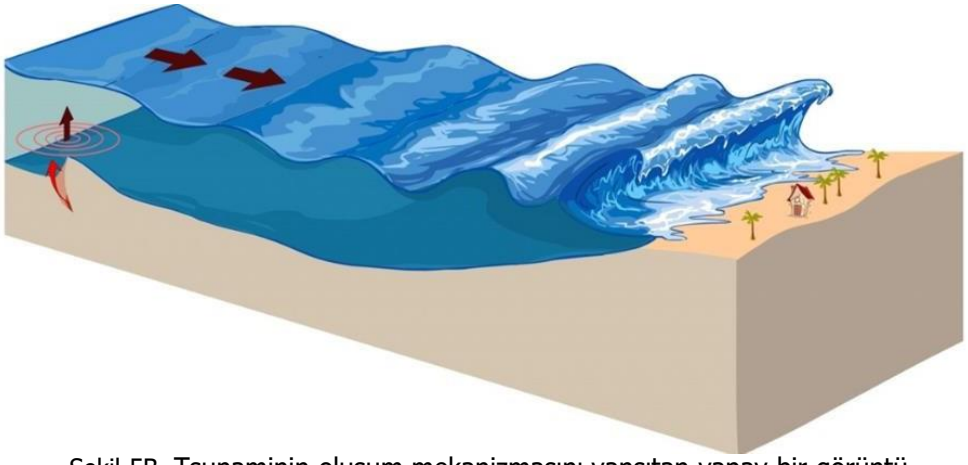
Tsunamilerin oluşumu ve büyüklüğü

Deniz dibinde oluşan ***deprem*** sonucu meydana gelen deformasyonla birlikte kabaran deniz ve meydana gelen ***deniz dalgası*** tsunaminin temel nedenidir. Şekil 5A'da ve 5B'de tsunaminin oluşum mekanizması yapay olarak görülmektedir. Bu mekanizmada, deniz tabanında önce bir faylanma ve faylanmayı izleyen deniz düzeyinde önemli dikey bir devinim ile bu devinimin yatay seyri

öngörülmektedir. Tsunami, öncelikle sahilde ve hatta iç bölgelerde büyük zararlara neden olur. 6-18 m yükseklikte dev dalganın doruktan doruğa uzaklığı (dalga boyu) yüzlerce km'yi ve genişliği (eni) 160 km'yi bulur. Dalgalar saatte 800 km hız kazanabilir. Atlantik sahillerinde seyrek, Pasifik sahillerinde sıkça rastlanan sismik deniz dalgaları, Japonya'da 1596 yılından beri 15 kez yinelenmiş ve bunlardan 8'i büyük felaketlere neden olmuşlardır. Tsunamiler, Havaii adalarına 15 yılda bir meydana gelmektedir.



Şekil 5A. Tsunamilerin oluşum mekanizması. A) Depremden önceki durum, B)Deniz tabanındaki ani düşme, anında deniz düzeyinin de düşmesine neden olmaktadır; C) Çöküntü alanına ilerleyen deniz suları burada deniz düzeyinin yükselmesini sağlamaktadır; D) Deniz düzeyi dengeye ulaşmadan önce salınım yapmakta ve bu sırada büyük uzun dalgalar (Tsunami) kıyıya doğru ilerlemektedir (Plummer ve McGeary, 1988).

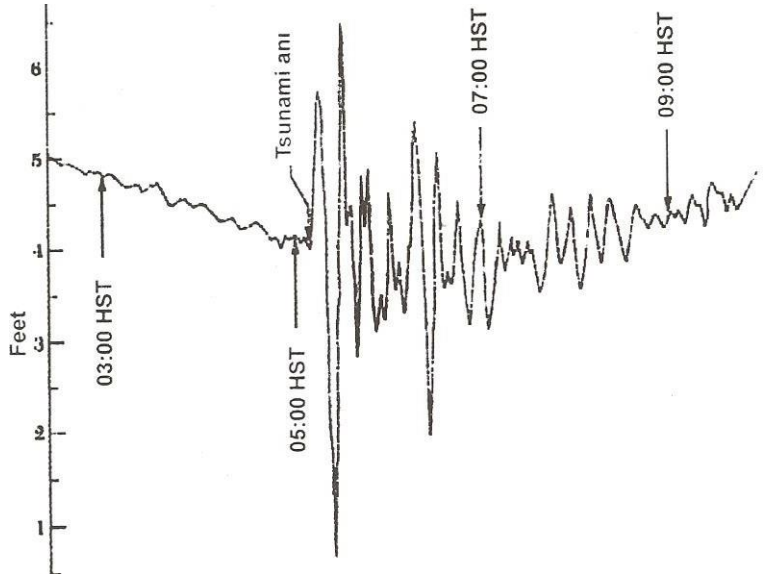


Şekil 5B. Tsunaminin oluşum mekanizmasını yansıtan yapay bir görüntü (https://www.facebook.com/groups/geologyandgeologists/?multi_permalinks=7065738560110693).

Tsunamilerin normal eğim atımlı ya da bindirme faylarıyla oluştuğu bilinmektedir. Bunların bir uyarı sistemiyle sahile erişme sürelerini önceden kestirmek olasıdır. Tsunami'nin sahile yaklaşması yani denizin birden kabarması (deniz çekilmesinden) sonra olmaktadır. Ardı ardına saldırı bir koya ya da nehir ağzına doğru olursa daha yıkıcı olur. Deniz depremi etkileri Karadeniz ve Hazar Denizi'nde görülmüştür. Kırım sahilinde sismik dalga yüksekliği 0.5 m'ye erişmiştir. Doğal ya da yapay göllerde sarsıntılar önce yer kaymalarına, ardından da olağanüstü genlikte dalgalanmalara yol açmaktadır. Meydana gelen dalgalar kimi zaman benti aşmakta, can ve mal kaybına neden olmaktadırlar.

Açık denizlerde tsunami dalgalarının hızı 700 km'yi geçebilir. Bunların dalga uzunluğu olağan dalgaların uzunluğunu gölgede bırakırlar. Dalgaların iki zirvesi arasındaki mesafe 100 km'yi aşabilir. Tsunami dalgaları, kıyıya eriştiklerinde hızları azalır. Buna karşılık, dalga yüksekliği kat kat artar ve bazen 25 m yüksekliğe ulaşabilir.

Tsunami, hidrodinamik açıdan, sığ derinlikli su dalgaları olarak kabul edilir. Tsunami dalgalarının yayılma hızı $V=\sqrt{g.d}$ bağıntısı ile bulunabilir. Burada, g yerçekim ivmesi olup, yaklaşık değeri 9,81 m/sn^2, d ise metre olarak suyun derinliğidir. Tsunami dalgaları, çok yüksek oranda alçalma ve yükselme potansiyeline sahiptirler. Dolayısıyla tsunami dalgaları, fırtına ve kasırgaların oluşturduğu dalgalardan çok daha güçlü ve hasar yapıcı özelliklere sahiptirler. Şekil 6'da görüldüğü gibi, bir tsunami dalgası, art arda gelen bir dizi dalgalardan oluşur. Genellikle ilk dalga, hasara en çok yol açanıdır.



Şekil 6. Bir Tsunami dalgası kaydı (Demiştaş ve Erkmen, 2000).

Deprem manyitüdü (M) ile tsunami büyüklüğü arasında bir karşılaştırma da yapılabilir. Genellikle M=7 ve daha büyük depremler, hasar yapıcı tsunamiler üretebilirler. Bu hasarlardan biri de tsunamilerin yaratığı erozyondur.

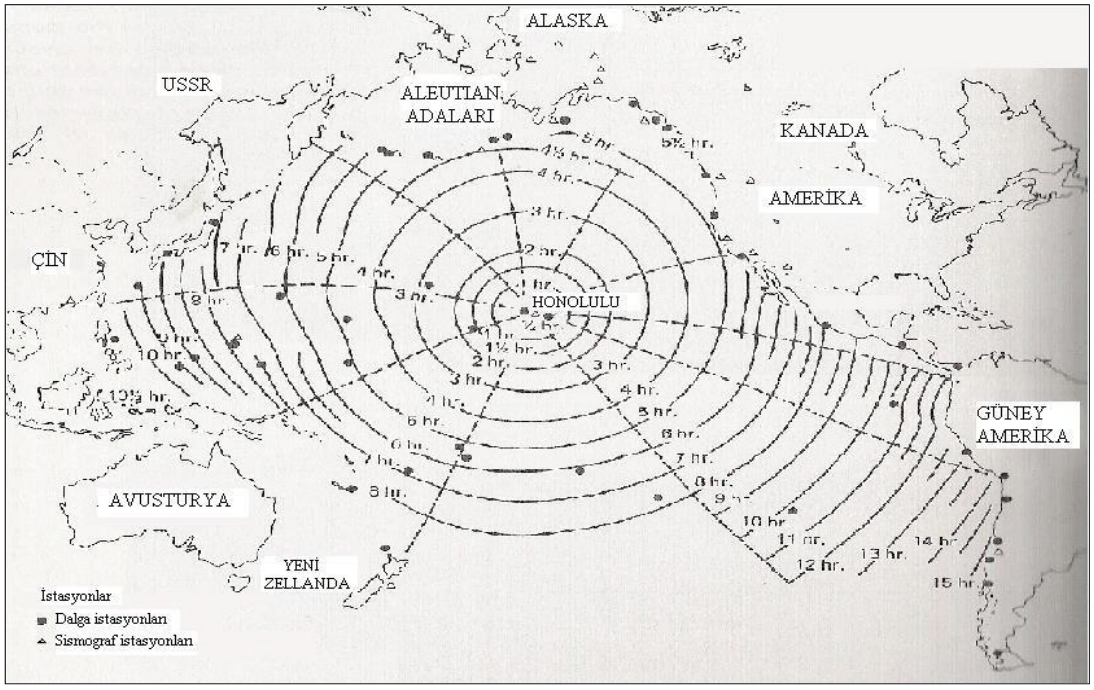
Tsunamilere yol açan nedenlerin bilinmesi ve kıyılardaki yapıların sağlam zemin üzerinde oturtulması bazı zararların önlenmesini kolaylaştırmaktadır. Tsunamilerin büyüklüğü ile depremlerin büyüklüğü ve meydana gelen ortalama yer değiştirmelerin (m olarak) miktarı aşağıda sunulmuştur (Çizelge 1). Deniz dibi kaymalarının yanı sıra deniz dibi volkan püskürmeleri de deniz dalgalarının oluşumuna yol açmaktadır.

Çizelge 1. Deprem ile Tsunaminin karşılaştırmalı büyüklüğü (magnitüdü) ve yer değiştirme miktarı.

Deprem Büyüklüğü (Magnitüdü)	Tsunami Büyüklüğü (Magnitüdü)	Ortalama Yerdeğiştirme (m)
6	Hafif	
6,5	1	0.5-0.075
7	0	1-1.5
7,5	1	3-4
8	2	5-6
8,25	3	8-12

Tsunamiler için uyar sistemi

Ancak, tsunamiler oluştuktan sonra meydana gelen dalgaların güzergâhı ve kıyılara varış süresi kestirilebilir. Buna göre bazı uyarı sistemleri devreye konulabilir. Şekil 7'de, Havaii için hazırlanmış bir tsunami-uyarı sisteminin haritası görülmektedir. Dalga ve sismograf istasyonlarının yerleştirildiği bir ağla Pasifik Okyanusu'nun büyük bir bölümünü izleme olanağı vardır.



Şekil 7. Havaii, Hanolulu çevresine yerleştirilmiş dalga ve sismograf istasyonlarının yerini gösteren tsunami uyarı sistemi (Keller, 1979).

Tsunamilerin neden olduğu can ve mal kaybı, özellikle kıyılarda büyük oranlara ulaşmaktadır. Limanlardaki kayıklar, gemiler, kıyılarda yapılmış binalar, ulaşım sistemleri ve diğer yapılar yerle bir olmaktadır. Ayrıca, kıyı boyunca yer alan bitkiler ve hayvanlar uzun süre tsunamilerin yarattığı hasarlardan etkilenmektedir. Şekil, 8'de Alaska'da 1964 depreminde bir demiryolunun tsunami sonrası durumu görülmektedir.

Şekil 8. Alaska'nın Seward yöresinde 1964 depreminin yarattığı bir tsunaminin demiryolunda meydana getirdiği hasarın görünümü (Keller, 1979).

SONUÇLAR

Kıyılar, yerin hızlı değişimin olduğu en dinamik alanlardan biridir. Buna karşın, halkın büyük bir bölümü kıyılarda yaşamaktadır. Bu bölgeler, günümüzde de göç alan yerlerdir. Kıyılarda oluşan tehlikelerin başında tropikal kasırgalar gelmektedir. Hızı yüksek olan rüzgârın oluşturduğu bu tehlikelere akarsu taşkınları da eşlik eder. Meydana gelen tehlikeler binlerce can ve milyarlarca mal kaybına yol açmaktadır.

Tsunamiler, denizlerde oluşan depremlerin yarattığı sismik deniz dalgaları olup saatte binlerce kilometrelik bir hıza sahiptirler. Dalgaların yüksekliği, oluştuğu yerde 0.5 m iken, kıyılara ulaştığında 15 m'yi aşmaktadır. Tsunamilerin de ani gelişen yer süreçlerinden biri olması nedeniyle büyük oranda can ve mal kaybına yol açmaktadırlar.

Akarsu taşkınları depremler ve tropikal kasırgalara göre daha yavaş ve başlangıçta küçük hasarlara neden olan erozyon, uzun vadede kıyıları tehdit eden önemli doğal bir afettir. Kıyı setleri, dalga kıranlar, yapay sırtlar ve diğer yapıların inşası, kıyılardaki erozyonun denetiminde yararlı olmaktadır. Çoğu sorunlar, nüfusun yoğun olduğu yerlerde ortaya çıkmaktadır.

Kıyılardaki tehlikelerin denetimine ilişkin düzenlemeler, tehlikenin türleri ve boyutları ile toplumun eğitim düzeyi ve deneyimine bağlı olarak geliştirilebilir.

Dünya'nın gelişmemiş bölgelerinde tropikal kasırgalara ilişkin düzenlemeler, sınırlı olarak yaşama geçirilmektedir. Gelişmiş bölgelerde ise hasarların potansiyelini en alt düzeye indirmek amacıyla koruma yapılarıyla ilgili düzenlemeler, ya da arazi-kullanımı, uyarı ve boşaltma gibi seçenekler geliştirilmektedir.

Tsunamilerden korunmak amacıyla, uyarı sistemlerinin devreye konulması son derece yararlıdır. Özellikle denizlerde depremin olduğu yerlerden yeteri kadar uzaktaki alanlarda yaşayanlar, iyi bir haberleşme ağı olması koşuluyla tsunamilerin olumsuz etkilerinden korunabilirler.

Gelişmiş bölgelerde kıyılardaki erozyon ile ilgili düzenlemeler, deniz duvarları, yapay engeller ve diğer yapıların inşasına bağlı olarak yapılabilmektedir. Bu yapılar için ''teknolojik bir hazırlık'' gerekmektedir. Yapılacak hazırlık, yörede yaşayanların bilgilendirilmesini ve ikna edilmesini ve katkı koymasını da içermelidir.

Yapılan çalışmalar, Türkiye'de son 3000 yıllık süreçte 90'dan fazla tsunaminin oluştuğunu göstermektedir. Buna bağlı olarak başta Marmara denizi başta olmak üzere ülkemizi çevreleyen bütün

denizlerde yaşanabilecek şiddetli bir depremin 3-6 metre yüksekliğinde dalgalar oluşturacağı tahmin edilmektedir (https://www.fikir.gen.tr/tsunami-nedir-tsunamilerin-asamalari-nelerdir-turkiyede-meydana-gelen-tsunamiler/ ;21 Temmuz 2019, saat 14.50).

KAYNAKLAR

Baker, E. J. 1974. Attitudes toward hurricane hazards on the Gulf Coast. In Natural hazards: local, national, global ed. G. F. White, pp. 30-36. New York: Oxford University Press.

Cumhuriyet Bilim Teknik, 2005, Tsunami: Cumhuriyet gazetesi Bilim ve Teknik dergisi, Sayı, 962, s.6.

Demirtaş, R. ve Erkmen, C., 2000, Deprem ve jeoloji: TMMOB jeoloji mühendisleri odası yayınları, no.52, Ankara, 390s.

https://www.facebook.com/groups/geologyandgeologists/?multi_permalinks=7065738560110693 (27 Kasım 2021).

Islam, M. A. 1974. Tropical cyclones: coastal Bangladesh. In Natural hazards: local, national, global, ed. G. F. White, pp. 19-25. New York: Oxford University Press.

Keller, E. A., 1979, Environmental Geology, Second Edition; Charles E. Merril Publishing Company, A Bell and Howell Company, Columbus, Ohio 43216, USA, 589 s.

Larsen, J. I. 1973. Geology for planning in Lake Coumy Illinois. Illinois State Geological Survey Circular 481.

Plummer, M.C ve McGeary, 1988, Physical Geology, WMC Brown Publishers, Dubuque Iowa.

Yiğit, F., 2003, Deniz Seviyesi Değişimleri: Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, 7, 28-31.

White, G. F., 1974, Natural Hazards: Local, national, global, New York: Oxford University Pres, USA.

Wilkinson, B. H. and McGowen, J. H. 1977. Geologic approaches to the determination of long-term coastal recession rates, Matagorda Peninsula, Texas. Environmental Geology: 359-365.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

12. 7. VOLKANİK FAALİYETLER, YANARDAĞLAR

GENEL BİLGİLER

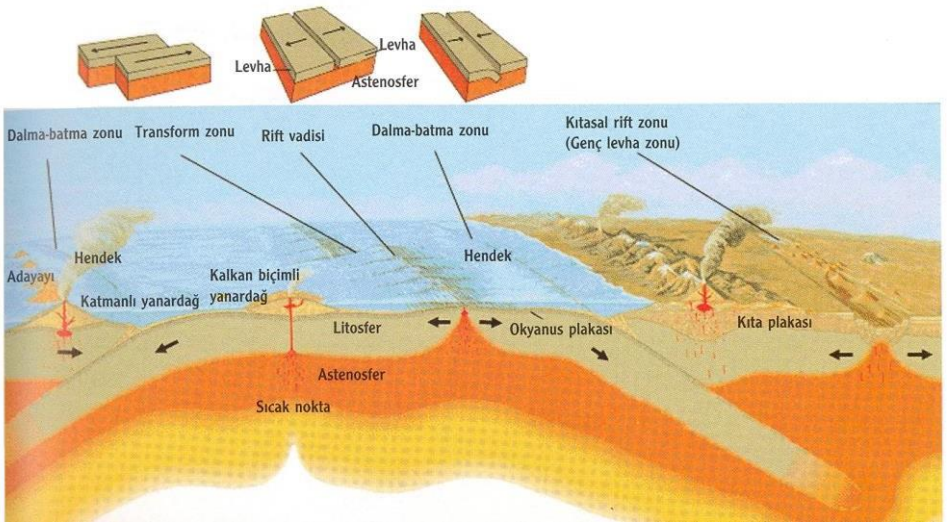
Güncel volkanik faaliyetler de insan yaşamına ve çevreye büyük ölçüde zarar veren doğal afetlerden biridir. Aktif volkanizma, günümüzde diri olan kırık ya da yarıklardan yerin içindeki mağmanın yüzeye doğru yükselerek çıkması sonucu meydana gelmektedir. Volkanizmanın geliştiği yerler, genel olarak gerilme rejiminin egemen olduğu levha içi ya da kenarlarıdır.

Yanardağlar, korku veren görkemli bir görünüme sahiptir. Yeryüzünde diri, sönmemiş, uyur ve sönmüş volkan türleri yaygındır. Tarihte oldukça büyük kentleri yok etmiş volkanik püskürmeler bilinmektedir. Örneğin MÖ 79 yılında İtalya'da Vezüv püskürmesiyle Herculaneum kenti, volkanik piroklastik kaya gereçleri tarafından tümüyle örtülmüştür. Bu kentin yeri, bir ölçüde aşınmadan sonra 1748 yılında açığa çıkmıştır. Pele (Martinik) yanardağının 1902 yılında çıkardığı lav ve piroklastik kayalar nedeniyle St Pierre kenti yok olmuş ve 30.000 kişi ölmüştür. Diri yanardağların faaliyetleri sonucu buhar, kızgın gaz, ılık-kaynar su, gazlı (çoğun Co_2 li) su, lav ve piroklastik gereçler ortaya çıkmakta, bu ürünler de çevreyi yoğun biçimde etkilemektedirler.

İtalya'da Pizzoli kentinde su düzeyinin yükselmesi ile volkanik etkinlik arasında bir ilişki olduğu ileri sürülmüştür. Buradaki yer sarsıntıları da ergimiş lavın devinimine yorumlanmıştır. 1970 yılında Pizzoli kentinde yer yer kayma, çatlak ve bel verme gibi deformasyonlar arttığından evler oturulamaz hale gelmiş, dolayısıyla kentin büyük bir bölümü boşaltılmıştır. Volkanik araziler çeşitli mineraller açısından zengin olduğundan, çok verimli tarımın da yapılabildiği alanlardır. Dolayısıyla volkanik faaliyetler sonucu oluşan can ve mal kaybına karşın insanlar bu bölgelerden uzaklaşamamışlardır.

VOLKANİK FAALİYETLERİN OLUŞUMU

Yerkabuğu çeşitli levhalardan oluşmaktadır. Bu levhalar sürekli devinim halindedir. Kimi yerlerde levhalar birbirinden uzaklaşmakta kimi yerlerde ise levhalar birbirine doğru yaklaşmaktadırlar. Levhaların uzaklaştığı yerlerde yılda birkaç cm'lik hızlarla mağmanın yükselerek yeni yerkabuğunu oluşturduğu rift vadilerinde ve levhaların birbirine doğru hareket ettiği dalma-batma bölgelerinde yanardağlar oluşmaktadır (Şekil 1). Bazı yanardağlar ise magmanın levhanın belli bir noktasından yükseldiği sıcak noktalar üzerinde gelişmektedir. Bir volkanik faaliyetin ilk evresinde önce hafif daha sonra yoğun bir biçimde gaz çıkışı meydana gelir (Şekil 2).



Şekil 1. Volkanik faaliyetlerin oluştuğu yerler, genellikle levha kenarlarıdır (Yılmaz, 2001).

Şekil 2. Volkanik faaliyetin gaz püskürme evresi (Yılmaz, 2001).

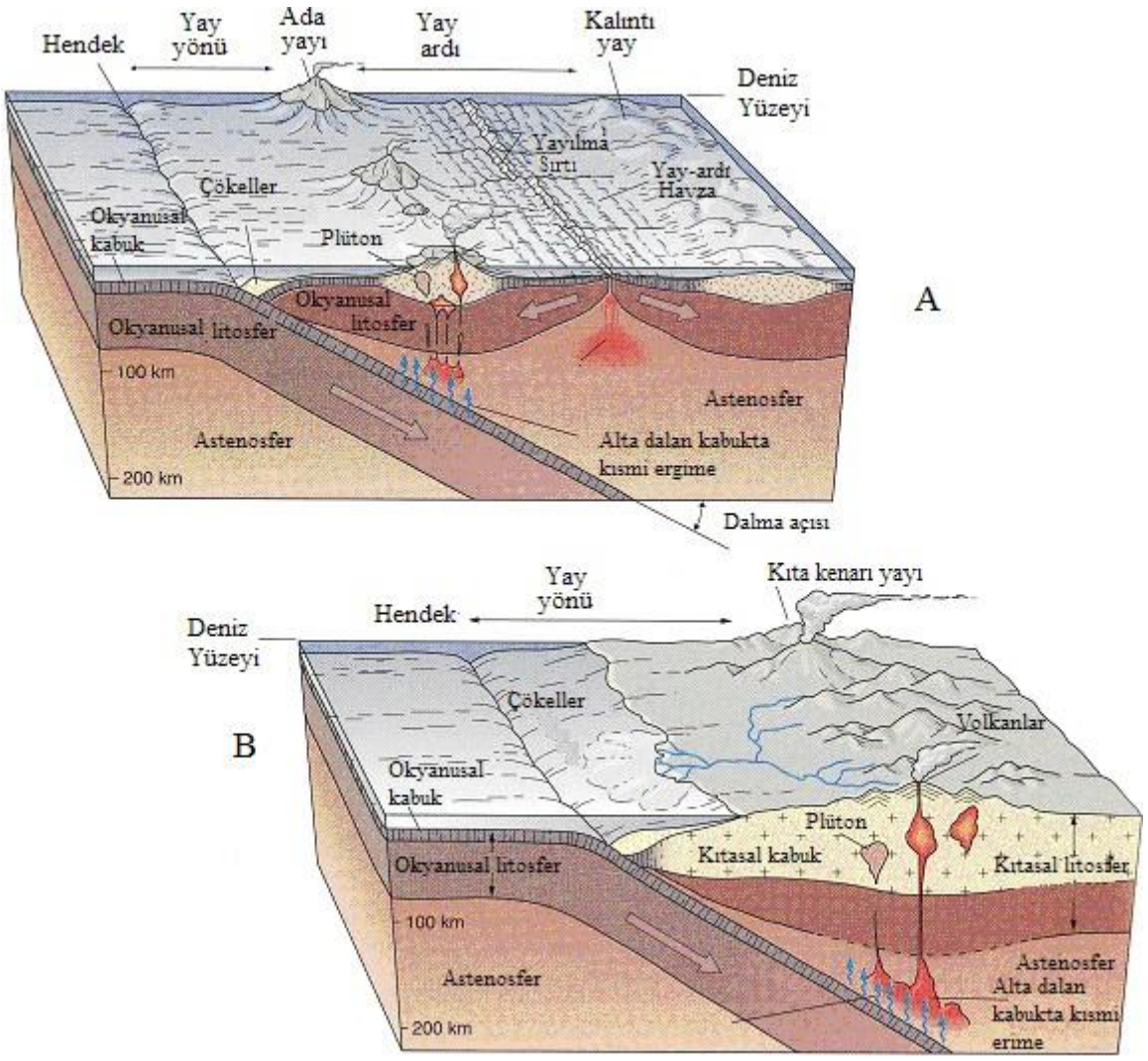
Volkanik faaliyetin ikinci evresinde genellikle piroklastik gereçler ortaya çıkar. Bu gereçlerin hafif olanları, uzun süre havada kalarak güneş ışınlarının dünyaya ulaşmasını engellerler. Bu da iklim değişiminde belirleyici olmaktadır.

Volkanik faaliyetin üçüncü evresinde ise lavlar fışkırır. Genellikle 800 ^{0}C- 1200 ^{0}C dolayında bir sıcaklığa sahip olan lavlar, aktıkları alanlarda bulunan tüm canlıları yakar ve yok eder. Ayrıca yerleşim birimleri volkanik örtünün altında kalabilir.

Yanardağlar hangi süreçlerle ve nerede oluşmaktadır? Yer, sekiz büyük ve bir dizi küçük levhalardan yapılıdır. Bu levhalar, üst mantonun üst kesimi (astenosfer) ile yerkabuğundan oluşmakta ve sürekli devinim halindedir. Yaklaşık 20- 200 km kalınlığa ulaşan levhalar yılda birkaç cm'lik hızlarla magmanın yükselerek yeni yerkabuğunu oluşturduğu rift vadilerinde birbirinden ayrılmaktadır.

Ancak levhaların birbirine doğru devindiği yerlerde biri diğerinin altına dalar. Yanardağların çoğu levhaların birbirinden uzaklaştığı ya da yaklaştığı levha sınırları boyunca görülür. Yakınsama iki okyanusal levha arasında olabileceği gibi, bir okyanusal levha ile bir kıtasal levha arasında da olabilir (Şekil 3). Ancak dalan levha mantonun içinde ergimeye uğrar ve ergiyen malzeme genişleyerek yukarıya doğru hareket eder. Bu da yanardağların oluşumuna yol açar.

Bazı yanardağlar ise magmanın levhanın belli bir noktasından yükseldiği sıcak noktalar üzerinde gelişir. Dolayısıyla yanardağlar, levha sınırlarında ya da levha içinde kabuğun inceldiği yerlerdeki zayıf noktalardan magmanın yükselerek yeryüzüne ulaşması sonucu oluşmaktadır. Volkanlar, levhanın hareket etmesiyle zamanla yay biçiminde adalar zincirini oluştururlar. Havaii Adaları buna iyi bir örnektir.



Şekil 3. Levha kenarları ve oluşan yanardağların konumu; **A,**Yakınsayan iki okyanusal levha; **B,** Yakınsayan kıtasal levha ile okyanusal levha ve oluşan yanardağlar (Davidson ve diğerleri, 1997).

Öte yandan iklim değişikliğinin volkanik patlamaların sıklığını etkilediği iddia edilmektedir. Günümüzde yürütülen çalışmalar iklimdeki göreceli olarak küçük boyuttaki değişikliklerinin bile önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Genel olarak değişimin (Şekil 4) "buzullar çekildikten sonra yüzey basıncının düştüğü ve magmaların yüzeye daha kolay yayıldığı ve böylece püskürdüğü" şeklinde tanımlanmaktadır (https://yesilgazete.org/gezegen-isindikca-volkanik-patlamalarda-artisa-hazir-olun/ (21 Aralık 2017).

Şekil 4. Buzulların egemen olduğu alanlarda gelişen volkanizmadan bir görüntü https://yesilgazete.org/gezegen-isindikca-volkanik-patlamalarda-artisa-hazir-olun/ (21 Aralık 2017).

VOLKANİK FAALİYETLERİN ÇEVRESEL ETKİLER

Diri yanardağların çevresinde ya da yakın dolayında yaşayanlar, bu doğal afetten önemli ölçüde etkilenmektedirler. Yanardağların çıkardığı lavlar ve piroklastik gereçler, yerleşim birimlerini, can ve mal kaybını; çıkan gazlar ise tüm eko-sistemi tehdit etmektedirler. Onun için yanardağların etkinlikleri ve püskürme durumları titizlikle izlenmeli ve yanardağlara yakın yerlerdeki yerleşim birimleri boşaltılmalıdır.

Volkanik faaliyetlerin etkileri birincil ve ikincil etkiler olmak üzere ikiye ayrılabilir. ***Birincil etkiler,*** volkanik faaliyetin doğrudan etkileri olup, lav akıntıları, piroklastik gerçeklerin yanardağlardan fışkırıp yere düşmesi ve ortaya çıkan gazlarla partiküllerin oluşturduğu etkilerle temsil edilirler. ***İkincil etkiler*** ise birinci etkilerin ürünü olup daha çok canlıların yaşamı ve sağlığı ile ilgilidir.

Birincil etkiler

Lavlar, yaklaşık 1200°C'lik bir sıcaklığa sahip olup, güzergâ hları üzerindeki tüm canlı yaşamı yok etmektedir. Piroklastik gereçler ve ortaya çıkan volkanik bombalar canlılar için en ölümcül felaketleri yaratmaktadırlar. Hiçbir yapı ya da canlı volkanik bombaların çarpmasına dayanamaz.

Lavlarla piroklastik gereçlerin yanı sıra ince taneli partiküllerin oluşturduğu çamur volkanları oluşabilir. Taman yarımadası (Stanitsa- Rusya Federasyonu)' da Yer' in gözü olarak bilinen çamur volkanları, Yer' in derinliklerinde ısınan suyun fay ve kırıklar boyunca yer yüzeyine çıktığı yere dair bir görüntü Şekil 5'de görülmektedir. Ayrıca, volkanik bir faaliyetin ürünü olarak, su buharı, CO_2 ve SO_2 başta olmak üzere H_2S, H_2, CO, HCl, HF, ve He ortaya çıkmaktadır. Bu gazlar da hava kirliliği yaratmaktadır.

Şekil 5. Taman yarımadası (Stanitsa- Rusya Federasyonu)' da Yer' in gözü olarak bilinen çamur volkanları: Yer' in derinliklerinde ısınan suyun fay ve kırıklar boyunca yeryüzeyine çıktığı yer (Geology HERE' den).

İkincil etkiler

Lavlar ve piroklastik gereçler daha sonra yüzey ya da yeraltı sularıyla karıştığında çamur halinde akışa geçebilir ve çeşitli heyelanların gelişmesine kaynaklık edebilir. Bu etkilerde önlerindeki köprü, otoyol ve mesken gibi yapılara zarar verir.

Gazlar ve hava kirliliği daha sonra toprak ve su kirliliği vasıtasıyla flora ve fauna üzerinde çeşitli hastalıkların gelişmesine yol açmaktadır.

Yanardağların atmosfer üzerindeki etkileri kimi zaman yalnızca yakın çevreleri ile sınırlı değildir. Kimi püskürmeler geniş bölgelerde, hatta dünyanın her yerinde izlenebilen ***küresel iklim değişimlerine*** yol açmaktadır. Yanardağların püskürttüğü çeşitli partiküllerin yanı sıra su buharı, karbondioksit ve kükürt dioksit gazları atmosfere yayılır ve dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesiyle tüm atmosferin bileşiminde değişikliklere yol açabilir. Özellikle kükürt dioksit ve karbon dioksit gazları sera etkisi yaratarak iklimde ***küresel ısınma*** olarak tanımlanan değişimlere yol açmaktadırlar.

Öte yandan kükürt dioksit atmosferde su ve oksijenle birleşerek sülfirik asite dönüşür. Sülfirik asit de stratosferde çok hızlı bir biçimde sıvılaşarak ince sülfat aerosolleri oluşturur. Bu aerosoller, uzaya geri yansıtılan güneş ışınımı miktarını artırırlar. Böylece, dünya atmosferinin alt bölümleri ya da troposferin soğuması gerçekleşir. Bu tür gelişmeler de sonuç olarak ***küresel soğuma*** olarak tanımlanan değişimlere yol açmaktadır.

Örneğin, Pasifik okyanusunda 1816 yılında seri halde meydana gelen volkanik faaliyetler sonucunda tüm atmosfere yayılan kirleticiler nedeniyle Güneş ışınlarının yer yüzeyine ulaşamadığı ve 1816 kışının 1817 yılı kışına eklendiği bilinmektedir. Benzeri olaylar 1906 yılında da yaşanmıştır. Diğer jeolojik kayıtlar da gözetildiğinde küresel ısınma ile volkanik faaliyetler arasındaki ilişkinin tüm jeolojik zamanlarda Yer'in iklimini ve ekosistemleri, yani canlı yaşamı derinden etkilediği söylenebilir.

VOLKANİK FAALİYETLERİ ÖNCEDEN KESTİRME ÇALIŞMALARI

Bugün diri yanardağların eteklerinde milyonlarca insan yaşamaktadır. Böyle bir durumda da volkanik etkinliklerden korunmak için volkanik püskürmelerin kökenleri, tipleri, oluşum mekanizmaları ve periyotları hakkında bilgiye gereksinim vardır. Bu bilgi de konuyla ilgili personel yetiştirmek, potansiyel püskürmeleri kaydeden aygıtların alt yapısını oluşturmak ve planlı, sağlıklı, bilimsel bir eşgüdüm gerçekleştirmekle sağlanabilir.

Volkanik etkinlikleri bugünkü bilgilerle önceden kestirme olanağı yoktur. Ancak, geçmişte olan püskürmelerin iyi irdelenmesi ve püskürme periyotlarının bilinmesi bazı yararlı bilgilerin üretilmesine katkı sağlar. St Helen Yanardağı'nın 1980 yılındaki püskürmesine ilişkin birimler ve yapılar haritalanmıştır (Şekil, 4). Havai'de kimi zaman aralıklarında 3 yıllık periyotlarda püskürmeler olmuştur. Vezüv'de 1900 yıllık kayıtlarda belli bir periyotluk bulunmamıştır (Foley ve diğerleri, 1993).

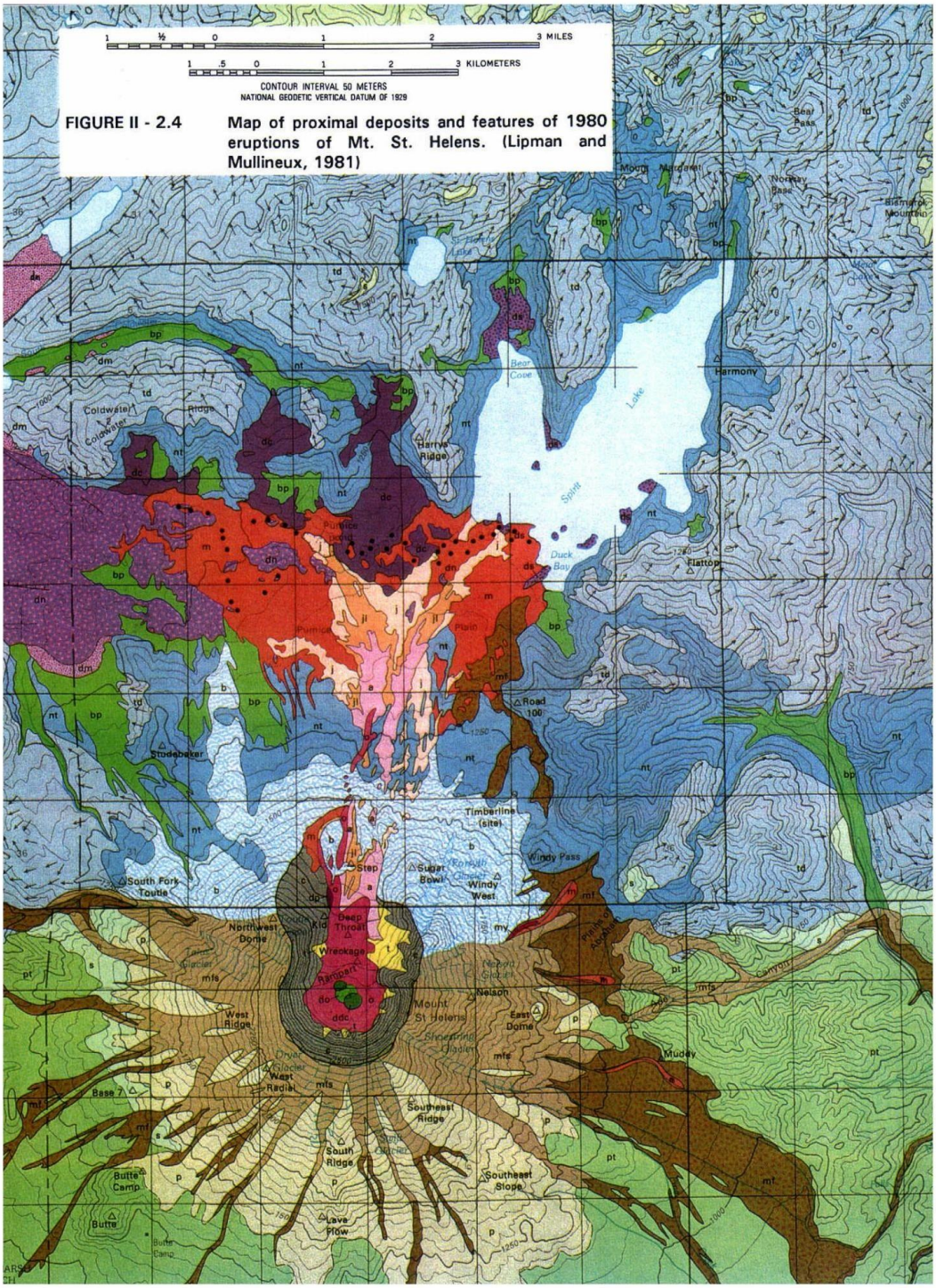
Püskürme öncesinde fumarol gazlarının (özellikle HCI ve SO_2) oranlarındaki değişim önemlidir. Sıcak kaynaklarda su sıcaklığının artması, yeni sıcak kaynakların ortaya çıkması, kablo ya da radyo dalgalarında iletişimin hızlanması kaçınılmaz olarak ortaya çıkar. Yerel mıknatıs gücünde düşme, sıvı magma sıcaklığı nedeniyle elektrik değişimlerinin olması, püskürme öncesinde volkanik alanın zemininde yükselme ve belirli biçim değişimleri olması, uydu görüntülerinde morötesi ışınlardaki değişim volkan yakınındaki arazilerden hayvanların, tıpkı depremlerde olduğu gibi kaçıştıkları da gözlenmiştir (Foley ve diğerleri, 1993).

Sonuç olarak, potansiyel püskürmeleri önceden kestirebilmek için çok yönlü bu çalışma zorunludur. Volkanik etkinlikler, başka bir anlatımla volkanik depremler de tektonik depremler gibi yerkabuğunu oluşturan levhaların devinimi sonucu oluşmaktadır. Onun için tektonik depremleri önceden kestirmek üzere kullanılan sismograf ağının kurulması, sıcaklık ve jeodezi ölçümlerinin düzenli yapılması da püskürmelerle tektonizma arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Diri olan volkanların son derece ayrıntılı olarak izlenmesi ve haritalanması gerekmektedir. Bu konularda yapılmış olan pek çok çalışmalar vardır. Yapılan ayrıntılı çalışmalardan biri de St. Helen yanardağı'nın jeolojik haritasıdır (Şekil 5).

St. Helen yanardağında çeşitli tarihlerde olan püskürmelerin ürünleri ve yayılımları haritalanmıştır. Çizelge 1'de, Şekil 5'deki haritada yer alan simgeler ve püskürmeye ilişkin tüm ayrıntılar sunulmuştur. St. Helen yanardağında patlamanın olduğu 18 Mayıs 1980'den önceki yapılar ve patlamanın olduğu evreyi karakterize eden başlıca kayatürleri ve oluşan yapıların yanı sıra, yörenin volkanik püskürmeden etkilenme oranları irdelenerek haritalanmıştır (Foley ve diğerleri, 1993). Ortaya çıkan morfoloji gözetilerek, bir sonraki patlamanın da nasıl bir yayılım göstereceği kestirilebilir.

Sonuç olarak, insan yaşamına zarar veren volkanik faaliyetlerden korunmak için öncelikle bu yanardağlarla ilgili tarihi kayıtları ve son yıllarda oluşan volkanizmanın ayrıntılarını özenle haritalamak gerekmektedir. Ayrıca genel olarak, bir püskürmenin ön evresindeki bulguların gözden geçirilmesi planlamada yararlı olacaktır.



Şekil 5. St. Helen yanardağının 1980 yılındaki püskürmesine ilişkin yapılar ve oluşan birimlerin haritası (Lipman ve Mullineaux, 1981; Foley ve diğerleri, 1993'den alınmıştır).

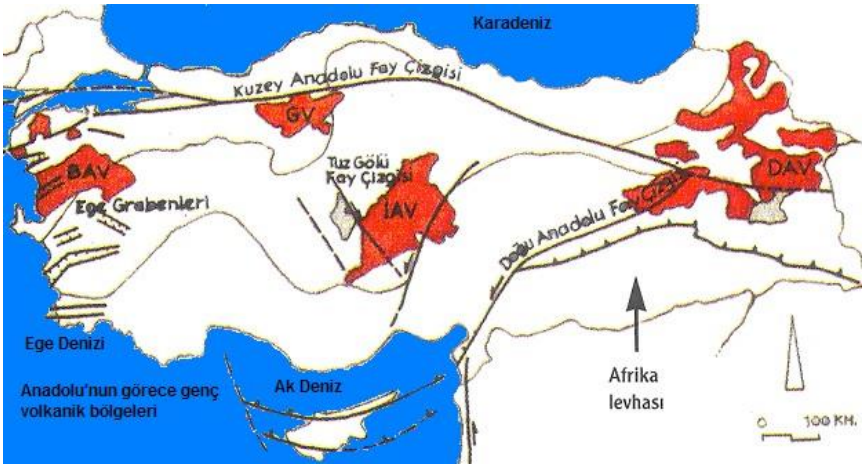
Çizelge 1. Şekil 5'de yer alan simgelerin açıklamaları (Lipman ve Mullineaux, 1981; Foley ve diğerleri, 1993 ' ten alınmıştır).

Simgeler	Açıklamalar
t.....	**Yamaç çökelleri:** 18 Mayıs 1980 püskürmesinde, kraterin iç duvarları üzerindeki yamaç konilerini oluşturan ve çapı 1 m'ye ulaşabilen gereçlerden yapılı kırıntılı kayalar, **Lavlar:** 1980-Ekim ve Kasım aylarında püskürmüş gözenekli lavlar,
ddc.....	27 Kasım 1980'den, 2-4- Ocak 1981'e değin faal olan çıkış yerleri,
do.....	18-19 Ekim 1980' de faal olan çıkış yeri, **süngerimsi piroklastik-akıntı çökelleri:** kül ve sünger lavlardan yapılı katılaşmamış gereçler-18,25 Mayıs, 12 Haziran, 22 Temmuz, 7 Ağustos ve 16-18 Ekim 1980 tarihlerinde püskürmüşlerdir,
o.....	16-18 Ekim 1980 çökelleri-piroklastik-akıntı gereçlerinden yapılı birkaç küçük dil,
a.....	7 Ağustos 1980 çökelleri-Ekim çökellerine oldukça benzer,
Jl.....	22 Temmuz 1980 çökelleri-piroklastik akıntı gereçlerinden yapılı sünger ve cüruf yönüyle zengin gereçler,
J.....	12 Haziran 1980 çökelleri-sünger bloklarını içeren ve doku yönüyle daha geniş çökellere benzeyen gereçler,
my.....	25 Mayıs 1980 çökelleri-küçük piroklastik cepler,
m.....	18 Mayıs 1980 çökelleri-oldukça yaygın olan çok sayıda piroklastik akıntı birimleri **Çamur akıntısı yapıları:** 18 Mayıs 1980 çamur akıntıları (laharlar) ile ilişkili aşınıp taşınmanın (erosion) ve çökelme yapıları olup çoğu çamur akıntıları, öğleden sonra volkanik konilerin üzerinde oluşmuştur.
mf.....	Çamur akıntısı çökelleri-kötü boylanmalı, bloklu çökeller olup yamaçlardan çığlar halinde yayılmış ya da püskürme ile havaya yükselip yere düşmesiyle oluşmuş gereçler,
mfs.....	Çamur akıntısı-süpüren alanlar-volkanın çıkış yerlerine yakın ve çökelmenin olmadığı yamaçlar ve dik kanallar, akıntıların hızlı olduğu alanlar olup çamur akıntısı çökelleriyle dokanakları geçişlidir. **18 Mayıs 1980 Volkanik patlamanın doğrudan yapıları:** Stratigrafik olarak karmaşık çökellerden yapılı ve volkanizmadan etkilenmiş 600 km^2'lik alan
b.....	Ağaç dizisi üstüne yükselmiş patlama çökeli-volkanik koninin sadece ağaç çizgisi üstüne yükselmiş ve haritalanmış çökeli temsil etmekte katılaşmamış, dokusal ve bileşim yönüyle değişken piroklastik gereçler olup volkanik patlamanın doğrudan ürünüdür. Çökelin kalınlığı, volkana yakın yerlerde 1 m'den kalın, kenarlarda birkaç milimetre kadardır.
bp.....	Patlama ürünü piroklastik-akıntı çökelleri-kötü boylanmalı, çoğu ince taneli, vadi tabanlarını doldurmuş yaklaşık 20 m kalımlıkta piroklastik gereçler
s.....	Yanma zonu-50-200°C arasındaki sıcaklıkta, bitki örtüsünün sıcaklık nedeniyle yok olduğu saçak zonla temsil edilmektedir. Yanma zonunun ayrıntılı geometrisi yerel topoğrafya tarafından belirlenir.
td.....	Ağaç-aşağı zonu- Büyük ağaçların lavların devinimi doğrultusunda kökünden devrilip yıkıldığı, volkanın yaklaşık 10 km dolayındaki bir zonu temsil etmektedir
nt.....	Ağaç-yer değiştirme zonu-Gereçlerin yanal hareketiyle, ağaçların da gerçekten taşındığı, çökelmeden çok, aşınıp taşınmanın (erosion) etkin olduğu volkana en yakın bir zonu temsil etmektedir. **Tane akması (debris)-çığ çökelleri:** Eski lav akıntılarının ürünü gereçler içeren ve 18 Mayıs 1980 püskürmesinin başlangıcında St. Helen yanardağının kuzey yamaçlarında gelişmiş heyelanların ana çökellerini temsil etmektedir. Katılaşmamış kötü boylanmalı karışık kökende gereçlerden yapılı çökellerdir.
dp.....	Yakınsak birim-kratere yakın, süngerimsi piroklastik-akıntılarından yapılı tümsek küçük alanları oluşturan çökeller
dn.....	Kuzey Toutle birimi-%95'inden çoğu taneli gereçlerden oluşan düzensiz iç yapılı akıntılar, 150 m genişlikte ve 40 m yükseklikte tümsek alanlar yada aynı boyutlarda çöküntülerde yer alan çökeller
ds.....	Spirit Lake birimi-100 m kalınlıkta aglomera yapılı tümsek yapılar
dc.....	Coldwater Ridge birimi-St. Helen dağının kuzey yamacında 18 mayıs 1980 püskürmesinden önce yörede yer alan yüzeye yakın ve etrafı ince taneli volkanitlerden oluşan çökeller tarafından kuşatılmış bloklar
dm.....	Kenar birimi-North Toutle birimi (dn) tarafından kesilmiş, 100 m kalınlıkta çökellerden yapılı vadi dolguları **18 Mayıs 1980 öncesi çökeller:** Daha eski volkanit ve plütonik kayalar
c.....	Yeni kriter duvarları-Duvarlar başlıca ince katmanlı andezit ve bazalt akıntılarından yapılı olup yer yer dasitik piroklastik çökel ara katkılarını içerirler
p.....	St Helen yanardağının (ağaç çizgisi üzerindeki) yamaçları-1980 püskürmesinden az etkilenmiş alanlar
pt.....	St. Helen yanardağının ormanlı (düşük kodlu) yamaçları ve komşu alanları-1980 püskürmesinden oldukça az etkilenmiş alanlar

TÜRKİYE'NİN ÖNEMLİ BAZI YANARDAĞLARI

Ülkemizin genç yanardağları, Anadolu bugünkü biçimini aldıktan sonra gelişen yani Neotektonik evrenin ürünü olan yanardağlardır. Anadolu, yaklaşık 100 milyon yıl evvel kuzeyde Avrasya, güneyde Gondwanaland kıtalarının bulunduğu okyanusal bir alanı temsil etmekteydi. Bu okyanusal alan, zamanla tüketilmiş ve iki kıtanın çarpması sonucu Alp-Himalaya dağ kuşağı oluşmuştur.

Alp-Himalaya dağ kuşağının Anadolu'daki kesimi, halen kıtaların çarpışmasına yol açan yaklaşık K-G doğrultulu sıkışmanın güdümündedir. Çarpışma ile başlayan Neotektonik evre sırasında Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve diğer genç fayların yanı sıra genç volkanizma da gelişmiştir. Günümüzde aktif olmayan, ancak tarihi devirlere kadar etkinliğini koruyan yanardağlar genç volkanizmanın ürünüdürler. Türkiye'nin önemli diri fayları ve yanardağları Şekil 6'da görülmektedir. Önemli yanardağlardan bazılarına ilişkin ayrıntılar ise aşağıda sunulmuştur.



Şekil 6. Türkiye'nin genç volkanitleri ve önemli diri fayları (Yılmaz, 2001).

Batı Anadolu Volkanitleri (BAV)

Ege graben sisteminin kuzeyinde ve güneyinde genç volkanitler yüzeylenir. ***Kula volkanizması,*** Uşak yöresinde yaklaşık 1 milyon yıl önce başlamış ve olasılıkla atalarımızın da tanık olduğu bir volkanizmadır. Son lav püskürmesi yaklaşık 10 000 yıl önce gerçekleşmiştir. Volkanik cüruf konileri, alçak düztabanlı kraterler (maarlar) ve bazaltik lav akıntıları belirgin yapılardır.

Orta Anadolu Volkanitleri (OAV)

OAV, genel olarak Erciyes Dağı ve Hasan Dağı ile temsil edilir. Kapadokya olarak bilinen bölgeyi içine alıp "peri bacaları" ve kalın volkanik örtüsüyle dikkati çeker.

Hasan dağı 14 milyon yıl önce oluşmaya başlamış ve son olarak 8800 yıl önce püskürmüştür. ***Erciyes dağı*** ise yaklaşık bir milyon yıl önce oluşmaya başlamış ve günümüzde herhangi bir volkanik etkinlik gözlenmese de yerbilimciler onu sönmüş bir yanardağ olarak kabul etmiyor. Erciyes dağı pek çok sayıda parazit konilerden oluşmaktadır.

Doğu Anadolu Volkanitleri (DAV)

Doğu Anadolu'daki yanardağlar yaklaşık 6 milyon yıl önce, bölgenin K-G doğrultuda sıkışmasıyla kabuk kalınlaşması ve bunun sonucunda meydana gelen kırıklardan magmanın yükselmesiyle oluşmaya başlamıştır. Bölgenin en önemli yanardağları Ağrı, Tendürek, Süphan ve Nemrut yanardağlarıdır. Bazılarında halen gaz ve buhar çıkışı gözlemleniyor. Helyum izotop

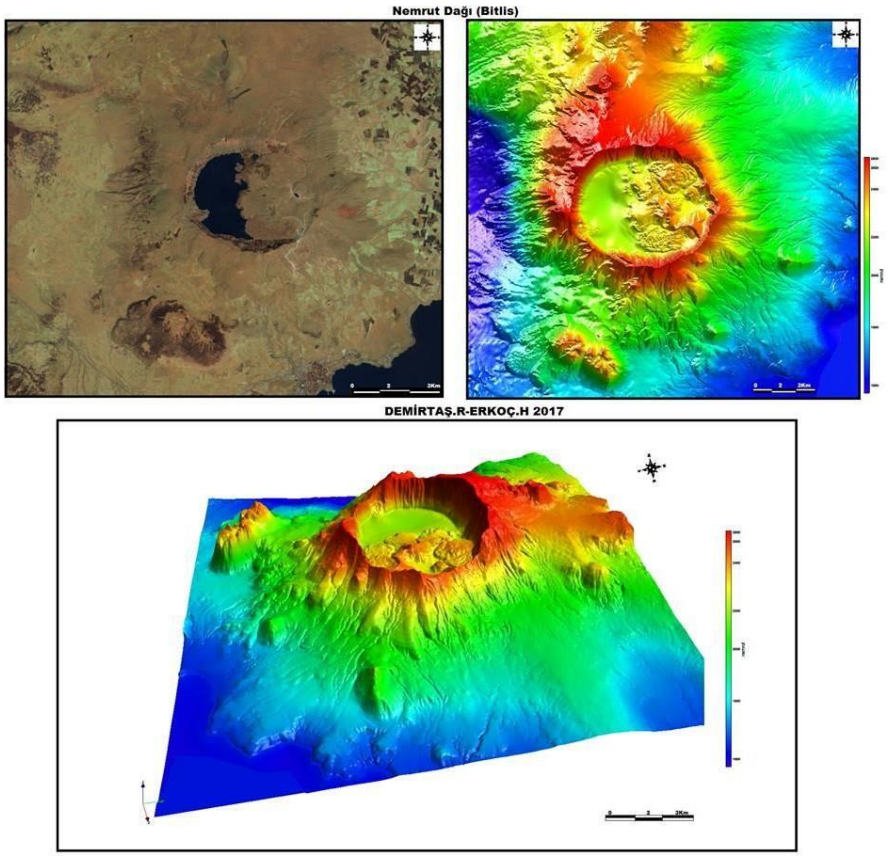
analizleriyle manto kökenli oldukları saptanan gaz çıkışları bu yanardağların halen "canlı" olduklarını ancak "uyku" dönemini geçirdiklerini göstermektedir.

Ağrı dağı, birbirini izleyen değişik volkanik süreçler sonucunda oluşan büyük, konik bir yanardağ olup iki konik zirveye sahiptir. Her iki, konik zirve arasında K-G doğrultulu bir kırık yer alır. İncil'de yer alan Nuh'un gemisinin bu dağın tepesine oturduğuna ilişkin öyküler sıkça anlatılır. Ağrı dağı'nda volkanik etkinlik 10 bin yıl öncesine dek sürmüştür.

Tendürek dağı, "kalkan biçimli" bir yanardağ olup, dağın tepesinde iki volkanik kaya yer almaktadır. Doğudaki volkanik koni zamanla krater gölüne dönüşmüştür. En son 2500 yıl önce Tendürek dağı bazalt bileşimli lav püskürtmüştür.

Süphan dağı, katmanlı bir ya da olup Van Gölü'nün kuzeyinde iki önemli fay hattının kesiştiği noktada yer almaktadır. Yamaçlarında yan yana gelişen üç volkan konisine "Süphan'ın kız kardeşleri" adı verilmiştir. Günümüzden 2 milyon yıl önce oluşmuş, yaklaşık 10 bin yıl önce son etkinliğini göstermiştir.

Nemrut dağı, Van gölü'nün batı kıyısına 10 km mesafede olup tipik bir kalderaya sahiptir. Nemrut dağı'nın 1441 yılında şiddetli bir biçimde püskürdüğüne ilişkin tarihsel kayıtlar bulunmaktadır. Bu tarihten sonra Nemrut dağı "uyku" dönemine girmiş, kaldera tabanında gözlenen sıcak termal sular ve gaz çıkışları dışında herhangi bir volkanik etkinlik gözlenmemiştir. Nemrut Dağı ya da Nemrut Stratovolkanı, Bitlis İlinin Tatvan ilçesinde, Doğu Anadolu'da yer alan yüksek dağlardan biri olup Van Gölü'nün batısına düşer. Nemrut, uyuyan aktif bir yanardağdır ve 1441 yılında son kez lav çıkışı olmuştur. Tepesindeki kraterde Nemrut Gölü yer alır. Krater etrafında, en yüksek tepe olan Sivritepe 2935 m, Doğu Nemrut Tepesi 2625 m, güneydeki Tursuktepe 2828 m ve batıda Nemrut Dağı Tepesi 2801 m yüksekliktedir. Nemrut Stratovolkanı'nın uzay görüntüsü ve çeşitli açılardan morfolojisi Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. *Nemrut Stratovolkanı* (https://www.facebook.com/gisturkcbs/).

Güneydoğu Anadolu Volkanitleri (GAV)

Güneydoğu Anadolu'da geniş bir yayılım sunan ***Karacadağ bazaltları*** magmanın yaklaşık K-G doğrultulu bir açılma kırığından çıkması sonucu oluşmuştur. Tabla biçiminde olan yanardağ, 120 km çapında dairesel bir yapı sunmaktadır. Diyarbakır surları, bu bazaltlardan yapılmıştır.

Sonuç olarak, ülkemizde yer alan volkanların hemen hemen tümü sönmüş görünümde olduğundan, volkanik faaliyetler açısından önemli doğa kaynaklı bir afet beklenmemektedir.

KAYNAKLAR

Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997, Exploring Earth: A introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.

Ersoy, D., 2003, Volkanik Felaketler: Mavi Gezegen, Sayı 7, s.24-27.

Fevzioğlu, Y., 2000, Doğal Felaketler, Pencere Yayınları, İstanbul, 144s.

Foley, D., McKenzie, G.D ve Utgard, R.O., 1993. Investigations in Environmental Geology, Macmillan Publishing Company, Newyork, USA, 304 s.

http:// geology.SO megs.com/geopro/volc1/volc1.html

http:// volkanoes.usgs.gov/

http:// www.burtenshaws.co.uk/tim/geography/m 1.PDF

https://yesilgazete.org/gezegen-isindikca-volkanik-patlamalarda-artisa-hazir-olun/ (21 Aralık 2017).

Rose, S. V., 2000, Volkanlar: TÜBİTAK Popüler Bilim kitapları,195, Başvuru kitapçığı 18 (Çev. Ülkün Tansel), Ankara, 64s.

Yılmaz, A., 2001, Yanardağlar ve Türkiye'nin yanardağları: Bilim ve Teknik, TÜBİTAK aylık popüler bilim dergisi, No. 406, s.36-45.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Bölüm 12. 8. EROZYON

GENEL BİLGİLER

Erozyon, genel olarak rüzgâr ve yağış gibi atmosferik süreçler ya da insan faaliyetleri sonucunda kaya ya da topraktan yapılı gereçlerin bulundukları yerden kopup, parçalanıp taşınmaları sonucunda doğal dengenin bozulmasıdır.

Depremler, tropikal kasırgalar ya da taşkınlarla karşılaştırıldığında **erozyon** genellikle sürekli, tahmin edilebilir ve denetlenebilir niteliklerine sahip doğa kaynaklı bir afet olması ile ayrılır. Bununla beraber, kıyılarda gelişen erozyon, toprağın verimliliğine oldukça zarar veren ve denetlenmesi pahalı olan bir afettir. Özellikle kıyılardaki yapılaşma erozyonu hızlandırmaktadır. Örneğin ABD'nin doğu ve batı kıyıları, oldukça farklı yapılara sahiptir. Bu farklılık, kıyıların levha tektoniği çerçevesindeki konumundan ileri gelmektedir. Batı kıyıları, Kuzey Amerika levhasının aktif kenarını temsil etmekte olup dik ve sarp bir topografyaya sahiptir. Böyle kıyılarda erozyon da şiddetli olmaktadır (Şekil, 1). Ayrıca, kıyıların çıkıntılı yerleri, girintili yerlere göre dalga enerjisinden de daha çok etkilenmektedir (Şekil, 2).

Şekil 1, Kaliforniya'nın kıyıları boyunca erozyona neden olan kırılma dalgalarından (breaking waves) bir görünüm (https://tr.depositphotos.com/71044017/stock-photo-waves-and-rocks-in-the.html 30 Temmuz 2019, saat 11. 30).

Şekil 2, Kırılma dalgaları ve dalgaların sörf zonunu gösteren bir görüntü. Erozyon, dalga enerjisinin daha kolay etkilediği çıkıntılı yerlerde şiddetli olmaktadır. https://tr.depositphotos.com/71044017/stock-photo-waves-and-rocks-in-the.html 30 Temmuz 2019, saat 11. 30).

Dolayısıyla, dalga yarattığı erozyonunun etkisi, kıyıların çıkıntılı yerlerinde girintili olduğu yerlerine göre daha fazla olacağı, hatta girintili yerlerde aşınmadan çok çökelmenin olabileceği söylenebilir.

ABD'nin Doğu kıyıları ise Kuzey Amerika kıtasının pasif kıta kenarını temsil etmekte olup, tektonik açıdan sakindir. Bu nedenden dolayı, kıyılar boyunca çeşitli adalar, geniş boğazlar ve lagünler gibi morfolojik yapılar gelişmektedir. Suyun açık denizlerden lagünlere doğru ilerlemesi, fırtına dalgalarının önce adalara çarpıp kırılması sonucu koylarda hızının düşmesi nedeniyle ileri düzeyde erozyona yol açmamaktadır.

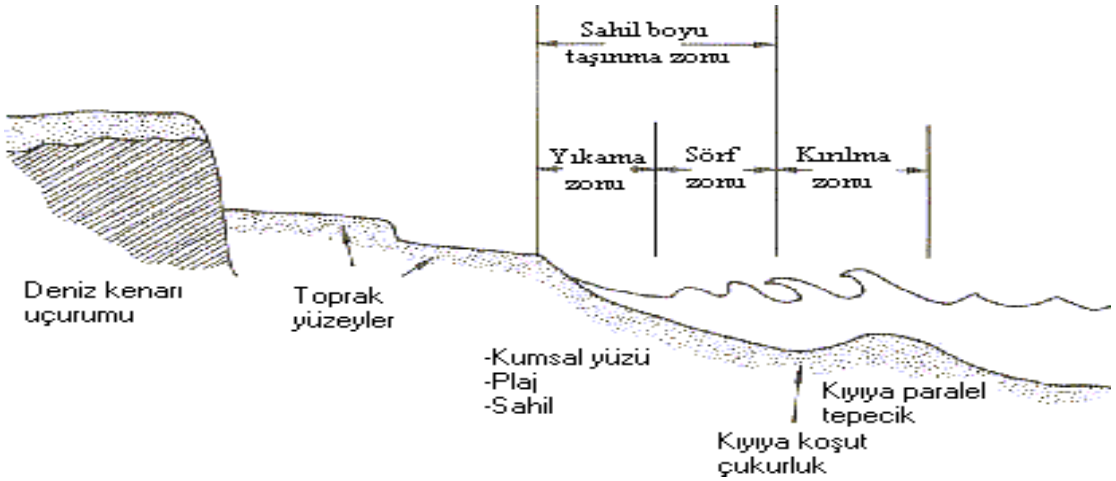
Ülkemizin denizlerle çevrili ve aktif bir dağ kuşağında olması nedeniyle erozyondan büyük ölçüde etkilenmektedir. Dolayısıyla, can yakıcı olan böyle bir doğa kaynaklı afetin ayrıntılı olarak incelenmesinde yarar görülmektedir.

PLAJLARIN YER ŞEKİLLERİ

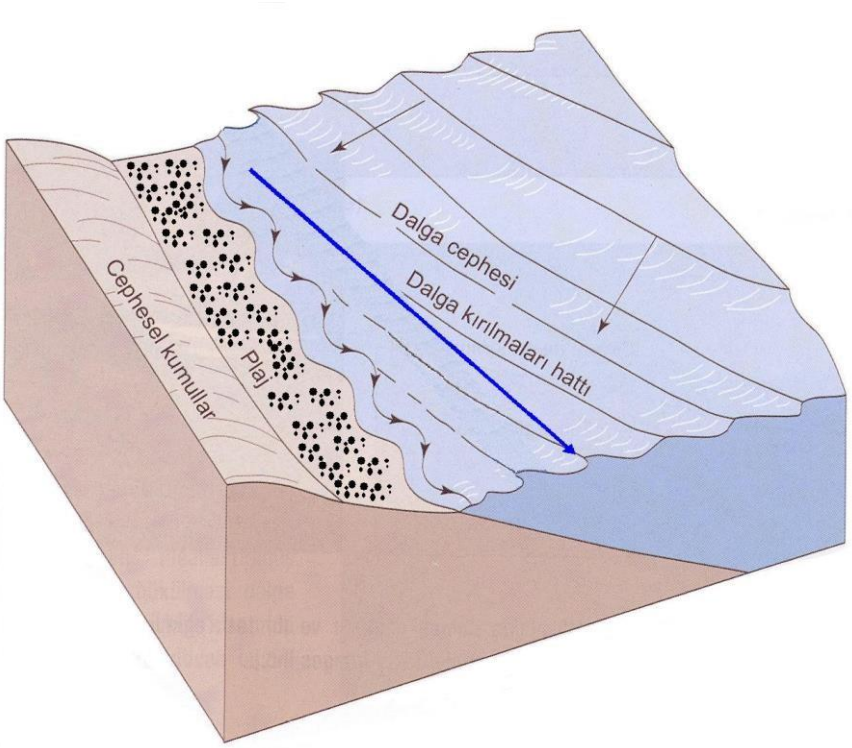
Plajlardaki kumların durağan olmadığı bilinmektedir. Dalgalar, sürekli olarak yıkama ve sörf zonlarında kumların devinimine neden olmaktadır (Şekil, 3). Dalgalar kıyıya doğru belli bir açı ile ilerlediğinde, kıyıya koşut çukurluklardaki ve plajlardaki kumlar, kıyıların taşınma zonu (littoral transport zone) boyunca yer değiştirmektedir (Şekil, 4). ABD'nin Doğu ve Batı Kıyıları boyunca taşınma zonu genellikle güneye doğru olup, taşınma miktarı ise yılda 200-300 bin m^3 olmaktadır.

Kıyılara ilişkin başlıca terimler Şekil 3 ve 4'de sunulmuştur. Plajlar, kara yönünde deniz kenarı uçurumu (Sea cliff or Dune eline) ile son bulmakta, toprak yüzeyler (Berms) ise hemen uçurumun deniz tarafında yer almaktadır. Toprak yüzeyler dalgaların çekilmesi sırasında meydana gelen çökelimin eserleridir. Plaj yüzü (beach face), toprak yüzeyin denize doğru alçaldığı yerden başlar ve kıyıya koşut çukurluğa (longshore trough) kadar uzanır. Bu çukurluktan sonra, kıyıya koşut bir sırt (longshore bar) yer alır. Dalgaların kırılma zonu (breaker zonu) sırt boyunca yer alır. Sahil boyunca taşınma zonu (zone of littoral transport) ikiye ayrılır. Deniz tarafındaki bölüm sörf zonu (surf zone) kara tarafındaki bölüm yıkama zonu (swash zone) olarak adlandırılır.

Kıyılardaki taşınma ağırlıklı olarak yıkama zonunda olmaktadır. Sörf zonu, dalgaların kırıldıktan sonraki kıyı ortamının bir parçasıdır. Kırılma zonu, denizden karaya doğru ilerleyen dalgaların en çok yükseldiği ve duraysız olduğu bir bölgedir. Eğer bir kıyı geniş ve hafif eğimli bir yapıda ise kıyıya koşut pek çok çukurluklar ve sırtlar birbirini izler.



Şekil 3, Plaj ve kıyılardaki dalga faaliyetleri ve meydana gelen başlıca arazi şekilleri (Keller, 1979).



Şekil 4, Kıyılara koşut çukurlarda ve plajlarda kumların taşınma doğrultusunu gösteren blok diyagram (Keller, 1979).

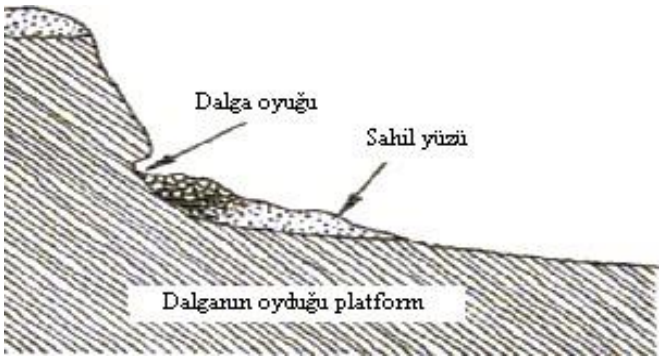
KIYILARDA EROZYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kıyılarda izlenen kumlar ve diğer kırıntılı kayalar, genellikle akarsuların çıkış yerlerindeki kuvars ya da feldispatça zengin kayaların günlenmesi ve ayrışıp akarsularla taşınarak kıyılara ulaşmasıyla meydana gelen oluşuklardır. Bu oluşukların dağlardan kıyılara ulaşmasını önlemek üzere kimi zaman barajların inşa edilmesine gereksinim duyulmuştur.

Kıyı boyunca deniz kenarı uçurumun bulunduğu yerlerde, bu uçurumların hem denizel hem de karasal süreçlere açık olmaları nedeniyle bazı ek erozyon sorunları ortaya çıkabilir. Yani karasal ve denizel süreçler birlikte çalıştığında erozyon daha şiddetli olur. Uygun olmayan yöntemler de işe karışınca sorun daha karmaşık bir hale gelir.

Şekil 5'de Kaliforniya'nın güneyinde Santa Barbara yöresinde bir deniz kenarı dikliği, plaj ve dalgaların oyduğu bir platform görülmektedir. Dikliğin kayaları, deniz yönünde dike yakın bir eğime sahip katmanlı şeyllerden yapılıdır. Dalga oyuğundan ortaya çıkan gereçler bir süre dikliği dalgaların etkisinden koruyabilmektedir. Ancak oyma süreçleri ileri bir evreye ulaşırsa, yer kayması kaçınılmaz olur.

(a)



(b)

Şekil 5, Kaliforniya'nın güneyinde Santa Barbara yöresinde deniz kenarı dikliği, plaj ve dalgaların oyduğu platformun görünümü (a) ve enine kesiti (b), (Keller, 1979).

Deniz dikliklerinin yanı sıra biyolojik süreçler, günlenme (weathering), yağışlar ve heyelanlar da erozyonu hızlandırmaktadır. Mollusklar, deniz kurtları ve bazı süngerler, kayaların bir biçimiyle erozyonunu kolaylaştıran biyolojik süreçleri yaratmaktadır. Günlenme, kayaların direncini azaltan önemli bir faktör olup erozyonu hızlandırmaktadır. Yağışlar, deniz yamaçlarının erozyonunu büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca, deniz dikliklerini oluşturan kayaların ayrışmaya karşı dayanımlılığı da erozyonun miktarını belirlemektedir.

Deniz kenarı sarplıklarının erozyonunda insan faaliyetlerinin rolü yadsınamaz. Örneğin, kentleşme, dolayısıyla kıyıların betonlaşması yağışların toprak tarafından emilmesini önlemektedir. Bu da ciddi erozyon sorunları yaratmaktadır. Deniz dikliklerinin üzerindeki arazinin kullanım biçimi de önemlidir. Böyle yerlerdeki bahçelerin ya da çimenlerin sulanması, yamaçların sulardan etkilenerek duraysız bir hale geçmesine neden olabilir. Ayrıca deniz diklikleri boyunca sızan sular kayaların dayanımlılıklarını da azaltarak erozyonu kolaylaştırmaktadır.

Duvarlar, binalar, yüzme havuzları ve parklar da oluşturdukları ek yük nedeniyle deniz kenarı sarplıklarının duraylılığını azaltmaktadır. Dolayısıyla, kıyılar boyunca yapılaşmaları azaltmak üzere katı kurallara gereksinim vardır. Daha önce yapılan hatalardan ise ders alınmalıdır.

Kıyılardaki erozyonun hızı, deniz dikliğinin yüksekliğine ve kayaların dayanımlılığına bağlı olarak değişmektedir. Yılda 2 m' den 15-20 cm' ye kadar değişen erozyon hızları bilinmektedir. Almanya'nın kuzey denizinde çok çarpıcı bir deniz dikliği irdelendiğinde, bu dikliğin kolayca erozyona uğrayan bir kumtaşından yapılı olduğu ve MS 900 yılında 200 km uzunluğunda sahip iken, MS 1900 yılında uzunluğun 3 km' ye düştüğü belirlenmiştir. Böyle durumlarda, kıyılar, beton deniz duvarları inşa edilerek korunmalıdır.

Sonuç olarak, kıyılar boyunca meydana gelen erozyonun doğal bir süreç olduğu, büyük ölçüde kaynak ve zaman ayırmadan denetlenemeyeceği bilinmelidir. Üstelik yapılacak yatırımın bir garantisi yoktur. Dolayısıyla erozyonla yaşamayı öğrenmeliyiz. Ayrıca, deniz dikliğinin üstündeki alanlarda suların denetlenmesi ve yük oluşturacak yapılardan kaçınmanın yolları irdelenmelidir. Betondan ya da büyük kayalardan yapılı deniz duvarları da bir önlem olabilir, ancak görünümleri güzel değildir.

Akarsu boyunca uygun yerlerde barajların yapılması düşünülebilir. Böylece akarsuların çıkış yerlerindeki kayaların aşınıp taşınarak kıyılara ulaşması önlenebilir. Ayrıca yağışların çok olduğu mevsimlerde, erozyonun da şiddetli olabileceği gözetilerek bazı önlemlerin zamanında alınmasına özen gösterilmelidir. Gerekli önlemler alınmazsa kıyılardaki yollar ve konutlar da erozyondan zarar görebilir.

Tropikal kasırgalar, deniz düzeyi değişimleri ve insanın doğal kıyı süreçlerine müdahalesinin kıyılardaki erozyonun gelişmesinde önemli rolleri her zaman olmuştur.

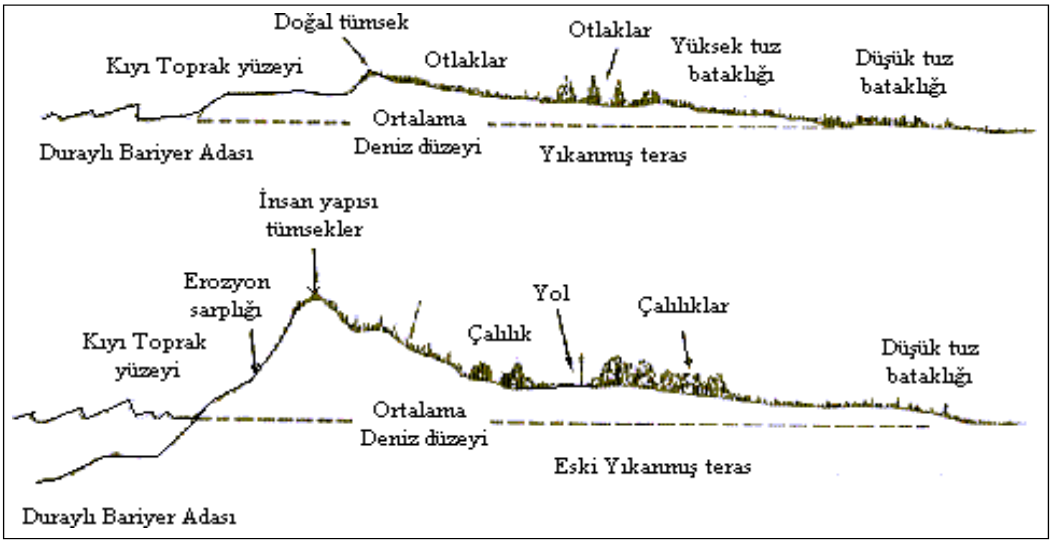
Tropikal kasırgalar ve sert fırtınalar, plaj erozyonu, kıyı önü sistemlerinin erozyonu ve bariyer oluşturan adaların gerisinde yeni koyları oluşturarak kıyı çizgisini büyük ölçüde değiştirmektedir. Ayrıca, fırtınalar kıyılardaki tümsekleri yararak, plajın gerisinde erozyon sonucu birikmiş çökelleri delta ilerisine de taşıyabilirler.

Deniz düzeyi yükselmesi (dünya çapında) günümüzde östatik olup kıtaların deviniminden bağımsız olarak gelişmektedir. Deniz düzeyi yükselme oranının, görüş birliği olmamakla beraber yılda 1 cm'den az olduğu kabul edilmektedir. Kimi kıyıların, deniz düzeyi yükselme oranı az da olsa zamanla deniz sularının altında kalabileceğine ilişkin kanıtlar bilinmektedir (Godfrey and Godfrey, 1973).

İnsanın doğal kıyı süreçlerine müdahalesi de kıyıların önemli ölçüde erozyona uğramasına neden olmaktadır. Çoğu sorunlar, nüfusu yoğun ve sanayinin geliştiği bölgelerde ortaya çıkmaktadır. Örneğin Florida'nın doğu kıyılarındaki Palm plajı ve Miami Plaj'ında önemli ölçüde erozyon olmaktadır. Gereçlerin taşınma yönü kuzeyden güneye doğrudur. Yapılan bazı yapay bariyerler (beach groins) kısmen de olsa erozyonu denetlemektedir. Böylece kıyıda inşa edilmiş pek çok sayıda binalar erozyondan korunabilmektedir (Şekil 6).

Şekil 6, Kıyıda inşa edilmiş yapay bariyerlerin görünümü (https://ncseagrant.ncsu.edu/coastwatch/previous-issues/2010-2/winter-2010/legal-tides-update-on-north-carolinas-ocean-policy/ ; 30 Temmuz 2019, saat 12.10).

Ayrıca erozyonu denetlemek üzere kıyı boyunca bazı yapay sırtların oluşturulması mümkündür. Şekil 7, doğal bir sırtın ya da yapay bir sırtın oluşturulması ile erozyonun denetlenebildiği göstermektedir. Temel yaklaşımlar, deniz dalgalarının kıyılardaki erozyonunu en alt düzeye indirmeye yöneliktir. Yapılan çalışmalar, erozyonun denetiminin çok pahalı bir iş olduğunu göstermektedir. Bununla beraber, erozyon nedeniyle denizin ilerlemeye devam ettiği durumlarda, yol ve binaların kıyılardan daha uzak ve erozyondan korunabileceği yerlere kaldırılması gerekmektedir.

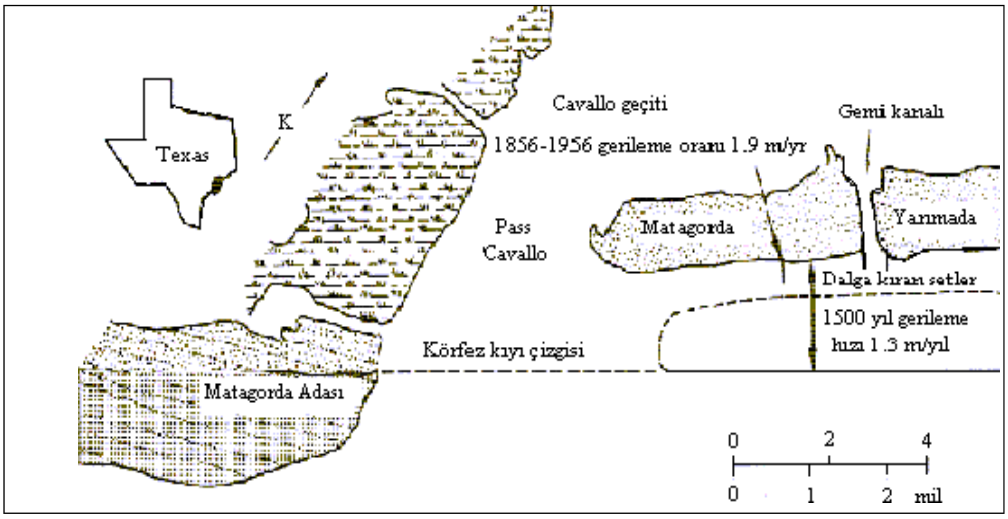


Şekil 7, Kuzey Carolina bariyer adalarının enine kesitleri üstteki kesit doğal bir bariyeri, alttaki kesit ise yapay bir bariyeri temsil etmektedir (Dolan, 1973).

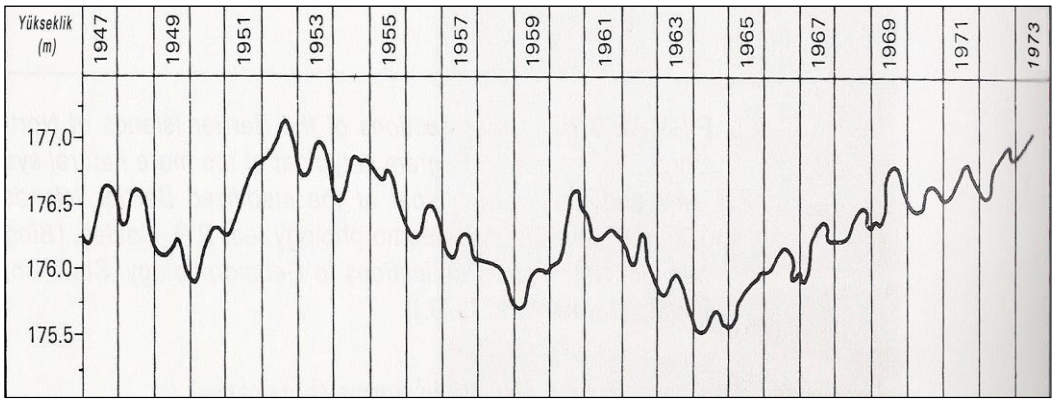
Kıyılardaki erozyon miktarını kestirmek üzere çeşitli çalışmalar yapılabilir. Uzun yıllar boyunca kıyının ne ölçüde ilerlediğini ya da gerilediğini, kıyıdaki su çizgisinin yerini belirleyip izleyerek, her yıl meydana gelen değişim miktarını ölçüp, gelecekte kıyının nerelere ulaşabileceğini kestirmek mümkündür. Gürcistan'ın Batum yöresindeki Karadeniz kıyılarının durumu 1920'li yıllardan beri izlenmektedir (Dr. Tengiz Lazarashvili, 1996 kişisel görüşme). Türkiye'de henüz bu konuda derli toplu çalışmalar yapılmamaktadır.

Teksas'ın Matagorda Yarımada'sının güney-batı kıyılarındaki erozyon oranları hesaplanmıştır (Wilkinson ve McGowen, 1977). Buna göre 1856-1956 arasında meydana gelen erozyon oranı, tarih öncesi dönemlere göre % 34 daha yüksektir. Son 1500 yıl içinde yarımada yaklaşık 2 km çekilirken, Matagorda adası ise aynı oranda büyümüştür (Şekil,8). Erozyonun büyük bir bölümü, tüm yarımadanın körfez yönüne göç etmesine neden olan fırtınalar dolayısıyla olmuştur. Daha sonra gemi kanalının açılması ve dalgakıran setlerinin yapılması erozyon oranlarının değişmesine neden olmuştur.

Büyük göllerin kıyıları boyuna, erozyon peryodik bir gidiş sunabilir. Özellikle yağışların ortalamanın üstünde olduğu yerlerde, göllerin düzeyi yükselerek kıyılardaki tüm yapılara zarar vermektedir. Şekil 9'de Michigan Gölü'nün 1947 ile 1973 yılları arasındaki ortalama su düzeylerini göstermektedir. Göl düzeyinin 1964'ten beri yükselmekte ve 1952 yılındaki en yüksek düzeye erişmekte olduğu söylenebilir.



Şekil 8, Teksas'ın Matagorda Yarımadası'nın güney-batı kıyılarındaki erozyon oranları (Wilkinson ve Mc Gowen, 1977).



Şekil 9, Michigan Gölü'nün 1947 ile 1974 yılları arasındaki ortalama su düzeyleri (Keller, 1979).

Göl ve deniz kıyılarındaki su düzeyinin yükselmesi, suya yakın yerlerdeki tüm yapıların hasar görmesine yol aşmaktadır. Dolayısıyla su düzeyinin yükselme hızı ve gelecekte etkileyebileceği yapıları gözeterek gerekli önlemler önceden kestirilmelidir.

Erozyonun şiddeti, kıyı çizgisinin uzanımına, açık denizlerdeki suyun derinliğine ve kıyılardaki kayaların erozyona karşı dayanımına bağlı olarak değişmektedir. Erozyonu denetlemek amacıyla yapılan bariyerlerin olabildiğince kıyıları döven dalgaların şiddetini düşürecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca tehdit altında olan binaların ve diğer yapıların boşaltılıp, taşınabilir malların daha emin yerlere kaydırılması da bir çözüm olabilir.

Tsunamilerin yıkıcı etkilerinin yüksek olduğu Pasifik okyanusu kıyılarında yer alan ülkeler, kendi aralarında ortaklaşa çalışmalar yapmaktadır. Bu ortak çalışmaların sonucunda, tsunami tehlikesini belirlemek üzere ***Tsunami Erken Uyarı Sistemi***'ni geliştirmişlerdir. Buna göre depremin oluşturduğunu bölgedeki sismogramlar yardımıyla titizlikle saptanıp, yerini Hawaideki merkeze bildirmektedir. Merkezde, gelen bilgiler değerlendirilerek, tehdit altında olan yerleşim bölgelerindeki

yerel yönetimler uyarılmaktadır. Böylece can ve mal kaybının en alt düzeyde olması için çaba harcanmaktadır. Bu tür sistemler, özellikle depremin merkez üssü yeterince uzakta ve tsunaminin geliş zamanı da yeterince uzun ise sağlıklı bir şekilde işlenmektedir.

Sonuç olarak, erozyon sonucunda taşınan topraklar, taşındıkları tarım alanlarının verimsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Erozyon, yalnız toprak kaybına neden olmakla kalmayıp akarsular ve sellerle taşınan çeşitli gereçlerin göl ortamında birikmesiyle göllerin doğal dengesini de bozar. Erozyon sonucunda, göl ortamına taşınan çökeller, çeşitli kimyasal ve biyolojik etkileşimler sonucu gölleri kirletmekte ve göl ekosistemlerinin bozulmasına yol açmaktadır. Toprağı yok eden ve niteliğini bozan süreçler ile toprağın korunması hususunda Çepel'e (2003) kulak verelim:

TOPRAĞI YOK EDEN VE NİTELİĞİNİ BOZAN SÜREÇLER

Toprağı yok eden ya da özelliklerinin bozulmasına neden olan süreçler başlıca toprakların aşınıp taşınması (erozyon), toprak kirlenmesi ve çölleşme biçiminde sıralanabilir.

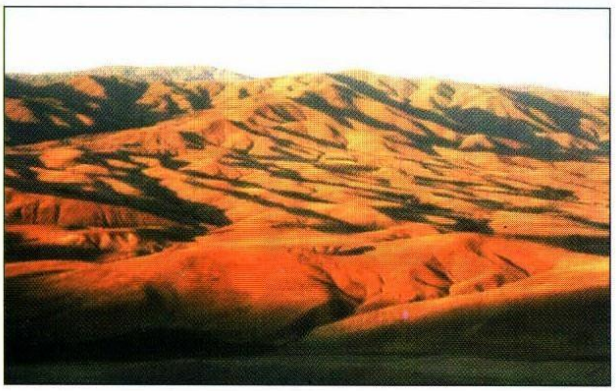
Toprağın aşınıp taşınması (erozyon)

Erozyon, yağışlarla ve rüzgârla toprağın aşındırılıp, taşınması ve başka yerlerde biriktirilmesi sürecidir. Erozyona yol açan unsurlar, doğal olanlar ya da insandan kaynaklananlar (antropojen) olabilir.

Doğal olanlardan iklim (kuraklık, sağanak yağışlar, yağış miktarı ve şiddeti, yağışın mevsimlere dağılışı, rüzgâr hızı); topografya yani yeryüzü şekilleri (arazi eğimi, yamacın uzunluğu, denizden yükseklik); toprak özellikleri (toprak taneciklerinin büyüklüğü, kırıntılılık, organik madde miktarı gibi); kayatürü yapısı, doğal bitki örtüsü (çayır, mera, makilik, orman) erozyonun belirleyici unsurlarıdır.

İnsandan kaynaklanan erozyon artırıcı etkiler ise, bitki örtüsünün tahribi, toprak işleme ve bitki yetiştirmede yapılan teknik hatalar ve yanlış arazi kullanımıdır (orman ve mera yetişen yerde tarım yapma gibi). Bunlara ayrıca, ulusal tarım politikalarının olmayışı ve bu politikaların iyi geliştirilememesi ile hızlı nüfus artışı eklenebilir.

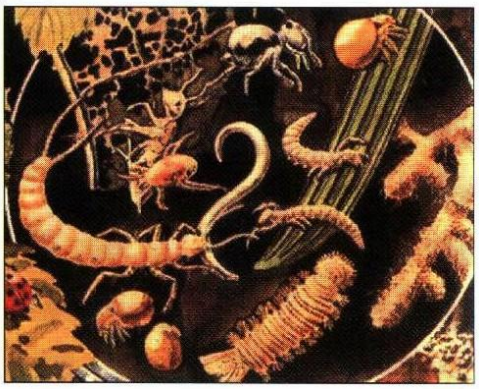
Bu gün çoğu ülkede erozyonla kaybedilen toprak miktarı, aynı süre içinde doğal yolla oluşan toprak miktarından çoktur Ülkemizde, erozyonla bir yılda meydana gelen toprak kaybı miktarının, dünya ortalamasının 2 katı olduğu bildirilmektedir. Ülke yüzeyinin tümünde yılda 1,2-1,4 milyar ton toprağın, özellikle çıplak, bitki örtüsü tahrip olmuş ve dik eğimli olduğu yerlerde (Şekil, 11), erozyonla aşınıp taşındığı, ilgili kuruluşlar tarafından bildirilmektedir.



Şekil 11. Üzerindeki bitki örtüsü tahrip edilmiş ve dik eğimli yerlerde şiddetli erozyon sonucunda milyarlarca ton toprak, deniz ve göllere taşınmaktadır (TEMA Arşivi; Çepel, 2003'den).

Toprak taşınması yalnız bir ülke sınırları içinde kalmayıp, anakaralar (kıtalar) arasında da olmaktadır. Bunun miktarının yılda 100-400 milyon ton olduğu bildirilmektedir.

Bütün Dünya'da tarım alanlarından, yılda toplam olarak 24,4 milyar ton üst düzey toprağı erozyonla yok olmaktadır. Bunun %52'si 4 büyük tarım ülkesine (ABD, Rusya, Hindistan ve Çin) aittir. Toprak erozyonu ile sadece toprak değil onu verimli hale getiren, ona can veren milyarlarca mikro ve makro organizmalar (Şekil 12) da yok olmaktadır.



Şekil 12. Toprak erozyonu sadece "Ekmek teknemiz" i değil, milyarlarca "Toprak mimarı" nı da yok etmektedir (Çepel, 2003).

Nüfus artışı ile toprak kaybı oranları tersine işlemektedir. Örneğin, 1972 yılında yapılan Stockholm Zirvesi ile 1992 Rio Zirvesi arasında geçen 20 yıllık sürede, beslenecek insan sayısı 1,6 milyar artmıştır. Buna karşılık aynı süre içinde kaybedilen tarım toprağı miktarı yaklaşık 500 milyar tondur. Bunun anlamı, alan olarak her yıl ortalama 60 milyon hektarlık ekin alanının yok olmasıdır. Erozyonun tarım alanlarında meydana getirdiği zararın bütün dünyada toplam olarak yılda 400 milyar dolar olduğu bildirilmektedir (Abramovitz, 1997).

Ülkemizde ise sadece ve sadece buğday ekilen topraklardan, yılda meydana gelen 250 gramlık toprak kaybının, 100 milyon TL'nin eşdeğeri olduğu, Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine dayanarak hesaplanmıştır. İstanbul'da 250 gram bile olamayan bir ekmeğin fiyatı 200 bin TL olduğuna göre (Nisan 2002 itibarıyla), parasal değer olarak sadece buğday tarlalarından kaybolan toprak değerinin, yılda yaklaşık 20 Trilyon TL olduğu anlaşılmaktadır (Çepel, 2003).

Yukarıda verilen değerler, aşırı nüfus artışına karşın, toprak miktarının da giderek daha da azalacağını, böyle bir süreçte, açlık sorununun da nasıl büyüyeceğini göstermektedir.

Toprak kirlenmesiyle meydana gelen toprak kayıpları

Toprak kirlenmesi, toprağın verim gücünü düşürecek, uygun toprak özelliklerini bozacak bir süreçtir. Bu süreç, çevre kirleten maddelerin dolaylı ve doğrudan doğruya toprağın yüzü ile temasa gelmesi ya da toprağın içine girmesiyle gerçekleşir. Bunlar katı, sıvı ve gaz halindeki zararlı maddelerdir. Toprak verimliliği, dolayısıyla besin ve su ekonomisi üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadır.

Çölleşmeyle toprak kayıpları

Geniş anlamıyla çölleşme, kurak ve yarı kurak iklimlerde, toprakların doğal özelliklerini ve insanları barındıran niteliklerini kaybetmesidir. ***Çöl,*** aşırı derecedeki kuraklık ve sıcaklık nedeniyle bitki örtüsünün gelişmesine ve insanların yerleşip yaşamasına elverişli olmayan, çıplak arazilerdir" tanımlamasından anlaşıldığına göre "Çöl" doğal koşulların meydana getirdiği yeryüzü şekillerinden biridir. ***Çölleşme*** ise, doğal iklim değişimleri, yada insanın doğayı tahrip etmesi sonucunda meydana gelen kurak bölgelerin, çöl koşullarını taşıyan ekosistemlere dönüşmesi sürecidir (Lean, 1995). Böylece

çöl terimi, doğal koşulların oluşturduğu bir "yeryüzü şekli", "çölleşme" ise insan faaliyetleri sonucu oluşan "ekolojik bir süreç" tir.

Dünya üzerinde mevcut çöl alanları ve çölleşmenin boyutları gittikçe artmaktadır. Bugün, Dünya üzerinde çölleşme tehlikesiyle karşı karşıya olan 110 ülke bulunmaktadır. Dünyamızda gelişen çölleşme süreçleri, toplam kara alanlarının yüzde 30'una zarar vermektedir.

Yeryüzünde insanların olumsuz etkilerinden kaynaklanan ve bitki örtüsünü yok etme, aşırı otlatma, hatalı tarım tekniği uygulanması gibi olumsuz faaliyetlerle toprak özellikleri bozulmaktadır. Ayrıca çölleşme tehlikesiyle karşı karşıya olan fakir insanlar kendi kaderlerine terk edilmiş bulunmaktadırlar. Böylece, çok genişlemiş çölleşme alanları (9,1 milyon kilometre kare) ortaya çıkmakta ve bu bölgelerde 900 milyon insan yaşam savaşı vermektedir.

Yeryüzünde her yıl 600 bin kilometre kare alan çölleşmektedir. Yalnız Afrika'da çölleşme nedeniyle meydana gelen yıllık kayıp 9 milyar dolara eşdeğerdir.

Ülkemize gelince; ülkemizde gerçek anlamda çöl yoktur. Ancak bazı yörelerimizde belirli yıllarda yağış miktarı 200-250 mm altına düşmektedir. Bunlara örnek olarak, Konya-Karapınar ve Ayrancı yöreleri ile Doğu Anadolu'daki bazı kapalı havzalar verilebilir. Bu gibi yörelerde doğal bitki örtüsünün tahrip edilmemesi gerekir. Ayrıca, özel tarım teknikleri uygulanması zorunludur. Dünya çölleşme haritasında, Anadolu Yarımadası, "çölleşme tehlikesiyle karşı karşıya olan bölgeler" arasında gösterilmektedir. Anadolu'da birçok yörenin iklim koşulları "Yarı çöl iklimi" meteorolojik değerine çok yakındır. Buralarda, en üst düzeyde erozyonla mücadele ve bitki yetiştirilmesi, mevcut bitki örtüsünün titizlikle korunması gerekmektedir.

Toprak kaybı ve bozulmasında rol oynayan diğer etkenler ve süreçler

Etkili alanların azalması ve niteliklerinin bozulmasında rol oynayan diğer etkenler, başlıca hızlı nüfus artışı ve kentleşme, toprak işlemesinde yapılan teknik hatalar, hükümetlerin uzun vadeli ve sürdürülebilir bir tarım politikası geliştirememiş olması biçiminde sıralanabilir.

1. Hızlı kentleşme ile ekim alanı kaybı

Hızlı kentleşme ve sanayileşme ile tarım alanlarının hızla azaldığı, bütün Dünya'da gözlenen bir olgudur. Bu süreç, sanayi kuruluşları, bunların alt yapıları olan yol, spor tesisleri ve eğlence merkezlerine ait inşaatın genellikle verimli tarım alanlarında yapılmasıyla gerçekleşmektedir.

Toprağa can veren, en üstteki 15-20 cm kalınlığındaki yüzey toprak, ekonomik kalkınma ve siyasi istikrar üzerinde petrolden daha etkili olduğu halde, bu verimli toprak tabakasının erozyonla tüketilmesi, petrol rezervlerinin tükenmesinin uyandırdığı endişe veya ilgiyi uyandırmamaktadır.

Ülkemiz için yapılan istatistiklerden anlaşıldığına göre, her il ve ilçede kurulan sanayi sitelerinin yüzde 100'e yakını düz ve verimli tarım alanlarında bulunmaktadır. Sivas sanayi sitesi ve Yenişehir semti de eskiden tarım yapılabilir bir alanda yer almakta idi.

2. Tuzlanma ve çoraklaşma ile toprak kaybı

Dünya'da mevcut sulu tarım yapılan 250 milyon hektarlık ekili alanın yaklaşık beşte birinde, usulüne uygun yapılmayan sulamadan dolayı, hem verim düşmekte hem de topraklarda tuzlanma olmaktadır. Daha doğrusu hatalı sulama ile ülkemiz tuzlanma ve çoraklaşma tehlikesiyle karşı karşıya bulunmaktadır. Tuzlu toprakların ıslahı için gerekli yatırımların yapılamamasından dolayı, her yıl 1,5-2,5 milyon hektar toprağın üretim dışı kalacak şekilde bozulduğu belirlenmiştir (Gardner, 1996).

Yapılan inceleme ve araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, topraktaki tuz miktarının artmasından dolayı Pakistan, Mısır ve ABD'de yaklaşık olarak yüzde 30'luk ürün kaybı meydana geldiği düşünülmektedir.

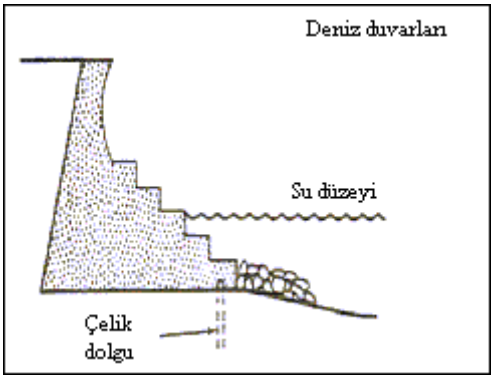
Ülkemiz için bu konuda kapsamlı bilgi alınabilecek veriler yoktur. Yalnız GAP Bölgesi'nde sulanan birçok toprakta tuzlaşma ve çoraklaşma meydana geldiği, verim düşüşünden anlaşılmaktadır. Bölgedeki çiftçilerin ifade ettiklerine göre, pamuk ürünü bazı yerlerde kuru kıyasla yüzde 80 oranında azalmıştır. Hatta bazı yerlerde, aşırı sulamayla derinliklerdeki tuzlar çözündürülmüş, bu sular yüzeye çıktıktan sonra, çok sıcak koşullar nedeniyle buharlaşmış, içerdiği tuzları toprağın üst yüzüne bırakmıştır. Toprak yüzüne biriken tuzlar, bazı yerlerde açık seçik görülebilmektedir. Böylece hem su kaynakları boş yere tüketilmekte hem de yarar yerine zarar meydana gelmektedir. Bu nedenle GAP Bölgesi'nde sulama ve yağmurlama uygulamaları için geç de olsa yeni çabalara başlanmıştır.

MÜHENDİSLİK YAPILARI VE EROZYONUN DENETİMİ

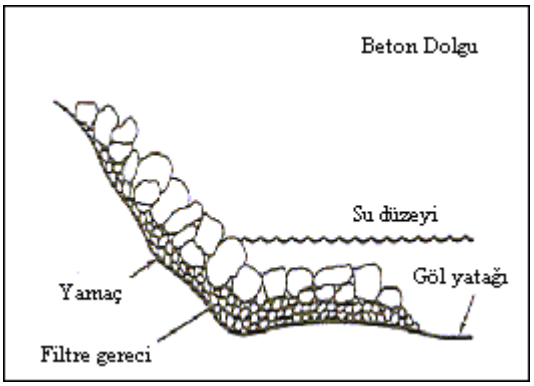
Kıyılardaki erozyonu denetlemek üzere yapılan başlıca mühendislik yapıları, yapay bariyerler (groins), dalgakıranlar (breakwaters) ve kimi setler (jetties)'dir. Bu yapıların bazılarının, avantajları ve dezavantajları da irdelenerek Şekil 13 ve 14' de sunulmuştur:

Yapay bariyerler (Groins), kıyıya dik yerleştirilmiş çizgisel yapılardır (Şekil 13; 14 ve 15). Bunların tasarımında, kıyılardaki kumların olabildiğince (taşınmadan) korunması öngörülür. Kumların denize taşınmadan korunması halinde zamanla plaj genişleyecektir. Bariyerlerin yapıldığı yere çökellerin dolmasıyla genişleyen plaj, kıyılardaki yapıların korunmasını kolaylaştırır. Bu da, plajın zenginleşmesi olarak bilinir. Ancak plajın zenginleşmesi ve diğer önlemler, başka yerlerin özellikle aşınmasına yol açabilir. Yapay bariyerlerin sonuçları zaman içinde izlenip, yeniden değerlendirme yapılmalıdır.

Dalgakıranlar (Breakwaters), dalgalardan korunmak ve deniz araçları için korunmuş bir alan yaratmak amacıyla tasarlanmış yapılardır. Bunlar, kıyılardaki çökellerin denize doğru taşınmasını engeller. Böylece kıyıların erozyon ve çökelmenin yerel olarak değişime uğradığı yeni bir düzenleme ortaya çıkmaktadır (Şekil 13; 14 ve 15). Bu yapılar aracılığı ile korunan kıyı çökelleri, limanların girişinde bir kum tepeciği oluşturabilir. Bu tepecikler ya da sırtlar, limanı, açık denizin dalgalarına karşı korur. Sonuç olarak, kıyılardaki erozyon yerel olarak denetlenebilir.

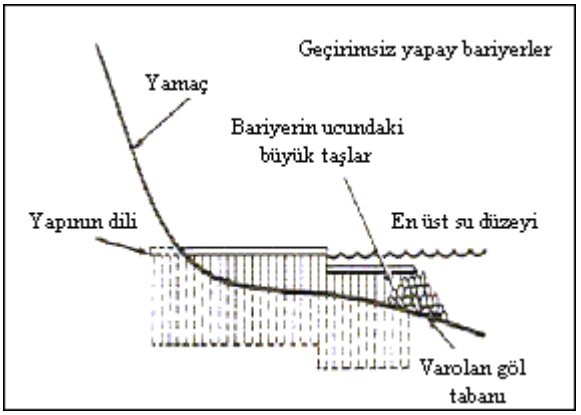


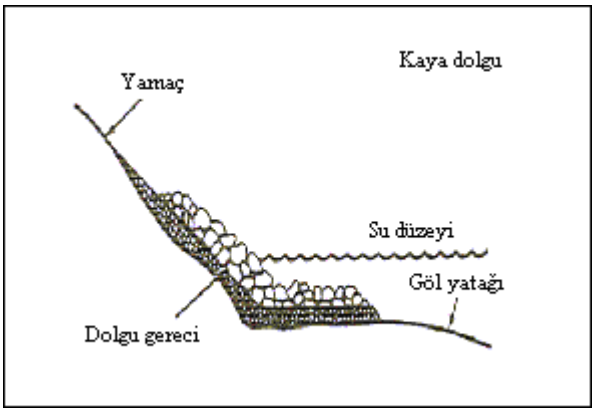
Avantajlar
1- Dalgalardan korumayı sağlar
2- Az bakım gerektirmekte
3- Kıyı çizgisini dengeleyebilir
Dezavantajlar
1- Pahalı olup kolaylıkla onarılamaz
2- Eğitimli personel gerektirmekte



Avantajlar
1- Ucuz ve kolaylıkla yapılabilir
Dezavantajlar
1-Malzeme(özellikle büyük taşları) bulmakta zorluk olabilir.
2- Gerekli önlemler alınmazsa çirkin bir görünüm yaratır.

Şekil 13. Dalga erozyonundan korunmak amacıyla kullanılan bazı mühendislik yapıları (Keller, 1979).



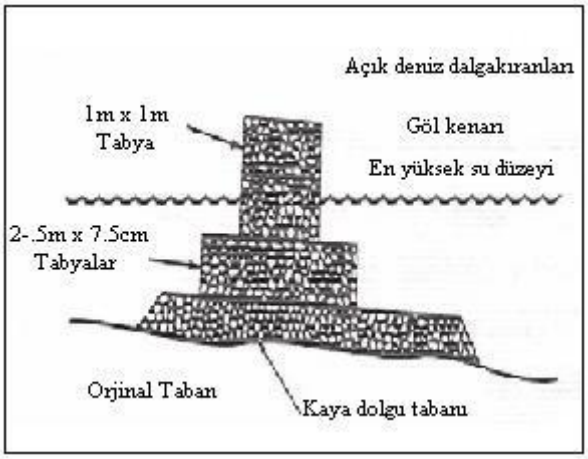


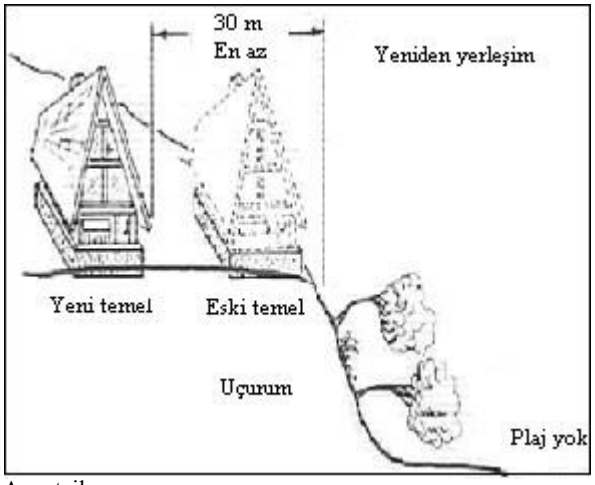
Avantajlar
1- İç bölgenin korunması ve dinlenme amacıyla değerlendirilmesi kolaylaşır.
2- İlk yapımı pahalı, ancak bakımı ucuzdur.

Dezavantajları
1- Ayrıntılı bir mühendislik yapısı ve eğitimli personel gerektirmekte
2- Kıyıları yüksek topografyalı olmayan yerler için uygun değil

Avantajlar
1- Dalga enerjisinden koruyan en etkili yapılardır.
2- Kolaylıkla onarılabilir.
3- Gerekli gereçler yakın yerlerde varsa çok ucuza yapılabilir.

Dezavantajlar
1- İnşaat sırasında ileri düzeyde ekipman gerektirir.
2- Girişin geniş olmadığı yerlerde inşaatı güçlüklerle yapılmakta





Avantajları
1- Kıyı çizgisi boyunca yararlı etkileri geliştirilebilir.
2- Plajların dinlenme amacıyla kullanımını kolaylaştırır.
3- Yapının bakımı ucuzdur.

Dezavantajları
1- Plaj çizgisinin değişimine ve deniz/göl yönünde erozyonu hızlandırabilir.
2- İnşaat için özel ekip araç-gerecin kullanımını gerektirmekte

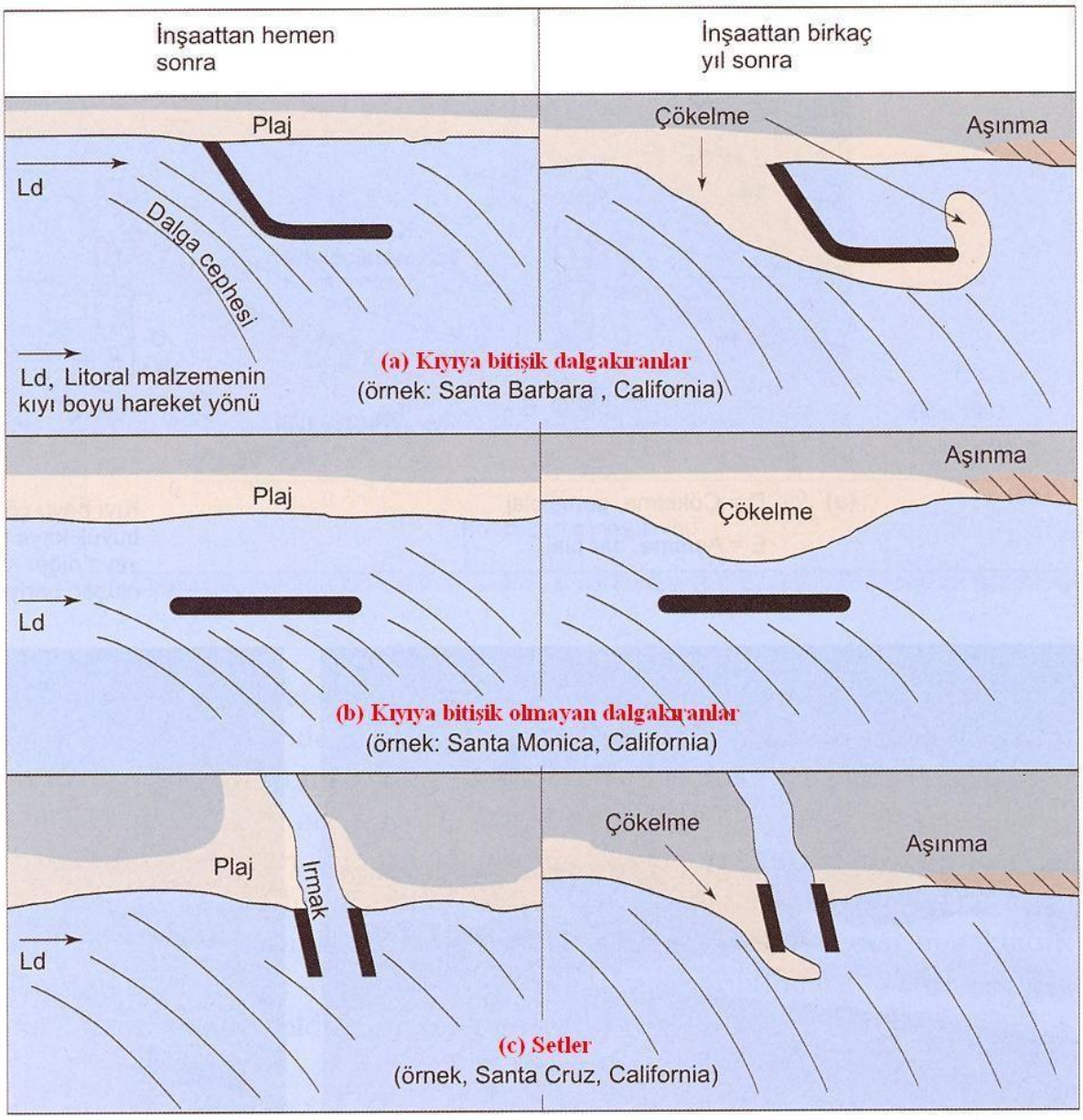
Avantajlar
1- Uzun vadede en iyi korumayı sağlar.
2- Bakım gerektirmez.

Dezavantajlar
1- Özel ekipman gerektirmekte.
2- Yeniden yerleşim için yeni alanların sağlanması zorunluluğu vardır.
3- Erozyonu durduramayabilir.

Şekil 14. Dalga erozyonundan korunmak amacıyla kullanılan bazı mühendislik yapıları (Keller, 1979).

Setler (Jetties), genel olarak akarsuların denize ya da göle ulaştığı boğazlarda yapılan iki yapay engelden oluşmaktadır. Bunlar, dalgaların gelişi ya da kıyılardaki taşınmanın yönü gözetilerek inşa edilmelidir. Ancak, setlerin önünde toplanan çökel, zamanla yanındaki kanalı doldurabilir ve kanalın kullanımını engelleyebilir. Bu yöntemlerle, kıyılardaki çökelim ve erozyon denetlenebilir, ancak tümüyle ortaya kaldırılamaz.

Ayrıca yukarıda belirtilen yapıların yanı sıra yapay çökel geçiş sistemleri, plajı besleme programları, deniz duvarları ya da bunların birkaçı birlikte gerçekleştirilerek kıyılardaki erozyon denetlenebilir.



Şekil 15. Çökelme ve erozyonu denetlemek üzere yapılan dalgakıranlar ve setleri gösteren tasarımlar. Ld oku, kıyıdaki kumların taşınma yönünü göstermektedir (Keller, 1979).

Kıyılardaki tehlikelerin önlenmesine ilişkin öneriler

Tehlikelere karşı gerekli önlemler alınmazsa, meydana gelen can ve mal kaybına da razı olmak gerekir. Kayıplar, kıyılardaki tüm insanların ortak yazgısı değildir. Kayıpların oranını en aza indirmek için, çevrenin güçlendirilmesi gerekir. Bu da yapay engeller ve deniz duvarları gibi yapıların tasarımının yanı sıra arazi kullanımının en iyi şekilde değerlendirilebileceği tercihlerin geliştirilmesiyle yapılabilir.

Tropikal kasırgaların çokça olduğu Bangladeş'in ve ABD'nin kıyılarında oturan sakinler tehlikelerin kısmen farkındadır. Bangladeş'te halk arasında tehlikelere ilişkin ekonomik ve kültürel bir altyapının oluşması beklenir. Ancak, halk sorunu bir yazgı olarak görmekte ve sorunun çözümü için gerekli özverilerle pek ilgilenmemektedir. Özellikle gelir düzeyi iyi olanlar, kazançlarını daha güvenli yerlere kaydırmaya çalışmaktadır. Dolayısıyla Bangladeş'in kıyılarında her ne kadar yıkıcı tropikal kasırgalar sürekli oluşmakta ise de herhangi gelişmiş bir uyarı sistemi de yapılamamıştır. Hatta tehlike olduktan sonra, sığınaklar sağlansa bile, halk evlerini terk etme konusunda pek gönüllü değildir. 1970 yılındaki kasırga sırasında halkın % 38'i ağaçlar tırmanarak, % 5'i sığınaklara ulaşarak, % 8'i yapılan setlerin üzerine çıkarak yaşamını kurtarmıştır. Yöredeki sığınağa 400 m mesafede olan 22 kişilik bir ailenin tümüyle yaşamını yitirmesine inanmak oldukça güçtür.

Harikanların yarattığı hasara ve hasarları önlemeye ilişkin davranış biçimleri, halkın harikanla ilgili deneyimine ve eğitim düzeyine göre değişmektedir. Dolayısıyla, öncelikle halkın eğitim düzeyi ve konuya ilişkin deneyimi gözetilerek, tehlikeler hakkında bilgilendirilmesi ve bilinçli bir bilgi altyapısının oluşturulması zorunludur. Özellikle az eğitimli kesim için özel programlar yapılmalıdır.

Tsunami tehlikesine ilişkin bilgiler gelişme aşamasındadır. Haberleşme ve bilgi alışverişinin iyi olduğu yerlerde kurulu uyarı sistemleri aracılığıyla tsunamilerin oluşabileceği yerleri izlemek ve kıyılarda oturan sakinleri önceden uyarma şansı vardır. Ancak, sismik deniz dalgalarının oluştuğu yerlere yakın alanlarda oturanları uyarma şansı daha azdır. Dolayısıyla böyle yerlerde can ve mal kaybı daha çok olacaktır.

Kıyılarda oluşan erozyonun doğal bir tehlike olarak algılanması, bireylerin geçmişteki deneyimine, kıyıya yakın yerlerde yaşamasına ve erozyondan etkilenme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle kıyıya yakın yerlerde oturanlar, erozyonun doğrudan bir tehdit olduğunu izleyip gözlemleyebilmektedir. Ne var ki iç bölgelere doğru gidildikçe, halkın konuya ilişkin algılaması ve bilgisi de giderek azalmaktadır.

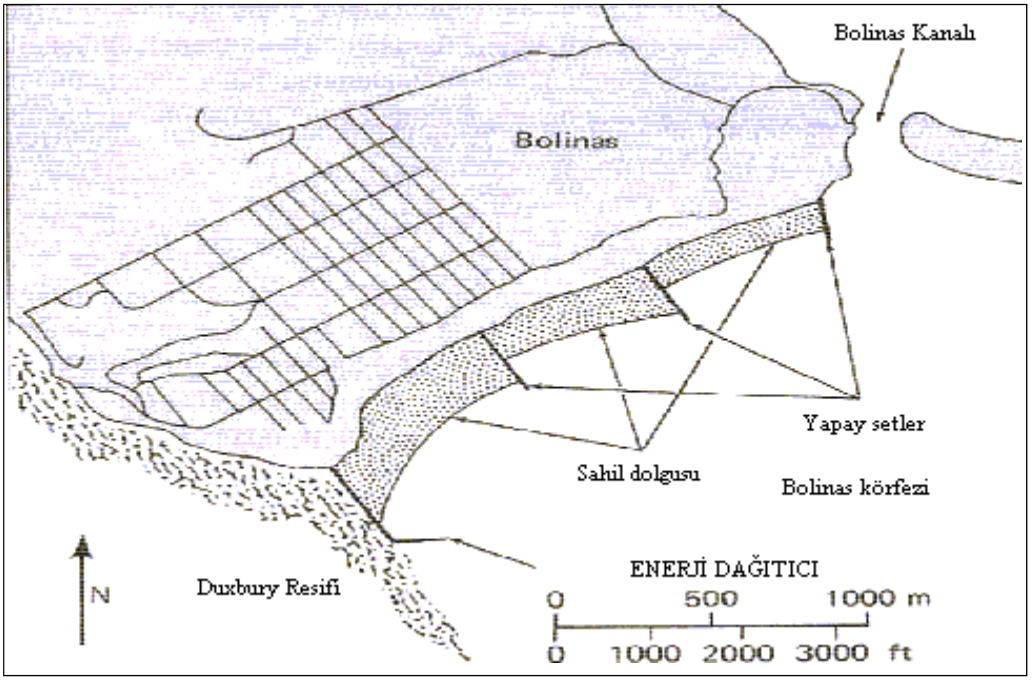
Kaliforniya'nın Bolinas yöresinde yapılan bir planlamadan önemli sonuçlar çıkarılabilir (White, 1974). Yörede hem kıyılar boyunca erozyondan ileri gelen olası hasarlar, hem de böyle bir afeti önlemek için yapılan çalışmaların maliyeti karşılaştırmalı olarak çeşitli yöntemlerle ortaya konulmuştur. Olası hasarları önlemek üzere öngörülen planlamaya göre yapılacak çalışmalar dört bölüme ayrılmıştır:

1- Korunması gereken kıyıdaki zon genişletilmelidir. Bu zonun, yakın dolayında yapılar pek olmadığı için, ilk aşamada iç taraftaki yapıların korunması gözetilmelidir.
2- Afet zonunda kamu arazisi genişletilmelidir. Arazi kazanımı ile, açık boş alanların dinlenme amaçlı kullanımı kolaylaşmaktadır.
3- Yamaçların erozyondan korunması amacıyla deniz duvarlarının inşası öngörülmektedir. 3-4 milyon dolara mal olan bu çalışmalar, kıyılardaki yamaçların en azından 20 m' lik bir kesiminin korunması sağlanmaktadır.
4- Yapay engeller, plaj dolgusu ve enerji savağı (energy dissipator) gibi yapılar inşa edilmelidir (Şekil 16). Bu yapıların maliyeti de 4-6 milyon dolara mal olmaktadır.

Ancak, kıyılardaki yamaçların duraylılığı da bu yapılarla sağlanabilir. Yaklaşık olarak toplam 10-12 milyon dolara mal olan bu çalışmaların sonucunda, 15-20 milyon dolara sahip mal ve mülkün korunmasının sağlanabileceği ortaya konulmuştur.

Ne var ki, Bolinas halkı, yazlıkçılar, tarımla uğraşan yerleşik vatandaşlar ve eylemci çevrecilerden oluşmaktadır. Her grubun erozyon sorununa yaklaşımı son derece farklıdır. Özellikle çevreciler, öngörülen çalışmalara yönelik tepkilerini ortaya koydular.

Öte yandan, toplumun önemli bir kesimi de erozyonun doğal bir afetten çok, doğal bir süreç olduğu, dolayısıyla geleneksel önlemlerin yeterli olabileceği, yukarıda öngörülen planlamanın gereksiz olduğunu düşünmüşlerdir. Tartışmalar böyle devam ederken, geçici önlemlere rağmen, kıyılardaki yamaçlar, erozyon dolayısıyla gerileyerek deniz kıyısı ön sıradaki evlere dayanabilir.



Şekil 16, Kaliforniya'nın Bolinas yöresinde kıyıların korunması için öngörülen düzenlemelere ilişkin bazı yapıların birbirine göre konumu (White, 1974).

TOPRAKLARIN EROZYONDAN KORUNMASINA DAİR ÖNLEMLER

Toprak kaynaklarının korunması için alınacak önlemlerin ivedilikle ele alınması gerektiğine işaret eden Gardner (1996), bunun nedenini şu şekilde açıklamaktadır: "Tarım alanlarını besin kaynağı olduğu kadar, uygarlığın da temeli olarak görüldüğünde, toprağı koruyacak önlemleri bulmak ve uygulamak kolaylaşır. Giderek nüfusu artan Dünya'da, tarımsal mirası koruma noktasında harcanacak zaman kalmamıştır".

Toprağı korumak için alınabilecek önlemlerin neler olabileceği ve bunların yaşama nasıl geçirilebileceği hususunda alınabilecek önlemlerin belirlenmesi için, iki olgu bizlere ışık tutmaktadır. Bunlardan biri, ekilecek alanların genişletilme olanağının ortadan kaldırılması, diğeri de birim alandan alınabilecek en yüksek ürün miktarının, sınırlarına gelinmiş olmasıdır. Özetlenmesi gereken temel ilkelerin başlıcaları şunlardır:

- Politika ve hukuk ilkeleri
- Teknolojik ilkeler
- Ekolojik ve sosyolojik ilkeler

Bu ilkelere ilişkin önlemlerin neler olabileceği aşağıda özetlenmiştir.

Politika ve hukuk ilkelerine dayalı toprak koruma önlemleri

Bunlar, özellikle hükümetler tarafından çeşitli etkenler göz önünde bulundurularak alınması gerekli önlemleri kapsamaktadır.

Hükümetler, aşırı nüfus artışının önlenmesi için, beslenme politikası ile aile planlaması arasında bilimsel temellere dayalı ilişkiler kurarak, tutarlı ve uzun süreli bir nüfus politikası geliştirmelidir. Bunun için şu üç ilke temel alınmalıdır (Gardner, 1996).

1. Sürdürülebilir olmayan bir tarım işletmeciliğine yönelik uygulamalar kaldırılmalı
2. Sürdürülebilir tarım için bilimsel ilkelere dayanan, uygulanabilen programlar geliştirilmeli
3. Tarım konusunda bilgi tabanını genişletecek her türlü önlemleri alıp, bunları yaşama geçirilebilmesini sağlamalıdır.

Ayrıca toprağı koruyan imar, sulama, tohum ıslahı, tarımsal araştırma, çiftçi eğitimi, tüketim alışkanlığının değiştirilmesi gibi eylemler için mali destek sağlayacak programlar geliştirilmelidir. Özel olarak hazırlanmış toprak koruma ve kullanma yasaları hazırlanmalıdır. Dış ülkelerde bu uygulama ve düzenlemeler yapılmış ve somut sonuçlar alınmıştır.

Toprağın tahrip edilmesi ve kullanım dışı kalması nedeniyle yaklaşık 4400 yıl önce Antik Sümer Uygarlığı'nın çöktüğü ve bundan ders alınmasını gerektiren süreçlerin günümüzde de gelişmekte olduğu daima hatırlatılmalıdır.

Uygulanan hatalı politikaları veya bilimsel esaslara dayalı tarım politikalarının olmaması nedeniyle ülkemiz, tarım ürünleri ihracatı yapar durumda iken, en zorunlu besin maddelerinden olan buğday ve eti dış ülkelerden satın almaya başladı. Ancak bundan daha kötüsü, mevcut sürdürülebilir tarım alanları yetersiz olmasına karşın, "tarım alanlarının amaç dışı kullanılabileceği" ni öngören yasal düzenlemeler yapıldı.

Bundan sonra Sivil Toplum Örgütlerinin ve kamuoyunun baskıları ile toprakların korunmasına ilişkin yasal düzenlemelerin ve toprak koruma programlarının, vakit geçirilmeden yapılmalıdır. Pek doğaldır ki bu düzenlemelerin yapılması kadar, bunların titizlikle uygulanması hususunda hükümetlerin ve yetkililerin ve kararlı bir irade göstermesi de zorunludur.

Teknik ilkelere dayalı toprak koruma önlemleri

Bu hususta alınabilecek başlıca önlemler şunlardır:

- Su tasarrufu sağlayacak, tuzlanma ve çoraklaşmaya neden olmayacak çağdaş sulama tekniklerinin uygulanması için gerekli yatırımların yapılması,
- Biyolojik yollarla tarımsal zararlılara karşı mücadele yapılması veya bu yönteme ağırlık verilmesi,
- Toprakların gübrelenmesinin, yarar yerine zarar verecek yöntemlerle ve dozlarda yapılmasının önüne geçilmesi,
- Toprak işleme ve ürün yetiştirme uygulamalarının mevcut ekolojik koşullara ve bilimsel esaslara göre yapılması, toprak koruyucu tarım tekniklerinin kullanılması,
- Tahıl gereksinimi ve diğer bitkisel besin maddeleri yetiştirilmesi üzerindeki baskıları kaldırmak için et, süt gibi besin maddelerinin girişini artırma,

Bu önlemlerinin alınması, toprağın olası bozulmalarını büyük ölçüde önleyebilir.

Ekolojik ve sosyolojik ilkelere dayalı koruma önlemleri

Daha önce de açıklandığı gibi tarım alanlarını, sadece besinlerin kaynağı değil, uygarlığımızın da temeli olarak görmek gerekir. Toprağa ait sorunlar ile sosyal sorunlar arasındaki ilişkiler dikkate alındığında, toprak korumasına ait önlemlerin benimsenmesi ve bunların uygulanabilme şansları da artar. Bu ekolojik ilişkiler bakımından insanların bilinçlenmesine bağlıdır.

Toprağın korunmasına ilişkin ekolojik ve sosyolojik önlemler aşağıda özetlenmiştir:

- Toprakların önemi ve korunmalarının gerekliliği hususunda yaygın bir eğitimle halk, özel ve teknik eğitimle de çiftçiler bilinçlendirilmelidir.

- Hızlı nüfus artışının durdurulması, bu konuda alınabilecek önlemlerinin en etkililerinden biridir. Bunun için eğitim, kadınlara sosyal ve ekonomik güvence verilmesi, aile planlamasının özendirilmesi gibi ciddi ve bilimsel ilkelere dayalı olan ve uygulanabilirliği bulunan politikalar geliştirilmelidir.

Dünya çapında açlık ve yoksulluğun yok edilebilmesi için çevre ahlakı geliştirilmelidir. Ancak bu yolla, insanların tüketim alışkanlıklarını değiştirmesi, paylaşma, adil davranma, çevresine karşı yararlı ve koruyucu davranış kazanma gibi, insani duyguların benimsetilmesi sağlanabilir. Sosyal ve vicdani sorumluluğa sahip bireylerden oluşan bir ülke, işgal orduları kurmak için silahlanmaya harcayacağı parayı, yoksulluk ve açlık içinde kıvranan diğer ülke insanlarının kalkınması ve insanca yaşaması için harcayabilir. Çünkü çevre ahlakına sahip, ekolojik olarak bilinçlenmiş toplumlar, insanlık refahının, tüm Dünya'da sürdürülebilir bir kalkınmanın paylaşımı ile gerçekleşebileceğine inanmış erdemli toplumlardır. Yoksul kitlelerin karşılaştığı pek çok ekolojik sorun, kaynaklara ulaşmadaki eşitsizlikten ve adaletsizlikten doğmaktadır.

Adil olmayan bir toprak mülkiyeti yapısı (tarım alanlarının genişliği ve toprak özelliklerinin niteliği bakımından), en küçük girişimlerde bile kaynakların aşırı derecede sömürülmesine yol çar. Bu da kendi alın yazısıyla baş başa bırakılmış, fakir Afrika halkları açlıktan ölmemek için verimsiz olan toprak kaynaklarını aşırı derecede sömürerek, belirli bir süre sonra, o arazinin insan barındıramaz hale gelmesine, yani çölleşmelere neden olur.

Sosyal adaletsizlik, yoksul insanları daha yoksul yapmakta ve açlıkla pençeleşen insan sayısını artırmaktadır. O nedenle belirli bölgelerdeki zengin kaynaklar üzerinde gerçekleştirilen tekelci denetim, Dünya çapında toprak kayıplarına ve bozulmasına neden olmaktadır. Oysa, "Küreselleşen Dünya" kavramının anlamı, bunun tam tersi ya da başka bir anlatımla, Dünya'daki tüm nimet ve külfetler, adil bir şekilde tüm insanlar tarafından paylaşılması yönünde geliştirilmelidir.

Dünya tarım politikasında, tekelci tarım politikaları yerine, adil bir paylaşımı sağlayacak, ekolojik ilkelere dayalı tarım politikaları uygulanmalıdır. Sözde uygar ülkelerin oluşturduğu Avrupa Birliği'nin tutumunu gözden geçirmekte yarar vardır. Örneğin, Avrupa Birliği, diğer ülkelere bazı ek dış satım vergileri koyup, buğday açığı olan ülkelere buğday satışını engelleyici bazı yaptırımlar getirmekten kendini alamamaktadır. Oysa ekolojik, sosyal, hatta insani ilişkiler bakımından, Dünya'nın küresel besin güvenliği, besin stoklarının tekelci bir anlayışla sadece belirli ülkelerde saklanmasıyla değil; mevcut besin maddelerinin en yoksul ülkelerden en zengin ülkelere kadar, tüm insanların yiyecek bulabileceği bir paylaşımla gerçekleşir.

SONUÇLAR

Erozyon, genel olarak rüzgâr ve yağış gibi atmosferik süreçler ya da insan faaliyetleri sonucunda kaya ya da topraktan yapılı gereçlerin bulundukları yerden kopup, parçalanıp taşınmaları sonucunda doğal dengenin bozulmasıdır. Depremler, tropikal kasırgalar ya da taşkınlarla karşılaştırıldığında ***erozyon*** genellikle sürekli, tahmin edilebilir ve denetlenebilir niteliklerine sahip doğa kaynaklı bir afet olması ile ayrılır. Bununla beraber, kıyılarda gelişen erozyon, toprağın verimliliğine oldukça zarar veren ve denetlenmesi pahalı olan bir afettir. Özellikle kıyılardaki yapılaşma erozyonu hızlandırmaktadır.

Ne var ki, kıyılar Yer'e dair değişimin hızlı olduğu en dinamik alanlardan biridir. Buna karşın, halkın büyük bir bölümü kıyılarda yaşamaktadır. Bu bölgeler, günümüzde de göç alan yerlerdir. Tsunamiler de denizlerde oluşan depremlerin yarattığı sismik deniz dalgaları olup saatte binlerce kilometrelik bir hıza sahiptirler. Dalgaların yüksekliği, oluştuğu yerde 0.5 m iken, kıyılara ulaştığında 15 m'yi aşmaktadır.

Akarsu taşkınları da depremler ve tropikal kasırgalara göre daha yavaş ve başlangıçta küçük hasarlara neden olan erozyon, uzun vadede kıyıları tehdit eden önemli doğal bir afettir. Kıyı setleri,

dalga kıranlar, yapay sırtlar ve diğer yapıların inşası, kıyılardaki erozyonun denetiminde yararlı olmaktadır. Çoğu sorunlar, nüfusun yoğun olduğu yerlerde ortaya çıkmaktadır.

Söz konusu doğa kaynaklı afetler sadece can ve mal kaybına neden olmamakta, aynı zamanda erozyon gibi diğer bir afete yol açmaktadırlar. Dolayısıyla bu afetlerin denetimine ilişkin düzenlemeler, tehlikenin boyutları, toplumun eğitim düzeyi ve deneyimine bağlı olarak geliştirilebilir.

Dünya'nın gelişmemiş bölgelerinde tropikal kasırgalara ilişkin düzenlemeler, sınırlı olarak yaşama geçirilmektedir. Gelişmiş bölgelerde ise hasarların potansiyelini en alt düzeye indirmek amacıyla koruma yapılarıyla ilgili düzenlemeler, y ada arazi-kullanımı, uyarı ve boşaltma gibi seçenekler geliştirilmektedir.

Doğa kaynaklı afetlerden korunmak üzere çeşitli uyarı sistemlerinin devreye koyulması son derece yararlıdır. Özellikle denizlerde depremin olduğu yerlerden yeteri kadar uzaktaki alanlarda yaşayanlar, iyi bir haberleşme ağı olması koşuluyla bu afetlerin olumsuz etkilerinden korunabilirler.

Gelişmiş bölgelerde kıyılardaki erozyon ile ilgili düzenlemeler, deniz duvarları, yapay engeller ve diğer yapıların inşasına bağlı olarak yapılabilmektedir. Bu yapılar için ''teknolojik bir hazırlık'' gerekmektedir. Yapılacak hazırlık, yörede yaşayanların bilgilendirilmesini ve ikna edilmesini ve katkı koymasını da içermelidir.

Sonuç olarak, toprağın yaşamın kaynağı olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca, diğer doğa kaynaklı afetler gibi erozyonun da denetimi mümkündür. Önemli olan, erozyonun türünü, etkilerini, çevre ile ilişkilerini ve olası boyutlarını gözeterek ve bilimin, teknolojinin olanaklarından yararlanarak gerekli önlemlerin alınmasıdır. Toprağına sahip çıkamayan bir toplumun ileriye doğru yelken açması mümkün değildir.

KAYNAKLAR

Abramowitz, J.N., 1997. Doğal Hizmetlerin Değerini Bilmek, TEMA Dünyanın Durumu Raporu, Çev. Hakan Gülseven, İstanbul.

Akalan, İ., 1987. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 1058, Ders Kitabı 309: Ankara, 346s.

Atalay, İ., 1989. Toprak Coğrafyası. 2.baskı, Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.8, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir, 444s.

Aydeniz, A., 1985. Toprak Amenajmanı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 928, Ders Kitabı no.263, 554s.

Baker, E. J. 1974. Attitudes toward hurricane hazards on the Gulf Coast. In Natural hazards: local, national, global ed. G. F. White, pp. 30-36. New York: Oxford University Press.

Baumann, D. D., ve Sims, j. H. 1974. Human response to the hurricane. In Natural hazards: local, national, global, ed. G. F. White, pp. 25-30. New York: Oxford University Press.

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S. ve Paslı, N., 2001, Ekoloji-II, Toprak: Başkent Klişe Matbaacılık, Bayındır Sok. No.30/E, Kızılay-Ankara, 1054

Brady, N.C., 1990. The Nature and properties of soils. Tenth edition. Macmillan Publishing Company, New York, 621s.

Brady, N.C. and Weil, R.R. (2002) The nature and properties of soil, 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Brown, G.P., 1995, Arable Land Loos in Rural China, Asien Survey.

Brown, L.R. ve Wolf, E.C., 1997. Dünya Ekonomisinde Sessiz Kriz: Toprak Erozyonu (Çeviren: B.G. Kocabıyıkoğlu), TUBİTAK-TEMA, yayın no 2, ikinci basım, Ankara.

Chapman, P. J., 2008, Soil and the environment. In: Holden, J. (ed.), An Introduction Geography and the Environment, School of Geography, University of Leeds, 762s., 143-174. www.pearsoned.co.uk/holden.

Cihangir, C. ve Poyraz, D., 1998. Land Degration in Thrace, International Symposium on Arid Region Soil, Menemen.
Coates, D. R., ed. 1973. Coastal geomorphology. Binghamton, New York: Publications in Geomorphology, State University of New York.
Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678s.
Cumhuriyet Bilim Teknik, 2005, Cumhuriyet gazetesi Bilim ve Teknik dergisi, Yol 19, Sayı, 962, s6.
Çepel, N., 1997. Toprak Kirliliği, Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar, TEMA Vakfı Yayın No:14, İstanbul.
Çepel, N., 2000, Toprak ile Söyleyişi, TEMA Vakfı Yayın No:31, İstanbul.
Çepel, N., 2003. Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 180, Ankara.
Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997, Exploring Earth: A introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.
Demirtaş, R. ve Erkmen, C., 2000, Deprem ve jeoloji: TMMOB jeoloji mühendisleri odası yayınları, no.52, Ankara, 390s.
Detwyler, T.R., 1971. Man's Impact on Environment: McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 731 s.
Dolan, R. 1973. Barrier islands: natural and controlled. In Coastal geomorphology, ed. D R. Coates, pp. 263-78. Binghampton, New York: Publications in Geomorphology, State University of New York.
El-ashry, M. T. 1971. Causes of recent increased erosion along United States shorelines. Geological Society of America Bulletin 82: 2033-38.
Ergene, A., 1987. Toprak Biliminin Esasları. 4.baskı, Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.635, Ziraat Fakültesi yayınları no.289, Ders Kitapları Serisi no.47, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 370s.
Gardner, G., 1996. Tarım Kaynaklarının Korunması, Dünyanın Durumu Raporu, TÜBİTAK-TEMA Yayını, Ankara.
Godfrey, P. J. ve Godfrey, M. M. 1973. Comparasion of ecological and geomorphic interactions between altered and unaltered barrier island system in North Carolina. In Coastal geomorphology, ed. D. R. Coates, pp. 239-58. Binghampton, New York: Publications in Geomorphology, State University of New York.
Islam, M. A. 1974. Tropical cyclones: coastal Bangladesh. In Natural hazards: local, national, global, ed. G. F. White, pp. 19-25. New York: Oxford University Press.
Keller, E. A., 1979, Environmental Geology, Second Edition; Charles E. Merril Publishing Company, A Bell and Howell Company, Columbus, Ohio 43216, USA, 589 s.
Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.
Komar, P. D. 1976. Beach processes and sedimentation. New Jersey: Prentice-Hall.
Kormondy, E.J., 1966. Concepts of Ecology. Fourth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 559s.
Larsen, J. I. 1973. Geology for planning in Lake Coumy Illinois. Illinois State Geological Survey Circular 481.
Lean, G., 1995. Down to Earth, Centre for Our Commen Future, TEMA Vakfı Yayın No:9, İstanbul.
Lowdermilk, W.C., 1994. Toprağın 7000 Yıllık Öyküsü, TEMA Vakfı Yayın No:22, Çev. A. Atay, İstanbul.
Meydan-Larousse, 1969. "Toprak"
Norris, R. M. 1977. Erosion of sea cliffs. In Geologic hazards in San Diego, eds. P.L. Abbott and J. K. Victoris. San Diego Society of Natural History.
Office of Emergency Preparedness. 1972. USA Disaster preparedness 1, 2.
Plummer, M.C ve Mc Geary, 1988, Physical Geology, WMC Brown Publishers, Dubuque Iowa.
Rowntree, R. A. 1974. Coastal erosion: the meaning of a natural hazard in the cultural and ecological context. In Natural hazards: local, national, global, ed. G. F. White, pp. 70-79. New York: Oxford University Pres.
Saatçi, F., 1975. Toprak İlmi. 4.baskı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları no.214, Bornova-İzmir, 303s.

Tek, Ö., 1996. Gözde bir metal: Titanyum. Bilim ve Teknik, TUBİTAK, 339, 50-53.
Türüdü, Ö.A., 1992. Toprak Bilgisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, yayın no:104: MYO yayın no 1., Trabzon, 165s.
Ward, R.C. ve Robinson, M. (2000) Principles of hydrology. McGraw-Hill, London.
White, G. F., 1974, Natural Hazards: Local, national, global, New York: Oxford University Pres, USA.
White, R.E. (1997) Principles and practice of soil science: The soil as a natural resource, 3rd edition. Blackwell Scientific, Oxford.
Wilkinson, B. H. ve McGowen, J. H. 1977. Geologic approaches to the determination of long-term coastal recession rates, Matagorda Peninsula, Texas. Environmental Geology: 359-365.
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.
Yiğit, F., 2003, Deniz Seviyesi Değişimleri: Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, 7, 28-31.

Bölüm 12. 9. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE YAŞAMA ETKİLERİ

GENEL BİLGİLER

Küresel iklim değişikliği ve bu değişimin yaşama etkileri en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Bu çerçevede, Yer'in jeolojik tarihi boyunca izlenen doğa kaynaklı evrim ve kimi türlerin yok olmaları, (özne sonrası virgül) tümüyle doğal çevre koşullarının denetiminde gerçekleştiği genel kabul görmektedir. Dolayısıyla, jeolojik verilerden yola çıkarak, günümüzde küresel soğuma iddiasında olan Sorokhtin ve diğerleri (2007)'nin çalışmaları ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Ayrıca RSHM ve ATİT (2000) gibi kurumsal yapıların ortaya koyduğu çevresel sorunları göz ardı etmeden, küresel ısınmayı bir sorun olarak kabul eden çalıştayların sonuçları ((JMO, 2019) değerlendirilmiştir. Ne var ki, günümüzde, başta iklim olmak üzere, tüm doğa, insan kaynaklı etkinlikler nedeniyle değişime uğramaktadır. Dolayısıyla, Yer'in bundan sonraki evriminde insan türünün yaratacağı yapay çevre koşullarının etkili olacağı kabul edilmelidir.

Dünya'mızın, 20. Yüzyıl'da tüm boyutlarıyla ortaya çıkan çevre sorunları, 21. yüzyılda giderek daha da büyüyecektir. Bu sorunların başında, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri; ortaya çıkan devasa atıkların yönetimi ve günümüzdeki ekosistemleri temsil eden biyo-çeşitliliğin giderek azalması gelmektedir. Bu bölümde, ağırlıklı olarak küresel iklim değişikliğinin jeolojik tarihi ve yaşama etkileri ile küresel ısınmanın doğası ve geleceğimize dair sonuçları irdelenecektir.

İnsanlar, yaşamını sürdürmek için barınmaya, gıdaya, giyinmeye, ısınmaya ve eğlenmeye ilişkin gereksinimlerini karşılamak zorundadır. Bu gereksinimlerin karşılanması için çeşitli kaynakların kullanılması, dolayısıyla sanayide, tarım ve turizm gibi çeşitli alanlarda ekonomik faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Her etkinliğin de çevre üzerinde etkileri mutlaka olacaktır. Örneğin, nüfus artışı ile birlikte, mal üretimi ve tüketimi giderek artmaktadır. Kaynakların işletilmesi ve kullanılması sırasında ortaya çıkan çeşitli türde atıklar toprağa, denizlere ve atmosfere verilmektedir. Genellikle toprağa katı atıklar, denizlere sıvı atıklar ve atmosfere ise gaz atıklar verilmektedir. Bu atıklar toprağı, denizleri ve havayı kirletmektedir. Kirlenen ortamlar, bu ortamları paylaşan tüm canlıların sağlığını etkilemektedir. Kirliliğin hızlı artmasının yanı sıra, kullanılan doğal hammaddelerde giderek azalmaktadır. Doğada özellikle sınırlı rezervleri olan kaynaklar, tükenme düzeyine inmiştir.

Günümüzdeki küresel ısınmanın nedeni ise nüfus artışıyla birlikte, enerji gereksiniminin artması ve insanların bu alanda artan faaliyetleridir. Özellikle fosil yakıtların kullanılması, küresel ısınmanın başlıca nedeni olduğu tartışılmaktadır. Dolayısıyla, küresel ısınmaya yol açan doğa kaynaklı ve insan kaynaklı etkinlikleri birlikte tartışarak bir sonuca varmakta yarar vardır.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPPC) Değerlendirme Raporları düzenli yayınlanmaktadır. Özellikle "İklim Değişikliği: Etkiler, Uyum ve Etkilenebilirlik" başlıklı yeni raporu, 2022 Şubat sonunda tamamlandı ve sonuçları "Politikacılar İçin Özet Raporu" olarak sunuldu. Raporda tüm doğal çevrenin iklim değişikliğinden köklü şekilde etkileneceği ileri sürülmekte ve ***'İklime dayanıklı kalkınma'*** öngörülmektedir (IPPC, 2022).

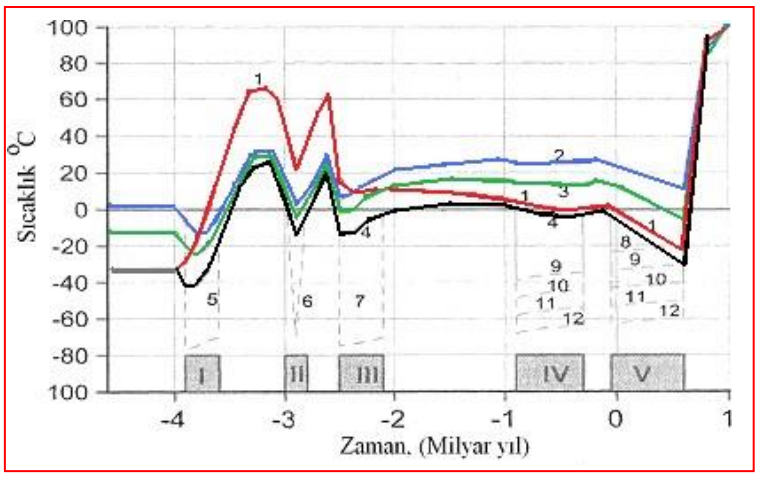
YER'İN İKLİMİNİN JEOLOJİK TARİHİ

Yer'in iklimini etkileyen başlıca faktörler: 1- Kıtaların devinimi ve volkanik faaliyetler, 2- Güneş radyasyonu dalgalanmaları, 3- Yer'in yörüngesindeki değişimler, 4- Atmosferin bileşimi ve canlı yaşamın atmosfere etkileridir. İklimin etkileri deniz tabanına yakın yerlerde yaşayan organizmalara da yansımaktadır. Dolayısıyla paleontolojik kayıtlar kullanılarak sıcaklık değişimleri belirlenebilmektedir. Bu değişimler, fosillerin $CaCO_3$'tan oluşan kabuklarındaki oksijen izotop oranlarından anlaşılabilir. Yani, jeolojik geçmişteki deniz suyu sıcaklığı ve hava sıcaklığı arasındaki ilişki, O^{16}/O^{18} oranları incelenerek belirlenmektedir.

Örneğin hafif olan O^{16} izotopu kolay buharlaşıp yağışla kutuplara kar biçiminde düşer ya da okyanuslara boşalır. O^{18} izotopu ise ağır olup kolay buharlaşmaz. Dolayısıyla buzullar erirse (yani sıcak olursa) O^{18} izotopu azalır. Sonuç olarak O^{16}/O^{18} oranı, sıcaklıktaki değişimleri yansıtmaktadır. Yer'in atmosferindeki ısı transferine ilişkin adiyabatik kuram (ısı ve kütle geçişine karşı tamamen yalıtılmış ortam kuramı) çerçevesinde ve O^{16}/O^{18} oranları da gözetilerek çeşitli jeolojik dönemlerdeki sıcaklık değişimleri, dolayısıyla Yer'in iklimi tanımlanabilmektedir.

Eski buzul çağlarını irdelemek, bugünü anlamak için önemlidir. Sorokhtin ve diğerleri (2007) Yer'in ikliminin jeolojik tarihini irdelemişlerdir (Şekil 1). Buna göre, Erken Arkiyen'de oluşan en eski buzul çağına (Şekil 1, grup I) ilişkin jeolojik bir kayıt yoktur. Bu zamanda (3,9-3,7 milyar yıl önce) henüz olgunlaşmamış denizel havzalar ve gelecekteki kıtaların çekirdekleri Yer'in ekvatoral bölgesinde dar bir alanda yer almaktaydı. Dolayısıyla denizel havzaların, 3 ile 20°C aralığında bir sıcaklığa sahip olduğu tahmin edilmektedir.

Bu dönemde, olasılıkla henüz olgunlaşmamış kıtaların en yüksek yerleri (olasılıkla ~~3–4~~ 3-4 km yükseklikte) ekvatoral kuşakta yer almaktaydı. Bu gibi yerlerde iklimin sıcak olmasına karşın yüksek yerlerde sıcaklığın düşük olması nedeniyle buzullaşma olmuştur. Bu zamanda buzullar ortaya çıktıysa da bunlar yereldi ve yalnızca dağlarda oluşmuşlardı. Ancak, Yer yüzeyindeki suyun fazla olmaması nedeniyle bu buzullar uzun süre korunamamıştır.



Şekil 1. Yer'in tarihi boyunca buzul çağlarının evrimi: 1) Kutuplardaki okyanus sıcaklığı, 2) Ekvatorda kıta yüzeyinin ortalama sıcaklığı, 3) Kıtalardaki orta düzeydeki yüksekliğe bağlı ortalama sıcaklık, 4) Kutuplarda kıtaların ortalama yüzey sıcaklığı, (5)-(12) Buzul örtülerinin yüzeyindeki sıcaklıklar (kar örtünün beyazlık derecesi gözetilerek), (5) Erken Arkiyen'daki ekvatordaki kıtasal buzullaşmalar, (6)-(7) Orta enlemlerdeki yüksek dağlarda Orta Arkiyen ile Erken Proterozoyik zaman aralığındaki kıtalardaki buzulların sıcaklığı (8) Kutuplardaki okyanus yüzeyindeki sıcaklık (Kar örtüsünün beyazlık derecesi gözetilerek), (9)-(12) Kutuplarda sıra ile 1-2-3 ve 4 km yükseklikteki kıtasal buzulların sıcaklığı, I, Erken Arkiyen dönemindeki Ekvatordaki dağların yüksek kesimindeki kıtasal buzullar. II, Orta Arkiyen'de (2,9 milyar yıl önce) deniz yüzeyinden 6 km yükseklikte olan dağlardaki buzullar. III, Erken Proterozoyik döneminde (Huron) yaklaşık 3 km yükseklikteki dağlardaki buzullar. IV, Geç Rifiyen-Paleozoyik zamanında kutuplara yakın enlemlerdeki buzullar. V, Senozoik ve gelecekte kutuplara yakın enlemlerde denizel havzalarda ve kıtalardaki buzullar (Sorokhtin ve diğerleri, 2007).

Orta Arkiyen buzullaşması 2,9 milyar yıl önce oluşmuş ve ekvatora yakın orta ve alt enlemlerde gelişmiştir (Şekil 1, grup II). Bu dönemde Yer'in tektonik etkinliği 40-50^0'lik enlemlerde meydana gelmiş ve henüz olgunlaşmamış kıtasal kalkanlar da bu enlemlere doğru hareket etmiştir. Buna ek olarak kıtaların yüzeyi kimi yerlerde 5,5-6 km'lik yüksekliğe ulaşmıştır. Orta Arkiyen döneminde denizel havzalarda su miktarı önemli ölçüde artmış su sıcaklığı ise 30-40^{0}C'ye kadar yükselmiştir. Bu durum buharlaştırmayı kolaylaştırmıştır. Dolayısıyla Orta Arkiyen döneminin Alpin buzullaşmalarını jeolojik kayıtlarda belirlendiği gibi küçük buzulların oluşumu eşlik etmiştir.

Erken Proterozoyik'te derinliği 1 km'yi geçmeyen büyük, ancak derin olmayan okyanuslar oluşmuştur (Sorokhtin ve Ushakov, 2002). Kıtalar ise ortalama 2 km kadar yükselmiştir (Sorokhtin ve Sorokhtin, 2002). Bu III. Grup buzullaşma (Huron Çağı buzulu) orta enlemlerde gerçekleşmiştir (Şekil 1). İlk süper kıta Monogea'nın parçalanmasından sonra (bu kıtanın parçalarının tüm yer yüzeyine dağıldığı dönemde) III. Grup buzullaşma döneminin ortasında ve sonunda (2,4-2,1 milyar yıl önce) buz örtüleri çeşitli kıtasal kalkanlarda oluşmaya başlamış ve buzullar genellikle kutuplara yakın enlemlerde

gelişmiştir. Bu döneme ait buz örtüleri 4 kıta'da tanımlanmıştır; 1) Kuzey Amerika'da (Huroniyen sisteminde), 2) Avrupa'da Baltık kalkanında, 3) Güney Afrika'da (Transvaal Formasyonu'nda), 4) Batı Avusturalya'da (Tury formasyonu'nda). Bunların tümünün buzullaşma yaşı 2,4-2,2 milyar yıl arasındadır (Chumakov, 2001).

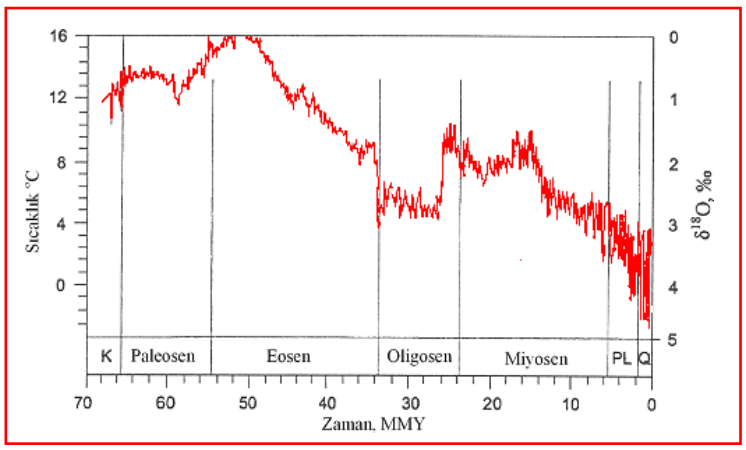
Sonuç olarak, Prekambriyen' de, Günümüz'den daha soğuk üç buzullaşma dönemi yaşanmıştır. Ancak, olasılıkla yeryüzündeki suyun fazla olmaması nedeniyle bu buzullar uzun süre korunamamıştır. Ayrıca, yukarıda Şekil 1'da görüldüğü gibi 2-1 milyar yıl zaman aralığında kıtalarda 0^0C'nin altında yıllık sıcaklık ortalamaları görülmemektedir. Yani, bu dönemde kıtalarda buzullaşmalar oluşmamış olabilir.

Prekambriyen sonu ve Paleozoyik başında Yer'in ikliminde önemli ölçüde gelişen soğuma nedeniyle 4. Grup buzullaşma oluşmuştur. Bu sırada Baykaliyen orojenezi oluşmuş ve canlı yaşamda önemli bir yok olma dönemi yaşanmıştır (Şekil 1). Kıtalarda 0^0C'nin altında yıllık duraylı sıcaklıklar kutup bölgelerinde gerçekleşmiş ve bu bölgelerde büyük buz örtüleri oluşmuştur. Kar kaplı bölgeler belirgin bir alana yayıldığı dönemde karın beyazlık derecesine göre sıcaklığın -40^0C ve -60^0C'ye düşmüş olması gerekir. Geç Rifeniyen ve Paleozoik'te Kuzey kutupta benzer bir yapı oluşmuştur. Çünkü okyanusların kutup bölgelerdeki sıcaklık 0^0C'ye yakındı, hatta biraz daha üstündeydi.

Paleozoyik sırasında ise iklimde bir ısınma dönemi egemen olmuştur. Bu zamanda karasal bitkilerin ve planktonların biyolojik oksijen üretmesi yeryüzündeki yaşamın ileri düzeyde gelişmesini kolaylaştırmıştır. Paleozoyik sonuna doğru Hersiniyen orojenezi oluşmuş ve yaşam büyük ölçüde yeniden yok olmuştur.

Mezozoyik sırasında, özellikle Jura- Erken Kretase döneminde önemli okyanusal havzalar oluşmuş ve buna bağlı olarak sıcaklık artmıştır. Bu süreçte sıcaklık maksimum düzeye erişerek çiçekli bitkilerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Geç Kretase sırasında ise yay magmatizması egemen olmuş, bu magmatizmanın ürünü kirlilik de yaşamı olumsuz yönde etkilemiştir. Mezozoyik'in sonuna doğru Kimmeriyen orojenezi gelişmiş ve yaşam, yüksek sıcaklık nedeniyle, büyük ölçüde yok olmuştur.

Senozoyik sırasında yaşam yeniden canlanmış, ancak yaklaşık 35 milyon yıl önce (Oligosen' de) son büyük buzul çağı (V. Grup) oluşmuştur (Şekil 1 ve 2). Oligosen- Orta Miyosen'de yeryüzü geniş buzullarla kaplanmıştır. Senozoik sırasında okyanus tabanındaki sıcaklığın giderek azalması, sıcaklık, oksijen izotop oranlarındaki bentonik faunanın kalıntıları incelenerek belirlenmiştir. Bu dönem, önemli kıtasal parçaların (fragmanların) çarpıştığı Alpin Dağoluşumu'na ait bir dönemi karakterize etmektedir.



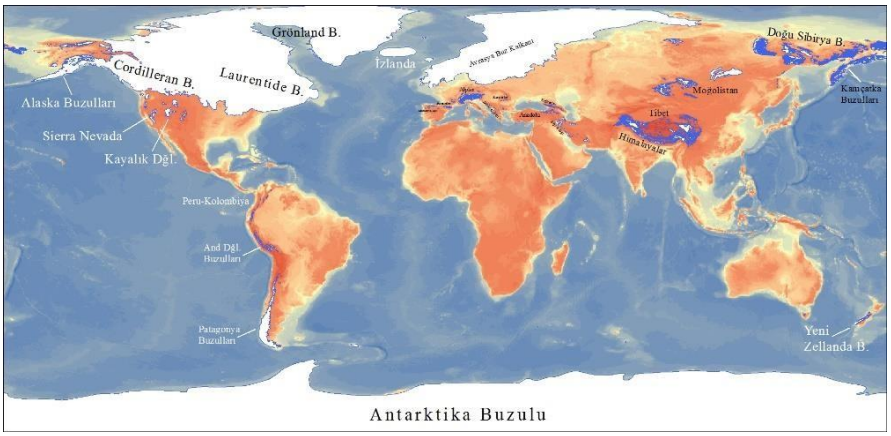
Şekil 2. Senozoik-Kuvaterner aralığında sıcaklık değişimi
(Zachos ve diğerleri, 2001; (Sorokhtin ve diğerleri, 2007'den).

Pleyistosen'de yaklaşık 100-120 bin yıllık sürelerle $8\text{-}10^0$C'lik yavaş ve düzenli soğuma ve ısınma dönemleri görülmektedir. Son kalın buz örtülerinin oluşumundan sonra, yalnızca son birkaç bin yıl içinde yeryüzündeki sıcaklık artmış ve bu sırada buzullar büyük ölçüde çözülmüştür. Sonuç olarak, Yer'in jeolojik tarihine bakıldığında, geçmişte, günümüzden çok daha sıcak ve çok daha soğuk

dönemlerin yaşandığı ve sıcak ile soğuk dönemlerin birbiriyle ardışık ve bunun nedenlerinin de yukarıda sunulan doğa kaynaklı süreçler olduğu açıkça görülmektedir.

Ehler ve diğerleri (2011) ise bu evreleri, sırasıyla, Huronian, Cryogenian, Geç Ordovisyen, Geç Karbonifer (Karoo) ve son olarak da Kuvaterner dönemlerinde gerçekleştiğini ileri sürmektedir. Buna göre, Kriyojen buzullaşması da Prekambriyen'in sonlarına doğru 800 ile 630 milyon yıl öncesinde oluşmuştur. Kartopu Dünya olarak da bilinen bu dönemde yerkürenin, ekvatorlar da dahil olmak üzere, tamamen buzul örtüleri ile kaplandığı ve sıcaklıkların ortalama -20^{0}C'lere kadar düştüğü öngörülmektedir (Hoffman ve diğerleri, 1998). Bu konuda karşıt görüşler olmasına karşın eldeki bazı veriler, zaman içinde gerçekleşen volkanik patlamalarının atmosfere bıraktığı CO_2 (karbon dioksit) gazının oluşturduğu sera etkisi nedeni ile buzulların eriyerek yeryüzünün günümüz koşullarına benzer iklimlere geri döndüğünü göstermektedir. Buzullaşmanın hemen ardından "Kambriyen Patlaması" olarak bilinen, canlıların çok hızlı bir şekilde çeşitlenmesi ve evrimleşmesi gerçekleşmiştir (Sarıkaya, 2019).

Genel olarak soğumayla karakterize olan yerkürenin son 2,58 bin yıllık Kuvatener döneminde buzul devirlerinin etkileri son 900 bin yılda giderek artmıştır. Önceleri 41 bin yıllık, daha sonraları ise 100 bin yıllık döngüler şekilde izlenen buzul dönemlerinin Kuvaterner süresince toplam 21 kez tekrarlandığı hesaplanmıştır (Oerlemans, 2005). Dünya'nın güneş ve kendi etrafında dönmesi sırasında gerçekleşen ve Milankovitch döngüleri olarak tanımlanan bu değişimler sırasında buzulların belirli aralıklarla maksimum düzeylerine ulaşması ile buzul dönemleri, oransal olarak daha sıcak dönemlerde geri çekilmeleri ile de ara buzul dönemleri oluşmaktadır. En son buzul maksimumu yaklaşık 21 bin yıl önce yaşanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Son buzul maksimumu, buzullarının dünya yüzeyinde dağılımı (Ehler ve diğerleri, 2011; Sarıkaya, 2019'dan).

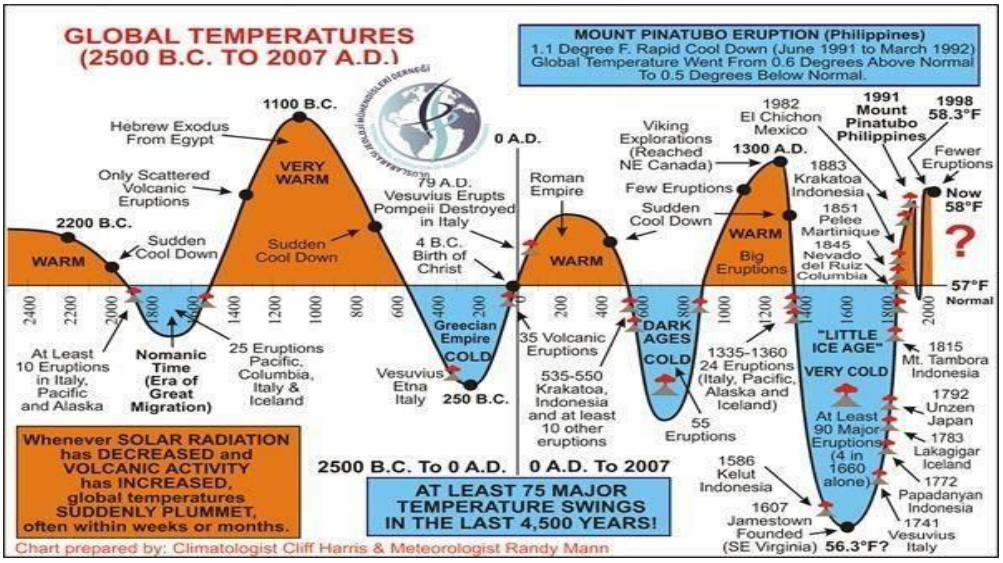
Holosen olarak bilinen, yaklaşık son 11 bin yıldır bir buzul arası döneminden geçen dünyada hala bir önceki buzul dönemine ait kıta buzullarının kalıntıları (Antarktika ve Grönland) bulunmaktadır. Bazı buzul dönemlerinde kısa süreli (birkaç yüzyıl) ılıman ara dönemler, buzul arası ılıman ara dönemlerde ise oransal olarak daha soğuk ara dönemler de oluşabilmektedir.

Kuvaterner Buzullaşması, Antarktika ve Grönland'da 3 km'yi bulan kalıcı buzul örtüleri ile Kuzey Avrupa ve Kuzey Amerika'da benzer kalınlıklardaki buzul örtüleriyle tipiktir. Bu dönemde, diğer buzul dönemlerine benzer şekilde, suların kara buzullarında toplanmasının sonucu olarak, yaklaşık 21 bin yıl önce oluşan Son Buzul Maksimum'da deniz seviyesinin küresel ölçekte 120 m kadar düştüğü kestirilmektedir (Hughes ve Woodwards, 2008). Altı bin yıl kadar önce, buzulların erimesiyle, deniz seviyesi çok hızlı bir şekilde bugünkü konumuna yakın bir düzeye erişmiştir. Gözlenen diğer morfolojik değişimler ise çukur alanların göller tarafından doldurulması, nehirlerin akışlarının değişime uğraması ve buzul örtüsünün kalkması ile azalan basınç sonucu karaların yükselmesidir (Sarıkaya, 2019'dan).

Geç Holosen içerisinde Küçük Buzul Çağı olarak adlandırılan kısa süreli bir ara soğuk dönem daha oluşmuştur. 1550-1850 yılları arasında 300 yıl kadar devam eden bu soğuk dönem içerisinde,

kutup bölgelerinde örtü buzulları ilerlemiş, dağlık bölgelerde ise vadi buzulları daha alçak bölgelere kadar inmişlerdir (Lamb, 1972; Sarıkaya, 2019'dan). Buraya kadar yaşanan iklim değişiklikleri, doğa kaynaklı Yer süreçlerinin denetiminde yaşanmıştır. Bir bakıma jeolojik tarih boyunca oluşan doğa kaynaklı iklim değişiklikleri, bundan sonra yerini doğa kaynaklı ve ağırlıklı olarak insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle oluşan iklim değişikliklerine bırakmış bulunmaktadır.

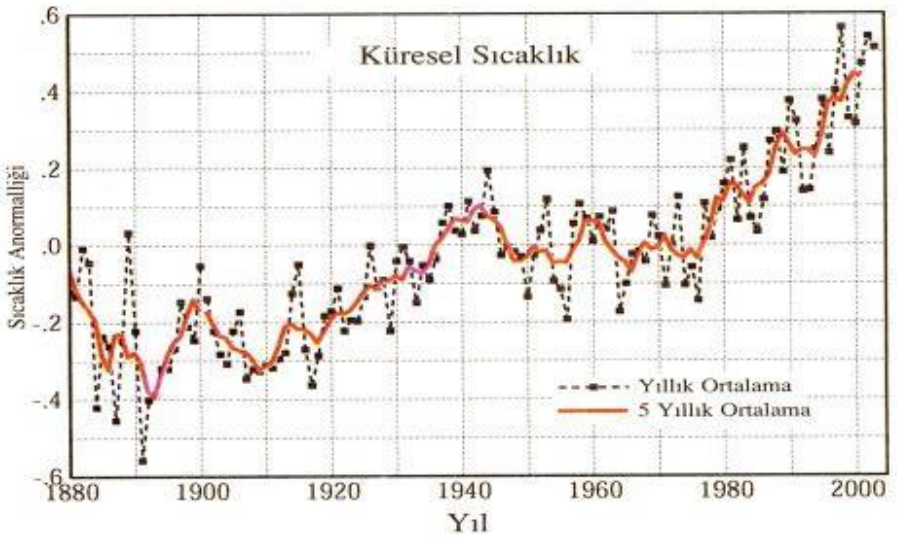
Şekil 4'de ise, M.Ö.2500 yılı ile M.S.2007 yılı arasındaki küresel sıcaklık salınımları görülmektedir. Buna göre, güneş radyasyonunun azaldığı ve volkanik etkinliğin arttığı dönemlerde sıcaklıklar aniden düşmektedir.



Şekil 4. M.Ö.2500 yılı ile M.S.2007 yılı arasındaki küresel sıcaklık salınımları (https://www.nativevillage.org/Messages%20from%20the%20People/Global%20Temperatures.htm).

Büyük sanayi devrimini izleyen evrede, insani faaliyetler sonucu ortaya çıkan sera gazlarının yarattığı ***yapay sera etkisi*** ise küresel ısınmaya yol açmış ve bu da yeryüzünün sıcaklığını büyük ölçüde artırmıştır. Şekil 5'te sanayi devriminden itibaren sıcaklık artışı açıkça görülmektedir. Buna göre yapılan modellemeler, 21. Yy'da Dünya ortalama sıcaklığının 1,5 ile 6 ^{0}C arasında, belki daha da fazla artacağını göstermektedir. Sıcaklıkta meydana gelebilecek birkaç derecelik bir artış bile, yeryüzü ikliminin bugünkünden çok farklı olmasına yol açacaktır.

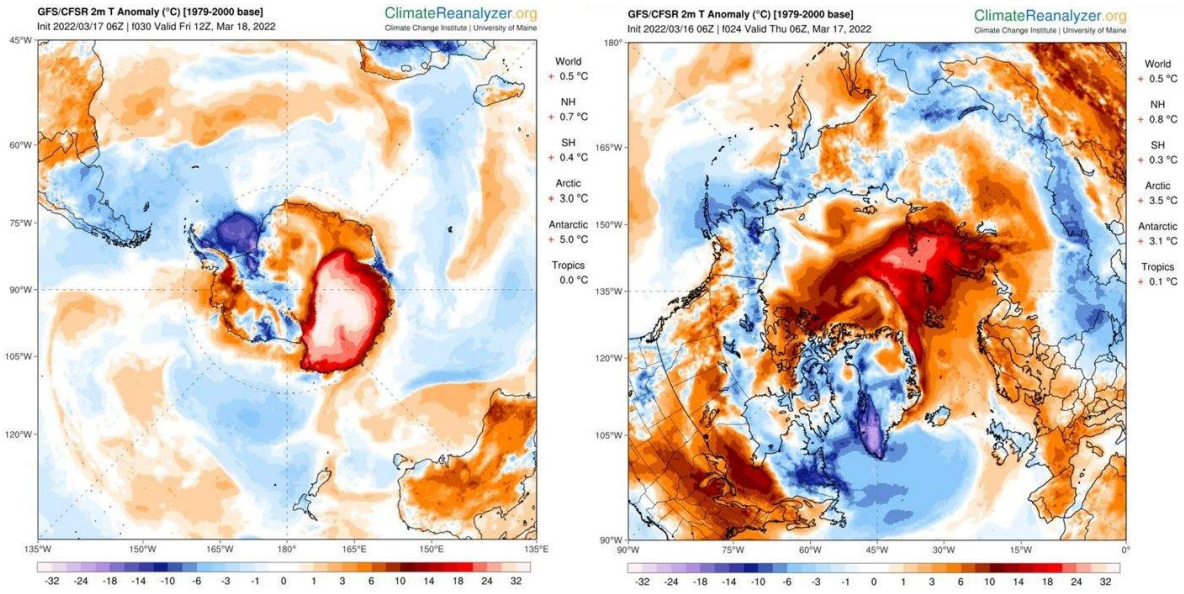
Örneğin sıcaklığın artmasıyla kutuplardaki buzlar eriyecek ve buna bağlı olarak deniz düzeyi yükselecektir. Sahillerdeki güzel plajlar, denize bağlı küçük göller, kıyılardaki tarım alanları ve mercan resifleri sular altında kalıp kaybolacaktır. Yüksek yerlerde kar yağışları azalacak, yağmurlar ise artacak, sonuçta atmosferik kökenli doğa kaynaklı afetler daha yoğun olarak oluşacaktır.



Şekil 5. Sanayi devrimiyle birlikte oluşan küresel ortalama sıcaklık değişikliği (https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=19; 30 Temmuz 2019, saat 10.55).

Günümüze dair değişiklikler de sorgulanmaktadır. Örneğin, Şekil 6A, Güney kutbunda (Antarktika'da) 2022 yılı 18 Mart günü Yer yüzeyinin 2 m üzerinde +5 ^{0}C ve Şekil 6B, Kuzey Kutbunda (Arktik'te) 2022 yılı 17 Mart günü aynı değerin +3,5 ^{0}C yer ısısı ölçüldüğünü saptanmış bulunmaktadır. Bu değerlerin olağan değerlerin çok üzerinde olduğunu açıktır. Ancak söz konusu değerlerin birbiriyle ilişkili olup olmadıkları henüz bilinmemektedir. Eğer rastlantı değilse, bunun da nedeni iklim değişikliği ile ilgili olabilir.

(A) (B)



Şekil 6. Güney kutbunda (Antarktika'da) (A) ve Kuzey Kutbunda (Arktik'te) (B) 2022 yılı 17 ve 18 Mart görünümleri
https://www.sciencealert.com/record-smashing-heatwaves-are-hitting-antarctica-and-the-arctic-at-the-same-time?utm_source=ScienceAlert+-+Daily+Email+Updates&utm_campaign=1b1737cb58-MAILCHIMP_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_fe5632fb09-1b1737cb58-366039650 (23 MARCH 2022).

YAŞAMIN KÖKENİ VE EVRİMİ

İlksel Yer, yaşamın olmadığı bir gezegenin inorganik malzemelerinden oluşmaktaydı. Bu malzemeler, Güneş Sistemi'nin oluşumundan önce meydana gelmiş büyük yıldızların, yaşamlarını tamamlayarak, süpernova şeklinde patlamaları sonucunda uzaya saçtıkları element ve radyasyonlardan

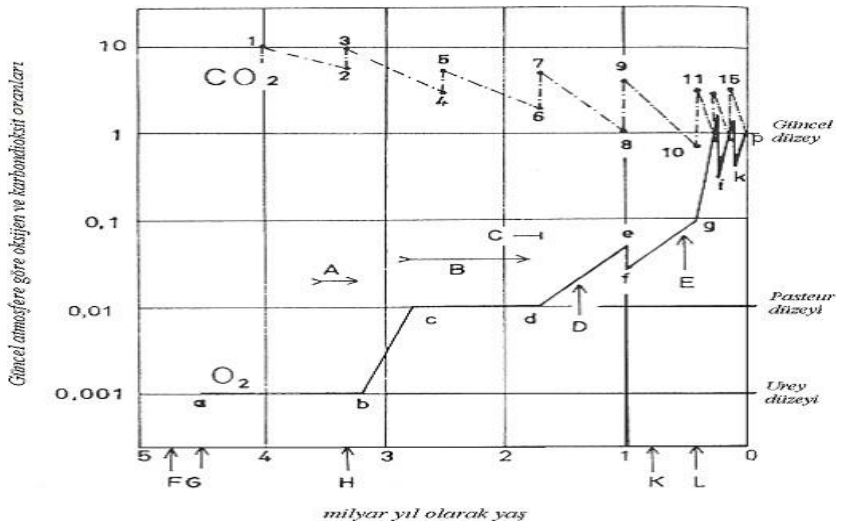
oluşan bulutsuların (nebulalar) içerdikleri malzemelerdir. Ayrıca Yer'in ilk evrelerinde ne yoğun bir atmosfer ne de hidrosfer vardı. Bu ilk evrede, Yer'in inorganik malzemesi büyük ölçüde buharlaşma ile azalmıştır.

Yer, ilk evrede Güneş'in yoğun radyasyonunun etkisi altındaydı. Bu yoğun radyasyonun sonucu (çoğunlukla proton ve nükleer helyumdan oluşan) olarak, Yer'e ait inorganik malzemeden yer yüzeyindeki gazlar türemiştir. Güneş'in parlaklığı, 4,6 milyar yıl önce bu günkünün yaklaşık % 25-30'u kadardı. Bu nedenle radyasyon günümüzdeki radyasyon düzeyinden çok daha düşük bir düzeydeydi. Başlangıçta azot içeren atmosferin bileşimi, Yer yüzeyine düşen gök cisimlerinin çıkardığı gazlar sonucunda değişmiştir. Ayrıca, Yer yüzeyinin bir kenarı çok soğuk iken, diğer tarafı yoğun kozmik bir radyasyonun etkisi altındaydı.

Yer'e ait gaz çıkışlarının ilk evresinde, karbon dioksit günümüzdekinden en az 10 kat fazla, Oksijen ise sembolik düzeyde (günümüzdekinin % 0.001 düzeyinde) idi. Zaman içinde bu oranlar değişmiştir (Şekil 6). Bu ilk evreyi izleyen aşamada, suyun büyük bir bölümü ve organik birleşikler Yer'in ilk oluşumunda meydana gelen kayalar (Regolitler) tarafından soğurulmuştur. Yer'in ilk gereçlerinde, demir oranının yüksek olması nedeniyle manto gözenekli regolitler de oluşmaya başlamış ve olasılıkla regolitler, Yer'in atmosferde yaşamın oluşması için uygun bir bileşime ulaşmıştır (Galimov, 2001). Regolitlerde soğurulma kapasitesi ve yüksek düzeydeki gözeneklilik karmaşık organik bileşiklerin oluşumu ve yaşamın ortaya çıkışı için uygun koşullar yaratmıştır. Olasılıkla yaşam, ilk regolitlerin küçük gözeneklerinde başlamıştır. Bu gözenekler de gazlar ve minerallermiş su ile doluydu (Sorokhtin ve Ushakov, 1991).

Yaşamın kökeni

Yer'e ait gaz çıkışlarının ilk evresinde, karbon dioksit günümüzdekinden en az 10 kat fazla, Oksijen ise sembolik düzeyde (günümüzdekinin % 0.001 düzeyinde) idi. Zaman içinde bu oranlar değişmiştir (Şekil 7). Bu ilk evreyi izleyen aşamada, suyun büyük bir bölümü ve organik birleşikler Yer'in ilk oluşumunda meydana gelen kayalar (Regolitler) tarafından soğurulmuştur. Yer'in ilk gereçlerinde, demir oranının yüksek olması nedeniyle manto gözenekli regolitler de oluşmaya başlamış ve olasılıkla regolitler, Yer'in atmosferde yaşamın oluşması için uygun bir bileşime ulaşmıştır (Galimov, 2001). Regolitlerde soğurulma kapasitesi ve yüksek düzeydeki gözeneklilik karmaşık organik bileşiklerin oluşumu ve yaşamın ortaya çıkışı için uygun koşullar yaratmıştır. Olasılıkla yaşam, ilk regolitlerin küçük gözeneklerinde başlamıştır. Bu gözenekler de gazlar ve minerallermiş su ile doluydu (Sorokhtin ve Ushakov, 1991).



Şekil 7. Atmosferdeki O2 ve CO2 nin jeolojik zamanlar boyunca değişimi D: İlk kırmızı (Dala kumtaşı) katmanları (Rutten, 1971; Ketin, 1977'den).

İlk hidrokarbon birleşikler, karbon dioksitin var olduğu bir ortamda, demir içeren ultrabazik kayaların hidratasyonu sonucunda oluşmuştur. Nitrat, Nitrit, Amonyak, Amonyum Sülfat, Kloratlar ve

diğer karbon-azot birleşikleri, Erken Arkiyen zamanında karbon dioksitin ve azotun egemen olduğu atmosferde yoğun yıldırımların denetiminde oluşmuştur. Fosfor birleşikleri, ilk regolitlere doğrudan sıvı olarak girmiştir. Arkiyen zamanının başlangıcında yüksek atmosferik sıcaklıklarda karmaşık organik birleşiklerin oluşması için gerekli olan koşullar, regolitlerde var olan serbest ve yer değiştirebilir katyonların (Fe, Ni, Cr, Co vb.) katalitik etkisi ve gözenekli regolitlerin kılcallarındaki sıvıların yarattığı basınçla sağlanmıştır. Yaşam için hücre zarı önemlidir. Bazı araştırmalara göre regolitlerdeki boşlukların çevresi, hücre zarı yerini tutmuş ve hücreyi korumuştur.

Gözenekli regolitlerde ilk organik karmaşık moleküllerinin oluşumu, regolitlerin küçük gözeneklerindeki yüksek basınç ve soğurma kapasitesi ile gerçekleşmiştir. Karmaşık organik moleküllerin derişimi, daha sonra karmaşık organik birleşiklerin sentezi için yeterli bir düzeye ulaşmıştır. Okyanusal havzalardaki bu organik birleşikler, başlangıçta oldukça sulu karakterde idi.

Böylece, Yer yüzeyindeki oluşan yaşamın organik hammaddesi; azot, karbondioksit ve metanın yer aldığı atmosferde, Erken Arkiyen zamanında (4-3,9 milyar yıl önce) Yer'in ilk oluşan volkanik küllerinden doğmuştur. Yer'de yaşamın ortaya çıkışı ise, Yer'in tarihinde ilk tektonik ve jeokimyasal süreçlerle birlikte ortaya çıkmıştır. Bu da Yer'in çekirdeğinin ilk oluştuğu evrede (kimyasal-yer çekiminden ileri gelen başkalaşım sonucu) hidrosferin oluşumuna yol açmış ve bu da yoğun bir atmosferin ve kıtasal bir yer kabuğunun oluşumuna zemin hazırlamıştır. Yer'in tektono-manyetik etkinliğinin başlangıcı ile Ay'da bazaltik mağmatizmanın (bazalt denizlerinin oluşumu) başlamasının bire bir denk gelmesi ilginçtir.

Günümüzde, inorganik birleşiklerden karmaşık organik moleküllerin elektrik boşalımlarıyla ortaya çıkan sıcaklığa bağlı olarak yapay olarak sentezlenmesi olasıdır (Oparin, 1957; Oro, 1965, 1966). Galimov (2001), yaşamın kökeninin enerji yüklü kimyasal reaksiyonlarla ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu reaksiyonlar, adenosintrifosfat (ATP) katılımı ile devam etmiştir. Bu sentezleme işlemi, Yer'in ilk oluştuğu evrelerde meydana gelmiştir. ATP'nin oluşumu, adeninin (Siyanik asit polimerizasyonun üretimi- HNC) ve ribozun (formaldehitin polimerizasyonu HCOH) birleşimi ile gerçekleşir. Galimov (2001)'e göre ATP'nin sentezi, Yer'de yaşamın ortaya çıkışı ve gelişmesinde gereklidir.

Yapılan modellere göre, ATP sentezi için ilk birleşikler doğal bir şekilde de oluşabilir. Arkiyen zamanının başlangıcında, Yer, ilkel makro gözenekli regolitlerle örtülüydü. Bu regolitler, %14 serbest (metalik) demir içermekteydi. Yer'e ait ilk gazların ortaya çıkışından sonra (4 milyar yıl önce) regolitler ilk yağışlarla su ve çözünmüş karbon dioksit açısından doygunluğa ulaşmıştır. Sonuç olarak bol oranda CH_4 oluşmuştur.

$$4Fe + 2H_2O + CO_2 \rightarrow 4FeO + CH_4 + 41{,}8kcal/mol \qquad (1)$$

Metan atmosfere katıldıktan sonra, atmosferde, ilk karbondioksit-azot-metan karışımı da oluşmuştur. Formaldehit ise, aşağıdaki reaksiyona göre oluşmuştur.

$$2Fe + 2H_2O + CO_2 \rightarrow 2FeO + HCOH + 3{,}05kcal/mol \qquad (2)$$

Formaldehit suda çözünmüş olarak katılmış ve regolitlerle belli bir doygunluğa ulaşmış ve daha sonra yağmur sularıyla yıkanarak küçük denizel havzalara akmıştır. Ayrıca, metanın atmosfere katılması, yaşam için iyi bir ortamın oluşması ile sonuçlanmıştır. Metan açısından zengin atmosfer Erken Arkiyen zamanında aşağıdaki reaksiyona göre atmosferik kökenli elektriksel boşalımlar nedeniyle hidrojen siyanatın oluşumuna neden olmuştur.

$$N_2 + 2CH_4 + Q \rightarrow 2HCN + 3H_2 \qquad \textbf{(3)}$$

Q, reaksiyona katılan elektrik enerjisini temsil etmektedir.

Böylece Arkiyen zamanının başlangıcında ilk kimyasal organik birleşiklerin oluşumuna yol açan koşullar meydana gelmiştir. Daha sonra, bu da daha karmaşık organik birleşiklerin ve prebiyolojik bileşiklerin oluşumuna yol açmıştır. Karmaşık organik moleküllerin ya da ilk (RNA içeren) birleşiklerin

en basit toplulukları, Erken Arkiyen zamanında ilk denizel havzalarda su ile taşınmıştır. Yer'e ait ilk gazların ortaya çıkışı ve atmosferinin gelişimi sürecinde Yer'e ait potansiyel enerji Metan'ın fotodisiyasyonu nedeniyle dereceli olarak azalmıştır.

$$CH_4 + CO_2 + h\gamma \rightarrow 2HCOH \qquad \textbf{(4)}$$

Sonuç olarak atmosferde azot-karbondioksit-metan katılımı ile oluşan dissasyon sürekli olarak devam etmiştir. Metan bileşikleri, Arkiyen'deki ilk mikroorganizmaların evrimleşmesini sağlamıştır. Daha ileri düzeyde bir yaşamın ortaya çıkışı, yüksek enerji ve düşük entropi reaksiyonlarının olduğu hallerde gerçekleşmiştir (Galimov, 2001), Bu da yaşamın gelişmesinde geçerli olan biyolojik yasalara göre, çeşitli yaşam biçimleri için gerekli basınç ve çevresel "filtreleme" etkisi altında ve değişik yaşam formlarının yarışmasına, ortam hazırlamıştır.

Yer'deki yaşamın ortaya çıkışı aşağıdaki faktörlerin ortak etkisiyle açıklanabilir: (1) Yer'e ait ilk gereçlerin bileşimi, (2) Regolitlerde mikro gözeneklerin varlığı, (3) Metanın yoğun olduğu atmosferik bileşim, (4) Erken Arkiyen zamanının başlangıcında ilksel denizel havzaların orta derecedeki sıcaklık. Bu faktörlerin güdümünde, abiyojenik kökenli (yaşamın canlı olmayandan gelişmesi) birleşiklerin ilk oluşumundan sonra, ilk virüsler de ortaya çıkmıştır. Bu da ilk RNA oluşumu için gerekli olan gereçlerin yardımıyla olmuştur.

İlk aminoasitlerin sentezi, olasılıkla ilk tek hücreli formlardaki bakterilerde ortaya çıkmıştır. Daha sonra Yer'in iç kısımlarında gazların yoğun biçimde çıkması nedeniyle Atmosferdeki karbondioksit oranı hızlı olarak artmıştır. Olasılıkla bu durum Arkiyen sürecinde yaşamın evrimleşmesinde bir gecikmeye yol açmıştır. En ilkel termofilik (yüksek sıcaklıklarda yaşayabilen) ve prokaryotik (zarla çevrili organelleri olmayan basit ve ilkel) bakteri formu (kargofilik (?) ve siderofilik (demirli ortamlarda çoğalabilen) arkeobakteriler) egemen olmuştur. Kimyasal reaksiyonlar (okyanus ortası sırtlarındaki hidrotermal kaynakların termofilik bakteriler tarafından gerçekleşen reaksiyonlara benzer) prokaryotik bakteriler tarafından kullanılan enerji sağlanmıştır.

Olasılıkla en ilkel virüsler ve tek hücreli organizmalar olan prokaryotlar Erken Arkiyen'de ortaya çıkmıştır. Bu organizmalar bir çekirdeğe sahip değildi. Ancak, söz konusu organizmalar, çevresel koşullardan koruyan yarı geçirgen bir zara sahiptiler. Daha sonra fotosentez yapan tek-hücreli mikroorganizmalar oluşmuştur. Bu organizmalar demiri oksitlemiştir. Erken Arkiyen zamanında (3,75 milyar yıl önce), kayalarda demir içeren oluşukların ortaya çıktığı kanıtlanmıştır. Bu kayalar 3 değerlikli demir oksitleri içermekteydi (Batı Greenland Isua formasyonu).

Yer'deki gazların ortaya çıkışı, Prearkiyen ile Arkiyen arasındaki sınırda başlamış ve bu da Arkiyen süresince göreli olarak yoğun ve giderek azalan karbondioksit-azot içeren bir atmosferin oluşumuna yol açmıştır. Bu sürede ilk volkanlar, manyetik alanların farklılaşmasıyla meydana gelmiş ve ilk sığ denizel havzalar oluşmuştur. Arkiyen zamanının sonundan beri bu sığ denizel havzalar Dünya'da tek bir okyanusun oluşumunu sağlamıştır. Arkiyen'de yüksek atmosferik basınç nedeniyle (2-6 atm) okyanus sularında ve atmosferin Yer'e yakın düzeylerinde ortalama sıcaklık 60-80^{o}C'ye kadar yükselmiştir.

Yaşamın Evrimi

Arkiyen zamanında (yaklaşık 3,6-3,5 milyar yıl önce) yaşam için uygun olmayan koşullara rağmen stromatolitler oluşmaya başlamıştır. Güney Afrika'daki Onwerwaht dizilerinde (3,5-3,3 milyar yıl önce) stromalolitler volkanojenik kökenli çökel katmanların arasında ince düzeyler halinde oluşmuştur (Semikhatov ve diğerleri, 1999). Orta Arkiyen sırasında, daha önce oluşan formlar değişen çevresel koşullar nedeniyle çeşitlenmiş ve Güney Afrika'da yaşam ağacının alt yapısını oluşturmuştur. Aynı dönemde mavi bakterilerde olasılıkla ortaya çıkmıştır. Mavi bakteriler az oranda da olsa oksijenin oluşturmaya başlamıştır. Böylece Arkiyen sırasında oksijen giderek artmıştır. Oksijen artışı, mantodaki serbest demirin varlığıyla kolaylaşmıştır.

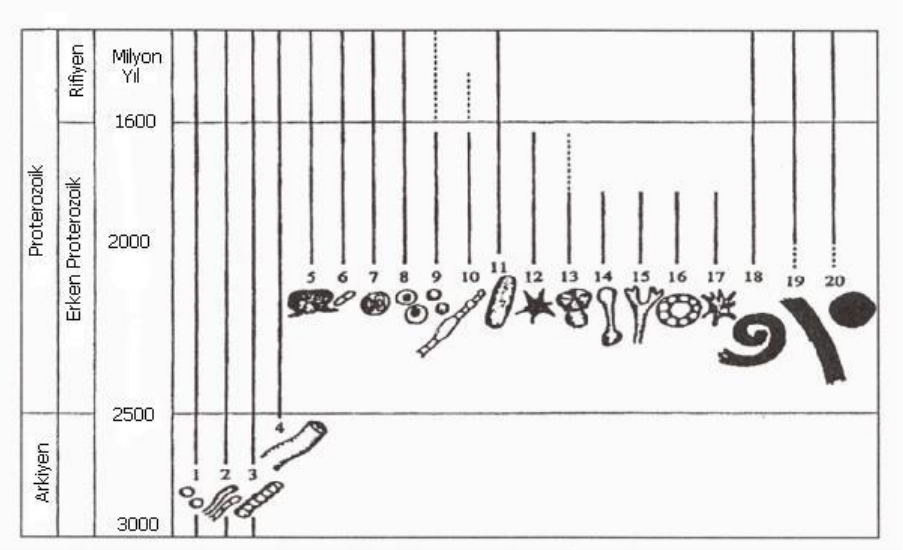
Geç Arkiyen zamanında (2,8 milyar yıl önce), Yer'in hidrosferindeki su önemli ölçüde artmış ve küçük denizel havzalar birbirine eklenerek tek bir dünya okyanusunun oluşumuna yol açmıştır. Okyanus ortası sırtların ilk oluştuğu evre de bu dönemdedir. Yaklaşık aynı dönemde Yer'in çekirdeğinin

oluşumu nedeniyle serbest demir ve demiri içeren silikatlar (fayalitler) okyanusal kabuğa girmeye başlamıştır. Sonuç olarak abiyojenik (canlı yaşama bağlı olmayan) metanın oluşumu artmış ve bu da Arkiyen sonunda stromatololitik çökellerin artışına yol açmıştır. Buna göre oksijenin tüketimi bir miktar artmış ve bu da atmosferdeki kısmi basıncın azalmasına neden olmuştur. Cruosity Rover'ın Mars'ta bulduğu metanın oluşumu ile ilgili iki varsayım vardır. Bunlardan biri, serpantinleşme sonucu abiyojenez olarak metanın oluşmasıdır. Diğeri ise yüzeyin altında yaşayan mikroorganizmaların oluşturduğu biyojenik metandır.

Yer kabuğunda atmosferik karbondioksitin bağlanmasından sonra (Erken Proterozoyik zamanda 2,5-2,4 milyar yıl önce) Yer'in atmosferi, azotun diğer gazlara az oranda katılmasıyla gelişmiştir. Aynı zamanda yeryüzü sıcaklığı önemli ölçüde azalmıştır. Arkiyen ve Proterozoyik zamanla arasındaki sınırda çevrede meydana gelen önemli değişimler, bu dönemde tüm biyotopları etkilemiştir. Dolayısıyla tek hücreli ökaryotik organizmaların (insanlar dâhil, hayvanlar, bitkiler, karmaşık ve büyük, zarla çevrili çekirdek ve organelleri bulunan canlıların) yeni biçimleri ortaya çıkarmıştır. Olasılıkla bu organizmalar, daha ilkel prokaryotik bakterilerin ortak yaşamının sonucu olarak gelişmiştir.

Ökaryotlar Güneş enerjisini kullanarak oksijen üretmişlerdir. Bu zamanda mikro algler ortaya çıkmış ve yaşam ağacı boy vermeye başlamıştır. Okyanusal biyotadaki (okyanuslardaki bitki ve hayvan yaşamının bütünü) değişimler Erken Proterozoyik zamanın başlangıcında oluşmuş ve bu da fotosentez yapan mikroorganizmaların ortaya çıkışına zemin hazırlamıştır. Aynı zamanda mavi algler üremiş ve stromatolitlerin gelişmesi önemli ölçüde hızlanmıştır (Semikhatov ve diğerleri, 1999). Ayrıca demir cevherinin yoğun biçimde ortaya çıkması ile abiyojenik mantonun yoğun oluşumu kesintiye uğramıştır.

Erken Proterozoyik zamanının başlangıcında Yer'in tektonik etkinliğinde belirgin bir azalma olması dolayısıyla okyanusal hendekler (yitim zonları) derinleşmiş ve deniz yüzeyi alçalmıştır. Bunun sonucu olarak da demirin hidrosferdeki akışı (ve demir cevherinin yığışımı) azalmıştır. Bu da 2,5 milyar yıl önce oksijenin kısmi basıncında dikkate değer bir artışa yol açmıştır. Böylece hücre genomlarına geçişe izin veren DNA moleküllerini içeren bir çekirdeğe sahip yeni ökaryotik bakteriler ortaya çıkmıştır. Yaşamın daha ileri evrimi biyolojik evrim yasalarına uygun biçimde gerçekleşmiş ve bu da doğrudan ortamın değişen koşulları ve atmosfer'in oksijen içeriğinde dereceli bir artışın etkileri belirleyici olmuştur. Demir cevheri birikiminin ileri bir evreye ulaşmasından sonra, 1,9-1,8 milyar yıl önce oksijenin kısmi basıncında bir artış olmuştur. Böylece, Yer'de yaşamın evriminde büyük bir aşama gerçekleşmiş ve ilk çok hücreli organizmaların yanı sıra, Orta Proterozoyik sırasında çeşitli bakteri ve alg türleri ortaya çıkmıştır (Şekil 8).

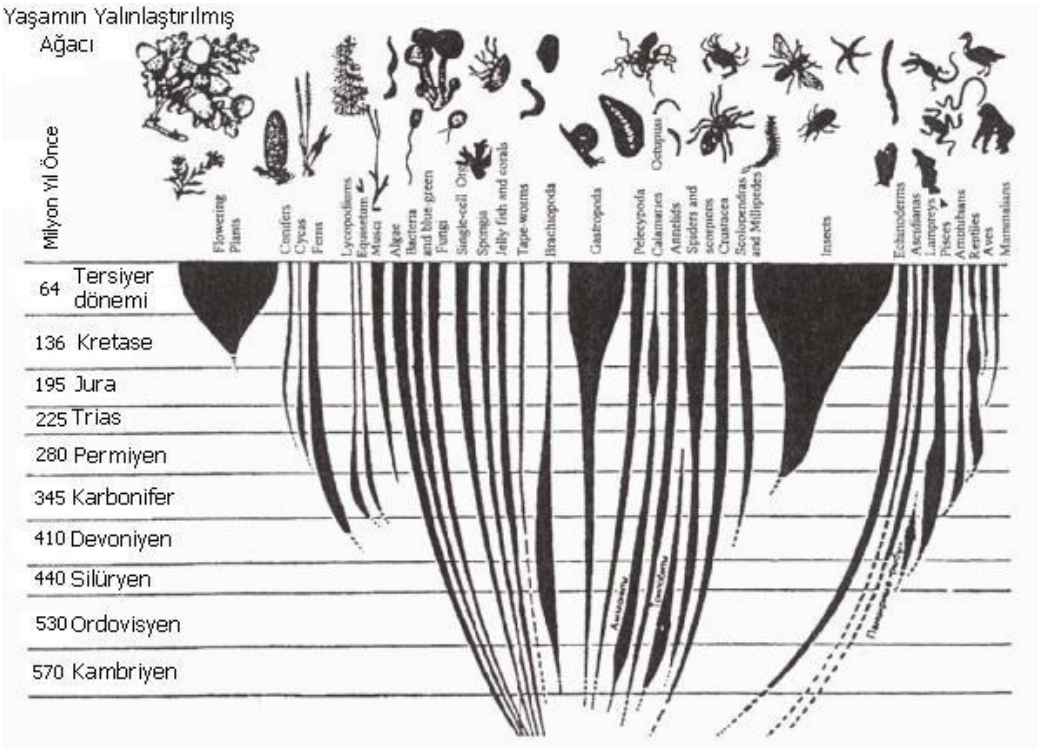


Şekil 8. Arkiyen ve Erken Proterozoyik zamanlarındaki başlıca mikro fosil türleri (Semikhatov ve diğerleri, 1999). Arkiyen zamanındaki mikro fosiller, basit sferik ve ipliksi nano bakterileriyle temsil edilmektedir (1,2), Trikhomes (3), ve olasılıkla Mavi bakteri (4). Erken Proterozoyik dönemi mikro fosilleri Mavi bakteriler (5-7), Cocci (8,9), ve karmaşık morfolojik biçimli Tirchomes (11-17), ve ayrıca Spiral (18), Sert (19), sferik (20) formlar (Sorokhtin ve diğerleri, 2007).

Ökaryotik mikroorganizmaların metabolizması düşük düzeydeki oksijenin tüketilmesine bağlı olduğundan, ökaryotik mikroorganizmalar, oksijenin kısmi basıncının günümüzdeki değerinden 0,01 düzeyinde bir artış olduktan sonra, daha hızlı üreyebilmişlerdir. Orta ve Geç Proterozoyik zamanları arasındaki sınırda ökaryotik organizmalarda çoğalma yoğun biçimde artmıştır. Yaklaşık aynı zamanda karadaki bakteriyel kolonizasyon aynı yaştaki kırmızı renkteki günlenmiş kayaların varlığı nedeniyle başlamıştır. Okyanuslarda oksijen üreten plaktonların biyoması, fosfor birleşiklerinin okyanus suyunda çözünmesi nedeniyle sınırlıdır (Shopf, 1982). Buna göre biyomas derişimi günümüzdeki değerlere yakın bir düzeyde ve okyanus kabuğu bazaltlarına göre dengede kalmıştır. Bu da okyanusal planktonların biyomasını okyanus suyu kütlesi ile yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde zaman içinde değiştirdiğini göstermektedir. Dolayısıyla yaklaşık 2 milyar yıl önce okyanusal mikroorganizmaların biyoması günümüzdeki değerinin yaklaşık 1/3'ü dolayında olduğu söylenebilir.

Yer'in tarihindeki yaşamın evrimi incelendiğinde Prekambriyen mantosunda yer alan serbest metalik demirin önemini gözetmek gerekmektedir. Manto gereci olan bu demirin okyanus ortası sırtlarda rift zonlarına ortaya çıkmış ve burada da suyla etkileşime geçerek iki değerlikli çözünebilir hidroksite dönüşmüştür. Bu da olasılıkla bikarbonat biçiminde tüm okyanusa yayılmıştır. İki değerlikli demir hidroksitin oksijenle olan reaksiyonu ile Prekambriyen planktonları tarafından türetilen oksijenin büyük bir bölümü demirin 3 değerlikli oksitlenmesi ile tüketilmiştir. Böylece daha büyük demir (örneğin götite dönüşerek) çökelleri oluşmuş ve Prekambriyen atmosferinde daha düşük oksijen basıncı gelişmiştir. Metalik demir tümüyle mantodan çekirdeğe transferinden sonra 600 milyon yıl önce oksijen tüketen organizmalar yok olmuş ve böylece atmosferde de oksijen artışı başlamıştır.

Atmosferde oksijenin artmasıyla birlikte yeni türler ortaya çıkmıştır. Örneğin balık türü ilk mikroorganizmalar, Wendiyen zamanında boy verdi. Bunların kalıntılarının çoğu jeolojik birimlerde görülmektedir. Kambriyen döneminde ise, iskelete sahip ilk hayvan formları, yani günümüzdeki flora ve fauna benzeri formlar ortaya çıkmıştır (Şekil, 9).



Şekil 9. Yaşam ağacı, Proterozoyik ve özellikle Fanerozoyik zamanda biyolojik bir patlama yaşanmıştır (Atterborough, 1979'dan kısmen değiştirilerek).

Proterozoyik ve Fanerozoyik zamanları arasında Yer'in biyolojik tarihinde (Biyolojik patlama kayıtları içermektedir) atmosfer nötr konumda iken hafif oksitlenmiş ve çeşitli oksitler oluşmuştur. Böylece canlı türleri organik gerecin oksitlenmesine dayalı metabolizmaya sahip bitkilerinin fotosentezi

ile yarışmaya ve seçimli bir sürecin gelişmesine sahne olmuştur. Koşullara uyum sağlayan formlar yaşamlarını sürdürmüş, diğerleri ise zamanla ayıklanmıştır.

Yer'deki yaşam, orta basınca sahip hafif oksitlenmiş atmosferdeki orta sıcaklıklardaki iklimin etkisi ile zenginleşmiştir. Arkiyen zamanındaki karbondioksitin egemen olduğu atmosferde (yüksek sıcaklık ve basınç altında) en ilkel termofilik bakteriler yaşayabilirdi. Yer'in jeolojik tarihinin geri kalan bölümünde de orta derecede sıcaklıklar egemen olmuş ve bu da biyolojik gelişmenin hızlanmasına yol açmıştır. Pleyistosen devresinde ortaya çıkan iklimdeki büyük soğuma kutuplarda buzullaşmaya yol açmıştır. Bu da yeryüzünde insanında gelişimini içine alan daha yüksek formların gelişmesini olumlu etkilemiştir.

Jeolojik evrim, yaşamın evrimi ve ekolojik ortam ilişkileri

Atmosferde oksijenin kısmi basıncının dereceli olarak artışına ek olarak, kıtaların devinimi, denizel transgresyon-regresyon, iklimdeki değişiklikler ve yaşam, karşılıklı birbirlerini etkilemiştir. Bu etkileşim, biyolojik türlerin ekolojik konumlarını değiştirmiş ve yaşamdaki yarışı hızlandırmıştır (Smith ve Briden, 1977). Buna göre, Fanerozoyik sırasında iki büyük küresel transgresyon olmuştur. İlk transgresyon Kaledoniyen Orajenezi (500-350 milyon yıl önce) sırasında (Ordovisiyen-Devoniyen aralığında) olmuş ve 200-250 m dolayında bir aralıkta etkin olmuştur. İkinci ve en büyük küresel transgresyon süper kıta Pangea'nın oluşumu nedeniyle gerçekleşmiş, Geç Jura-Kretase süresince 350-400 m aralıklarda etkin olmuştur. Buzullaşma sırasında kıtasal buzullardaki suyun toplanması nedeniyle küresel denizel regresyonlar meydana gelmiş ve bu da deniz yüzeyinde 120- 130 m'lik bir düşüşle sonuçlanmıştır. Yaklaşık 100 milyon yıl önceki Pangea'nın bileşenlerinin olası görünümü Şekil 10'da görülmektedir.

Şekil 10. Yaklaşık 100 milyon yıl önce Pangea'nın parçalanmasından sonraki evrede karasal alanların yaklaşık durumu (Smith ve Briden, 1977'den kısmen değiştirilerek).

Okyanusların transgresyonu ve regresyonları okyanus düzeyindeki östatik salınımlara bağlı olarak jeolojik geçmişte Yer'in ikliminde büyük değişikliklere neden olmuştur. Çünkü suyun sıcaklığı, atmosferdeki sıcaklığı çok daha fazla aşmış ve kara yüzeyine göre deniz yüzeyinde önemli ölçüde artmıştır. Orta Kretase sırasında kıtaların % 30'ü su altında kalmış, bu da orta ve yüksek enlemlerde (kutuplara yakın) iklimin büyük ölçüde değişmesine yol açmıştır. Böylece kıta kenarındaki denizde yaşamın gelişmesi kolaylaşmış ve orta enlemler ile kutba yakın enlemler arasında sıcaklık değişimi gerçekleşmiştir. Regresyon döneminde deniz suyu çekildiği gibi, sıcaklıkta mevsimsel değişiklikler sonucu, Yer'in iklimi, daha çok karasal nitelik kazanmıştır.

İklimi ve enlemlere ait zonları etkileyen temel süreçler şunlardır: (1) kıtaların devinim ve kutba yakın enlemlerdeki buzullaşma nedeniyle Yer'in Presesyon (yalpa etkisi ile eksen açısı değişimi) açısındaki değişimler (2) Bakteriler tarafından azotun atmosferden uzaklaştırılması ile kıtaların ve okyanusların dağılımı, iklimdeki değişimleri önemli ölçüde etkilemektedir. Böylece buzul çağlarında

oluşan karasal alanların litosferik levhaların devinimine bağlı olarak, kutba yakın bölgelere transfer edilmesi, daha sonra dağların tepelerinin buzullarla kaplanması, böylece Yer'in küresel bir soğutucu gibi davranması olasıdır. Buna ek olarak kıtasal masiflerin konumlarındaki değişimler denizel suların transgresyonunu ve regresyonunu etkilemektedir.

Antarktika'daki büyük buzullaşma, iklimdeki genel soğuma nedeniyle başlamış ve Avustralya'nın kopup kuzeye doğru hareketi ile Drake boğazının Tierra del Fuegonun güneyinde açılmasıyla maksimum düzeye ulaşmıştır. Bu olaydan sonra Güneydeki akıntılar oluşmuş ve bu da Antarktika'dan Avusturalya'nın tümüyle kopmasıyla komşu okyanuslarda sıcak akıntıların oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Antarktika günümüzde de ayrı bir kıta olarak varlığını sürdürmektedir.

Yukarıda tartışılan Yer'in küresel iklimindeki değişimlerinin evrimi ışığında son 550-600 milyon yılları arasındaki önemli ekolojik değişimlerin doğası analiz edilebilir. Atmosferde oksijenin kısmi basıncındaki dereceli artış yaşamın karaya doğru taşınmasına izin vermiştir. Bu emsalsiz geçiş denizel organizmaların metabolizmasında önemli ölçüde değişim göstermekte ve akciğere sahip hayvanların ortaya çıkışına işaret etmektedir.

Ayrıca Yer'in iklimi, Ay-Güneş sistemi tarafından etkilenmiş, yani presesyon açısının küçülmesi önemli bir soğuma dönemine yol açmıştır. Proterozoyik ve Fanerozoyik zamanında ise azot tüketen bakterilerin faaliyetleri atmosferde dereceli bir soğumaya yol açmıştır. Diğer taraftan süper kıtaların oluşumu, küresel ısınmaya yol açmıştır. Yukarıda sunulan faktörler gözetildiğinde, Proterozoyik ve Fanerozoyik zaman aralığında genel bir soğumanın (10-15 ^{0}C) meydana geldiği ve sıcaklığın 800 milyon yıl boyunca 8-10 ^{0}C salınım yapmasıyla bu küresel soğumanın gerçekleştiği söylenebilir.

Fanerozoyik zamanında ve daha öncesinde küresel tektonik süreçler ekolojik evrimde önemli bir rol oynamıştır. Kıtaların ve okyanusların Fanerozoyik sırasında dağılımları, büyüklükleri ve konumlarındaki değişimler denizel akıntıların yapısını ve büyüklüğünü önemli ölçüde etkilemiş ve biyolojik üretimin dağılımında doğadaki koşullara en iyi bir biçimde uyum sağlamak üzere ekolojik sistemlerin oluşumunu etkilemiştir.

Denizel türlerin çoğu (yaklaşık % 90'ı) 200 m'den daha sığ yerlerde adaların kenarında sığ sularda ve kıta sahanlıklarında yaşamını sürdürmektedir. Denizel faunanın en gelişmiş türleri günümüzde tropikal kuşaklarda gözlenmektedir. Bu bölgeler, yüksek düzeyde türlerin büyük bir artışına sahne olmaktadır. Denizel faunanın biyoması ve çeşitliliği orta subtropikal enlemlerde daha azdır. Kutba yakın bölgelerde oksijenin daha yüksek düzeyde çözünmesi nedeniyle biyolojik üretim tekrar artmaya başlar. Denizel faunanın en az üretim yaptığı yer, orta subtropikal enlemlerdedir.

Günümüzde sığ denizel faunanın değişimi, besin kaynaklarındaki değişimlerle karşılanabilir. Bu da mevsimsel iklim değişikliğinde önemlidir. Enlemlerle ilgili faktörler ek olarak, çağdaş denizel faunanın çeşitliliğini, boylamlardaki faktörler de etkilemektedir. Özellikle denizel faunanın daha büyük bir düzeye ulaştığı yerler, bu faunanın gereksinimi olan gıdanın sağlanabildiği duraylı bölgelerdir. Her enlem kuşağında, denizel türlerin önemli ölçüde arttığı büyük denizel sahanlıklar ve takımadaları vardır.

Fosfor ve organik bileşiklerin zengin olduğu sularda yüzeye yakın kıta yamaçları boyunca sığ denizel organizmalara gıdanın bol oranda sağlanması mümkündür. Genel olarak bu tür zonlar, tropikal kuşaklarda okyanusların kıyıları boyunca vardır. Bu tür zonlarda farklı yaşam biçimleri de ortaya çıkarabilir. Yani, yaşam, subtropikal ya da ekvatoral bölgelerdeki göreli olarak sığ ortamlarda da zenginleşebilir. Bu yeni yaşam örnekleri, Pasifik ve Atlantik kıyılarındaki Peru ve batı Afrika kıyılarında görülebilir.

Derin okyanusal hendekler (yitim zonları), rift oluşumu sürecinde sığ denizel faunanın gelişmesine önemli bir engel oluşturmaktadır. Volkanik adalarda okyanusal litosferin mantonun içine daldığı bölgelerde ve volkanik adaların okyanusal levha içinde bir zincir oluşturduğu yerlerde, denizel yaşamın üretimi için uygun koşullar vardır. Genellikle bu volkanik ada zincirleri bir çizgi boyunca sıralanmakta ve aynı iklim kuşağında bulunmamaktadır. Türlerin yerleşimlerindeki diğer önemli olgu da, kurtçuk biçimindeki organizmaların göçüdür. Dünya'daki sığ denizel türlerin tümü ortak bir kökene ait olmayabilir. Kıtaların levhalarındaki değişimler nedeniyle sığ sulardaki fauna, farklı bölgelerde

bağımsız olarak gelişmektedir. Bazı olasılıklara göre, sığ sularda türlerin sayısı hayal edilen tür sayılarından çok daha fazladır. Benzer biçimde derin su faunasının bazı türleri yeni yerleşim süreçlerinde de gelişebilir. Pasifik okyanusunun hidrotermal kaynaklarında, biyolojik topluluklardan büyük borulu kurtlar ve iki kabuklu midyeler egemendir. Oysa Atlantik okyanusunun hidrotermal kaynaklarına yakın yerlerde, kükürt tüketen bakterilere uyum sağlamış küçük karidesler yaşamaktadır.

Yukarıda tanımlanan faunanın ortaya çıkışına dair önemli hususlar: (1) kıtaların devinimine ilişkin veriler, (2) Dünyanın okyanus düzeylerine ilişkin statik değişimlerle ilgili bilgiler, (3) yukarıdaki 2 temel faktör ışığında, iklimle ilgili sonuçların analizini kullanarak Fanerozoyik süresince sığ denizel fauna gruplarındaki değişimler açıklanabilir. Ayrıca Paleozoyik ve Mezozoyik arasındaki sınırda, bazı hayvan türlerinin yok olmasının nedenlerini açıklamak mümkündür. Paleozoyik sırasında kıtasal masiflerden çoğu birbirinden ayrılmış ve ekvatora yakın enlemlerde konumlanmıştır. Kıtaların tümü büyük kıtasal sahanlıklara sahipti. Bu da Ordovisiyen sürecinde çeşitli formların korunmasına ve tür çeşitliliğinin artmasına yol açmıştır.

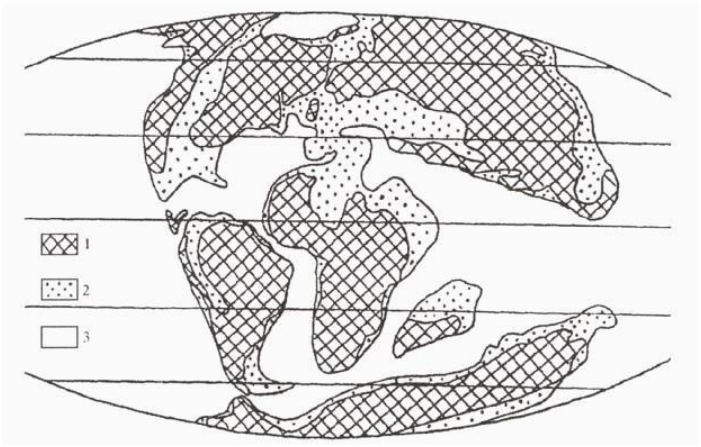
Permiyen-Triyas geçişinde, Yer'in Presesyon açısı büyük ölçüde (30-40^{O}) artmıştır. Bu dönemde, Yer'in iklimi de önemli ölçüde değişmiştir. Ayrıca Permiyen-Trias transgresyonu sığ denizel bölgelerin önemli ölçüde azalmasına yol açmıştır. Bu koşullarda, yalnızca sığ su türleri, yani bunların deniz dibinde besin bulabilen türleri ayakta kalmıştır. Paleozoyik ve Mezozoyik arasındaki sınırda yaşamını sürdüren türler, duraysız çevresel koşullar altında gelişmiş, yeni çevresel koşullara uyum sağlamayanlar yok olma ile karşı karşıya gelmişlerdir. Böylece Paleozoyik ve Mezozoyik sınırı arasındaki denizel faunanın çoğu türlerinin hızlı bir biçimde yok olduğu, bunun da süper kıtanın ekolojik alanlarındaki küçülmeden ileri geldiği ve bu süper kıtada sığ kıta sahanlıklarının biyolojik üretiminde bir azalma ile sonuçlandığı kabul edilmektedir.

Erken Kretase sırasında Pangea süper kıtası güçlü bir manto akıntısının yükselmesi nedeniyle parçalanmaya başlamıştır. Bu manto yükselimi süper kıtanın merkezinde (ortasında) oluşmuştur. Bu sürece tektonik etkinliğin artışı önemli ölçüde eşlik etmiş ve yaygın bir transgresyonla sonuçlanmıştır.

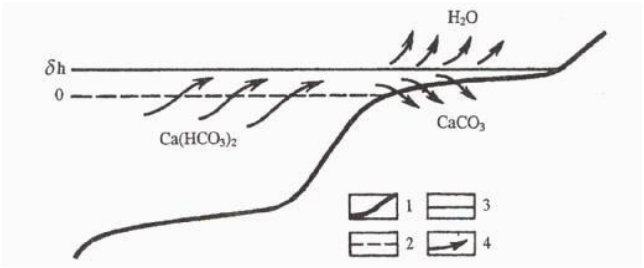
Kıta sahanlıklarında Kretase transgresyonu karbonat tüketen faunanın ve mikrofloranın gelişmesine yol açmıştır. Özellikle Hindistan cevizi ağacı liflerinde yaşayan mikroflora kalın kireçtaşı katmanlarının oluşmasına yol açmıştır. Aynı transgresyon açık okyanuslarda mercan atollerinin gelişmesini engellemiştir. Orta Kretase sırasında karadan denize doğru yaygın olarak malzeme taşınmıştır. Bu da denizel çökelimin önemli ölçüde azalmasına yol açmıştır. Fakat açık okyanuslarda kalsiyum karbonat oluşumu hızlanmıştır. Böylece kıta sahanlıklarında karbonattan oluşan kalın formasyonlar oluşmuştur (Sorokhtin ve Uskhakov, 1991).

Suyun kıtalarda denizlere akışı sırasında kısmen buharlaşma ~~ve~~ tuz, kalsiyum karbonat ve fosfor birleşiklerinin artışına yol açmıştır. Bu sırada kıta kenarı denizlerin çoğu açık denize açılmaktaydı. Bu dönemde evaporit oluşumları çok yüksek değildi. Geniş ve sığ denizel havzalardaki sürekli ısınma, kalsiyum karbonat ve fosfor birleşiklerinin yüksek düzeyde oluşmasına ve böylece yaşamın hızlı bir şekilde gelişmesine yol açmıştır. Sığ sularda mercanlar, midyeler ve diğer iskeletlere sahip hayvanlar gelişmiş ve Kretase'nin ortasında rudist-mercan içeren kireçtaşı katmanlarının yoğun biçimde oluşmasına neden olmuştur.

Kretase sırasında Yer'i oluşturan kıtaların konumu, günümüzdeki konumundan farklıydı (Şekil, 11). Yani, sığ kıta kenarı küçük denizler çoğunlukla kurak iklim kuşaklarında yer almakta idi. Bu bölgelerde buharlaşma yağışa göre daha egemendi (Şekil, 12). Ayrıca kıta kenarı denizlerde ve akarsuların denize kavuştuğu yerlerde türbiditler çökelmiştir. Kıtalardan akarsularla taşınan karbonatlar önce kıta kenarı denizlerde çökelmiş ve bu çökeller açık okyanusa kadar gelişmiştir.



Şekil 11. Kretase sırasında sığ kıta kenarı ve derin denizlerin ve karanın genel dağılımı (Kuznetsov, 2003'den kısmen değiştirilerek).(1) Kara, (2) Sığ kıta kenarı denizler ve (3) Derin okyanusal kıtalar (Sorokhtin ve diğerleri, 2007).

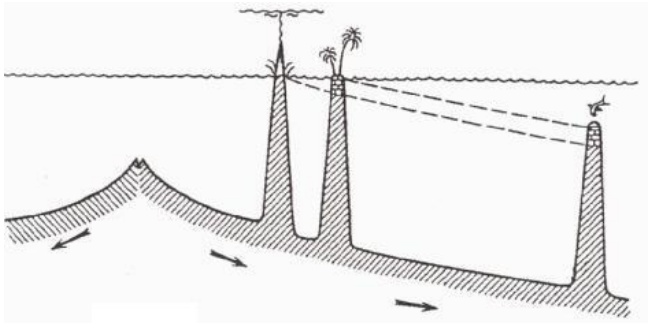


Şekil 12. Buharlaşma ve karbonat yığışımı dağılımında denizel transgresyonun etkisi. (1) Hipsometrik eğim, (2) Günümüz deniz yüzeyi, (3) Kretase sırasında deniz yüzeyi, (4) Karbonatın ve suyun buharlaşması ve göçü (Sorokhtin ve diğerleri, 2007).

Sonuç olarak, okyanus suları, Orta Kretase döneminde kalsiyum karbonat ve fosfat birleşikleri açısından önemli ölçüde fakirleşmiştir. Apsiyen-Senomaniyen sırasında yaklaşık 300 atol, Pasifik okyanusundan yok olmuştur. Bu atoller daha sonra ucu kesik deniz altı tepelere dönüşmüş ve yaklaşık deniz yüzeyinden 1500 m kadar deniz dibine gömülmüşlerdir. Atollerin temel birimleri olan volkanik yapılar, Yer'in dönüşü sırasında geçerli olan litosferik levhaların deformasyonu ve tektoniği süreçlerinde oluşmuşlardır.

Senozoyik yaşlı pelajik çökellerin artışında, açık okyanuslarda atollerin biyohermlerinin yapılanmasında fosfor ve karbonat birleşiklerinin az olması etkili olmuştur. Bu da resif biyotasının gelişmesine ve bunların iskeleti ile koruma yapıları için gerekli olan kalsiyum karbonatın yeterli olamaması nedeniyledir.

Kalsiyum karbonatın önemli ölçüde azlığı nedeniyle rudistler, mercanlar ve diğer iskelete sahip organizmaların, okyanustaki çökelim sırasında, güçlü yapılarının oluşamamasına neden olmuştur. Bu koşullarda okyanus adalarındaki resif oluşumu, okyanusal adaların düzenli bir şekilde çökmesi nedeniyle yeterli ölçüde büyüyememiştir. Böylece resiflerin erozyonu, sığ denizel faunanın yeterince gelişmemesine ve daha önce oluşmuş olan atollerin gömülmemesi nedeniyle, deniz altı ucu kesik tepelere dönüşmüştür (Şekil 13).



Şekil 13. Ucu kesik tepelerin (Giyotların) oluşumu (Sorokhtin ve diğerleri, 2007).

Buzul çağları sırasında okyanuslardaki su kütlelerinin sürekli devinimi sırasında deniz suyunun tabana yakın kesimleri oksijen tarafından doymuş ve bentos formların gelişmesi için bir geçiş ortamını yaratmıştır. Buzullaşmanın olamadığı sıcak dönemlerde okyanus suyunun akımının da olmadığı durgun sularda oksijen birikimi özellikle derin bölgelerde az olmuştur. Bu koşullarda suyun hidrojen süfit tarafından kirlenmesi sıkça meydana gelmiş, bu da organik çamurların oluşumuna yol açmıştır. Yeni buzul çağının başlamasından sonra bentos formlar derin denizel bölgelerde pelajik faunanın yeniden gelişmesi nedeniyle bentonik formlar oluşmuştur.

Derin deniz sondajları ile elde edilen verilere göre, çürümüş organik çamurlar, Pasifik okyanusunun karbonat çökellerinde vardır. Bu da, bu okyanuslarda bentonik faunanın genç olduğunu, bu çökellerin olasılıkla 55 milyondan da yaşlı olmadığını göstermektedir (Nesis, 2001).

Memelilerin birbirinden farklılaşmasının temel nedeni birbirinden daha önce ayrılmış (8-10 adet) karasal bölgelerin varlığı nedeniyledir. Bu da Erken Senozoyik sırasında meydana gelmiştir. Geç Senozoyikte ise bazı kıtasal fragmanların birbirine eklenmesi ekolojik bölgelerin sayısındaki azalmaya yol açmıştır. Başlıca 4 ekolojik bölge ayırt edilebilmektedir; (1) Avusturalya, (2) Orta ve Güney Amerika, (3) Afrika (Güney Sahra'ya kadar), (4) En büyük olanı ve Avrasya'yı içine alan Hindistan, Kuzey Afrika ve Kuzey Amerika. Karasal memelilerin 13 takımı yok olmuştur. Bu seçimli süreçte Senozoyik'in ilk yarısında yer alan takımlar tümüyle evrime uğramış, ancak tümüyle yok olmamıştır. Kıtaların birbirine eklenmesinden önceki memeliler, tümüyle ayrık bölgeleri temsil etmekteydi. Bunlardan değişen çevresel koşullara uyum sağlayanlar ayakta kalmışlardır. Dünya'daki okyanusların Geç Mezozoyik ve Senozoyik evrimi gözetildiğinde, kıtaların parçalanması ya da birbirleriyle eklenmesi sonucunda jeolojik tarih boyunca tüm önemli biyolojik olayların bu devinime bağlı olarak geliştiği sonucuna varılabilir.

Ayrıca, Senozoyik sırasında Atlantik okyanusunun kuzey kutbu oluşmuştur. Ayrıca Senozoyik başlangıcında Arap levhası Afrika levhasından ayrılmış ve Kızıl Deniz ile Aden körfezi oluşmaya başlamıştır. Orta Senozoyik'te Hindistan levhaları Asya ile çarpışmış ve dünyanın en büyük dağ dizisi Himalayalar oluşmuştur. Oligosen ve Miyosen devreleri arasındaki sınırda eski okyanuslardan Tetis kapanmaya başlamış ve Orta Miyosen'de tümüyle kapanmıştır. Aynı dönemde Alp-Himalaya kıvrım kuşağının Avrupa tarafındaki bölgesi kıvrımlanmıştır. Tetis'in kapanmasının Dünya okyanuslarındaki sıcaklıkta yerel bir artışa neden olması önemlidir. Geç Miyosen'de Kafkasya dağları yükselmiş ve aynı zamanda Orta Asya ve Himalayalar oluşmuştur. Büyük Alp-Himalaya kuşağının oluşumuna neden olan süreç, günümüzde de devam etmektedir.

Kıtalarda flora ve faunanın evrimi kıtaların devinimini ve Yer'in iklimini etkilemiştir. Aslında bu da büyük kıtaların parçalanması, birbirinden ayrılması ve yeni fragmanların oluşumu biçiminde açıklanabilir. Kıtaların birbirinden ayrılması ve yeniden eklenmesi ile ilgili ardışık olaylar, yeni ekolojik yerlerin oluşumuna ya da eski ekolojik ortamların yok olmasına yol açmaktadır. Kıtaların birbirinden ayrılması ya da eklenmesi, türlerin evrimleşip korunmasında ya da yok olmasında önemli bir etmendir. Korunan ekolojik ortamlardan bir tanesi de Avustralya ve Güney Amerika'daki endemik formlardır (Meyen,1971, 1981). Kıtaların çarpışması sonucu meydana gelen iç havzalara nem ve yağmur bulutlarının ulaşması engellendiğinden iç havzalarda oluşan çölleşmeler yaşamı büyük ölçüde olumsuz olarak etkilemiştir.

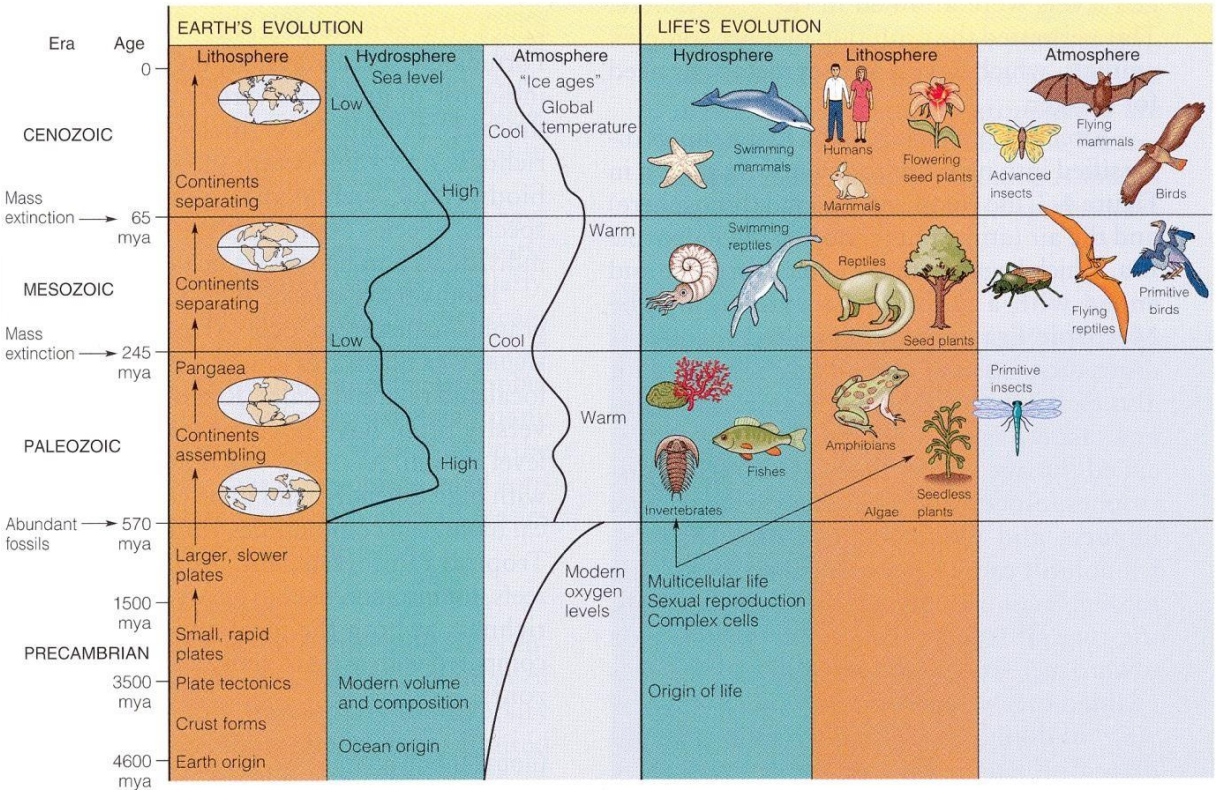
Kuvaterner sırasında küresel iklimdeki dalgalanmalar, buzul çağlarının ve buzul arası dönemlerin periyodik oluşmasına yol açmış ve Yer'in insan populasyonunu belirleyen göçlerle şekillenen insanın evrimini de büyük ölçüde etkilemiştir. Örneğin İnsan'ın Amerika'ya yerleşimi, olasılıkla Bering boğazının okyanus düzeyinin alçalmasına bağlı olarak kara haline gelmesi ve Vurmiyan buzullaşmasının da etkisiyle yaklaşık olarak 60 ile 12 bin yıl önce olmuştur. Buzullaşma 20 bin yıl önce maksimum dengeye ulaşmış ve 20-12 bin yıl önce insanlar Amerika'ya yerleşmiştir. Yani, 3,5 milyar yıl boyunca Yer'in biyosferi jeolojik gelişmelere bağlı olarak bir sistem içinde gelişmiştir. Küresel biyosferin evrimi ile ilgili çalışmalar bu sistemlere sağlıklı bir yaklaşım yapıldığında başarılı olabilirler.

Bunun için:

(1) Eski devirlerdeki jeolojik gelişmelerin özenle gözetilmesi, (2) Yer'in evrimindeki Paleotektonik ve jeokimyasal koşulların gözetilmesi, (3) Yer'in eski ikliminin değerlendirilmesi, (4) Atmosferin bileşimi ve basıncında biyotanın etkisinin incelenmesi, (5) Kıtaların deviniminin araştırılması ve (6) Eski okyanusların kapanması ve açılması ile ilgili bilgilerin göz önüne alınması gerekmektedir.

Dünya'da Yer'in gelişiminde jeolojik evrim süreçlerinin doğrudan etkisi gözetildiğinde, jeolojik süreçlerle yaşamın gelişimi arasında bir bağ olduğu görülür. Azot tüketen bakterilerin atmosferik basınca olan etkisi bir örnek olarak gözetilebilir. Mezozoyik'in başlangıcında yaşam biçimleri, Yer'in atmosferinde oksijen derişimlerinin denetiminde öncü bir rol oynamıştır. Bu da Yer'in ikliminin evriminde belirleyici olmuş ve yüksek düzeyde yeni türlerin gelişmesine neden olmuştur. Organik yaşam, karbonatların, fosfatların, kömür, petrol ve doğal gazın oluşumunda kayaların günlenme sürecinde, mineral yatakların oluşumunda ve kabukta gereçlerin dolaşımında önemli bir etkiye sahiptir (Sorokhtin ve diğerleri, 2001).

Yer'in evrimi ve yaşamın evrimi arasındaki ilişkiler, iklimi de içinde barındıran deniz düzeyi ve atmosferdeki sıcaklığın değişim süreçleri Şekil 14'de görülmektedir (Mc Kinney ve diğerleri, 2007). Jeolojik zaman geçişleri, çok sıcak ya da çok soğuk dönemlere karşılık gelmektedir. Bu dönemler de yeryüzünü şenlendiren çeşitli türlerin yok olduğu dönemlere karşılık gelmektedir.



Şekil 14. Yer'in evrimi ve Yaşamın evrimi arasındaki ilişkiler: İklimi de içinde barındıran deniz düzeyi ve sıcaklık değişimleri (Mc Kinney ve diğerleri, 2007).

Sonuç olarak, Yer'in ikliminin jeolojik tarihi, yaşamın kökeni ve evrimi ile kıtaların devinimi ve ekoloji üzerindeki etkileri arasında doğrudan ilişkilerin varlığı açıkça görülmektedir. Bu bağlamda, jeolojik zamanların geçişinde çeşitli türlerde belirlenen toplu yok olmaların ya çok sıcak ya da çok soğuk dönemlerde yaşandığı, başka nedenlerden kaynaklansa bile; iklime uyum gösteren türlerin hayatta kaldığı, diğerlerin de yok olduğu ve ayrıca ortama uyum gösterenlerin de gelişimlerini sürdürdüğü görülmektedir. Çeşitli jeolojik devirlerde yaşamış, günümüzde benzeri bile olmayan kimi türlerin oluşturduğu fosil mezarlıkları, iklimin belirleyici etkilerine tanıktır.

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DOĞASI

İklim, yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ve gözlenebilen hava koşullarının ortalama bir durumunu ifade eder. Belli bir bölgede egemen olan sıcaklık, yağış ve rüzgârların oluşturduğu ***'ortalama meteorolojik koşullar'*** iklimi belirler. Bu koşullar, karaya gelen güneş ışınları ile karadan uzaya yayılan enerji arasındaki kararlılığa bağlıdır. Söz konusu kararlılık ise, atmosfer, okyanus ve kara arasındaki etkileşimle şekillenmektedir. Dolayısıyla, iklim değişimi ile değişimi etkileyen koşullar arasındaki ilişkilere eğilmekte yarar vardır.

Atmosferi etkileyen "***Sera Etkisi***" özü itibarıyla, doğal bir olaydır. Bu etki olmasaydı, Yerküre'nin yüzeyine yakın bölgelerde sıcaklık ortalaması -19 ^{0}C olacak ve yeryüzünün tümü buzullarla kaplanacaktı. Böylece hiçbir canlının yaşaması mümkün olmayacaktı. Ortalama yeryüzü sıcaklığı söz konusu "doğal" sera etkisi nedeniyle 15 ^{0}C'dir. Bu da doğal sera etkisinin yeryüzünü 34 ^{0}C dolayında ısıttığı anlamına gelmektedir. Atmosferdeki sera gazlarının miktarı sabit kaldığı sürece, yer sıcaklığında yani iklimde önemli bir değişim beklenmemektedir.

Şiddetli yağmurlar, verimli toprakların taşınmasına (erozyonuna) neden olacak, bu da bitki örtüsünün özellikle ormanların tahribine ve dolayısıyla çölleşmeye yol açacaktır. Bitki örtüsünün değişmesi hayvanları etkileyecektir. Özellikle otçul hayvanlar, besin bulabilmek için kuzeye doğru göç edip, uygun yaşam alanı arayışına girecektir. Kuşlar, bitkiler vejetasyon dönemine (tohumdan gelişip yeniden tohum verene kadar olan süreye) erken gireceğinden, göçlerini yeniden düzenlemek zorunda kalacaklardır.

Ayrıca, yağmur düzeni değişime uğrayacak, bu da ortak kullanıma açık su kaynaklarını etkileyecektir. Dolayısıyla, su savaşlarının yolu açılacaktır. Günümüzdeki kestirimlere göre 1,4 milyar insan, su sorunu olan bölgelerde yaşamaktadır. 2025 yılında bu rakamın 5 milyar insana ulaşabileceği varsayılmaktadır. Ayrıca, denetlenemeyen iklim değişikliğinin doğal afetlere yol açması kaçınılmazdır. Küresel sıcaklıklardaki artış, deniz düzeyinin yükselmesine neden olabileceği gibi kitlesel göçleri de tetikleyecektir. Bu da doğal olarak sosyal dengesizliklere ve hatta çatışmalara zemin hazırlayacaktır. Böylece küresel iklim değişikliği, küresel terörizme de yol açacaktır. Ve insanlığın geleceği açısından tam anlamıyla bir kaos yaşanacaktır. Bu çerçevede, iklim değişikliği ile mücadele etmek, ahlaki bir sorumluluktur.

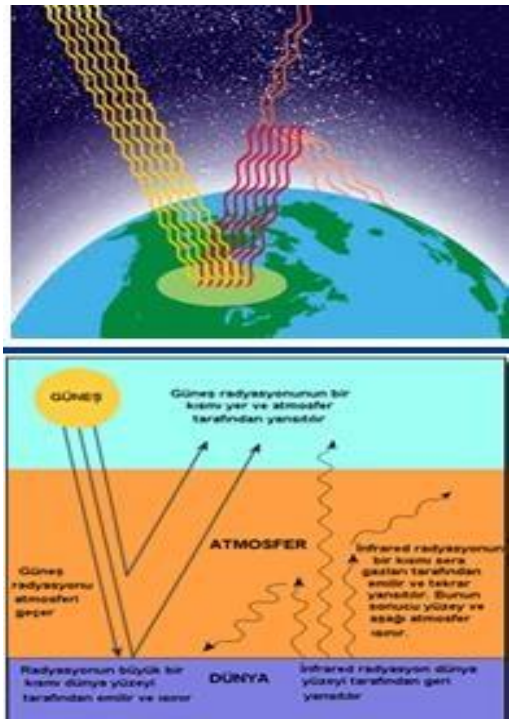
Günümüzdeki küresel ısınma olgusunu, tüm jeolojik zamanlarda oluşan doğa kaynaklı nedenleri göz ardı etmeden tartışmakta yarar vardır. Günümüzde, insana kaynaklı etmenlerin sonucu olarak, özellikle fosil yakıtların bir enerji hammaddesi olarak kullanılması ve çeşitli ulaşım araçlarından ortaya çıkan gazlar, tarım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan metanol, atmosferde bir gaz örtüsü oluşturmaktadır.

"Sera gazları" olarak tanımlanan bu örtüde gazların derişimi % 50 artmıştır ki bu gazların en önemlisi fosil yakıtlardan ortaya çıkan CO_2'dir. Ayrıca çeşitli faaliyetler sonucu ortaya çıkan ozon, metan, kloroflorokarbon (CFC) ve azot oksitler (NO_X) gibi kimyasal maddeler de sera gazları kapsamında yer almaktadır. Sera gazlarının bir bölümünü su buharı oluşturur.

Çizelge 3'de küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının emisyon kaynakları ve bu kaynakların emisyona katkı oranları % olarak görülmektedir. Sera gazları, güneşten gelen ışınların elektromanyetik dalgalar halinde yeryüzüne ulaşması ve yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının atmosfere dönüşü sırasında önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 15).

Çizelge 3. Bazı sera gazları ve bunların küresel ısınmaya katkıları ve ilgili oldukları emisyon kaynakları (RSHM ve ATİT, 2000).

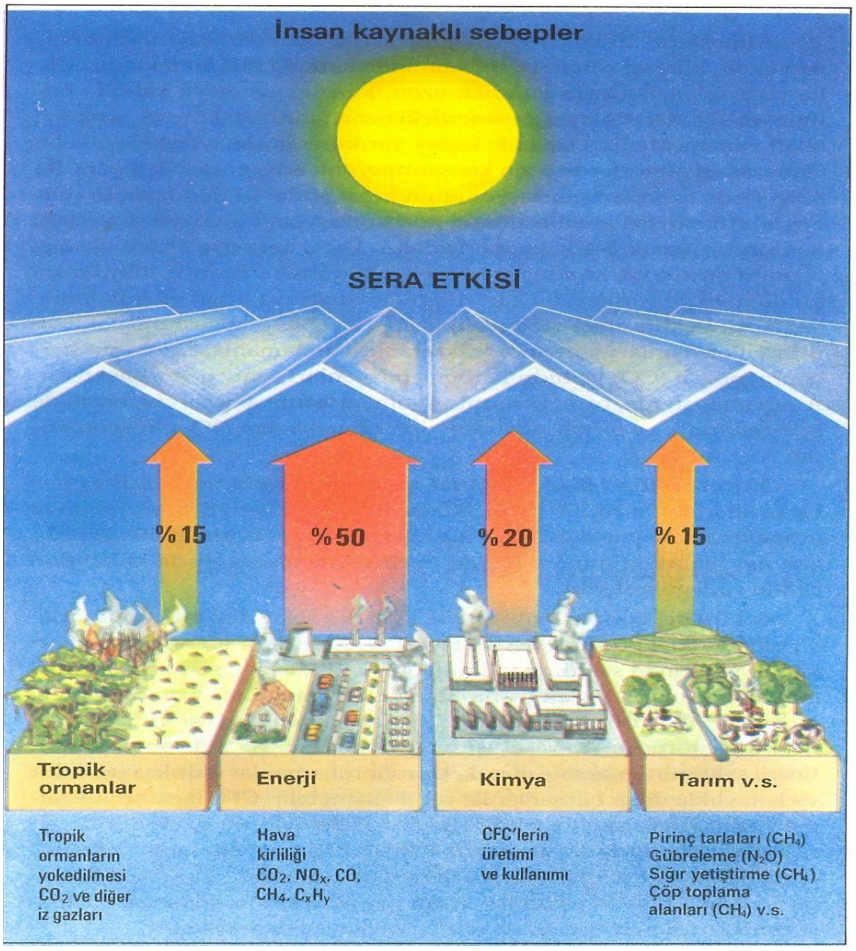
İz gazları	Katkı oranı (% olarak)	Emisyon kaynakları
CO_2	%50	• Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlarının yakılması • Tropik ormanların yok edilmesi
CFC'lar	%22	• Sprey kutularındaki aerosoller • Buzdolaplarındaki soğutucu maddeler • Özellikle elektronik. sanayiinde kullanılan temizleme maddeleri • "Aircondition" sistemleri • Sert ve yumuşak köpük üretimi
CH_4	%14	• Pirinç tarlaları • İneklerin mideleri • Biyomasın yakılması • Çöp toplama alanları • Doğal gaz boru hatlarındaki kaçaklar • Kömür madenleri
Ozon	%7	• Trafik • Termik santrallerdeki yanma olayları • Tropikal ormanların yok olması
N_2O	%4	• Tarımda suni gübre kullanılması



Şekil 15. Yerküre atmosfer sisteminde sera gazlarının absorbsiyonu ve yansıması ile ilgili bazı yapay görüntüler (RSHM ve ATİT, 2000).

Güneş ışınlarının yeryüzüne gelişi, soğurulması ve yansıması ile ilgili akışlar ayrıntılı olarak bilinmektedir. Güneşten gelen enerji % 100 olarak kabul edilirse, bunun % 70'i Yerküre Atmosfer Sistemi içinde soğurulmakta ve büyük miktarı yeryüzünde olmak üzere ısıya dönüşmektedir. % 30'luk bir radyasyon ise atmosfere tekrar yansımaktadır. Yeryüzü de atmosferdeki kızılötesi radyasyon ışınlarıyla ısınmaktadır. Isı dengesini sağlamak üzere, Yerküre yüzeyinin kendisi de kızılötesi radyasyonu atmosfere vermektedir. Bu radyasyon da bulutlar ve sera gazları tarafından tutulmaktadır. Radyasyonun yaklaşık % 13-15 kadarı ise uzaya dönmektedir (RSHM ve ATİT, 2000).

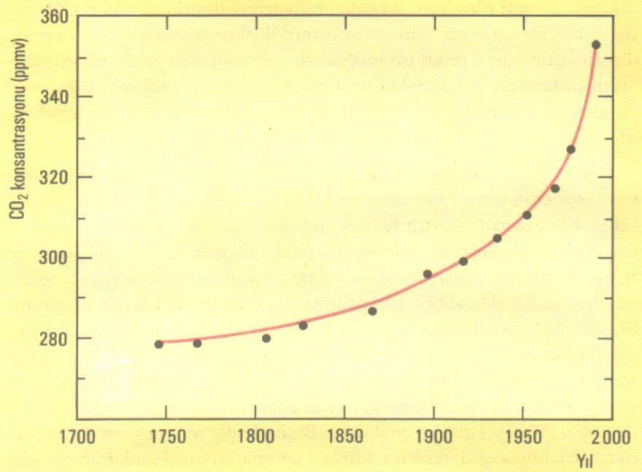
Şekil 16'da ise, sanayide sektörel dağılıma bağlı olarak, insan kaynaklı sera gazlarının etkilerinin nedenleri ve % oranları görülmektedir. Özellikle son yıllarda bu gazların atmosferdeki derişimleri önemli ölçüde artmıştır. Çünkü insanoğlu tarafından fosil yakıtların yakılması ve ormanların tahribatı sonucu atmosferde gittikçe artan oranda CO_2 yoğunlaşmaktadır.



Şekil, 16. İnsan kaynaklı sera gazlarının sektörlere göre % dağılım oranları (RSHM ve ATIT, 2009).

Ne var ki sanayi devriminden sonra, CO_2 başta olmak üzere çeşitli gazların atmosfere daha fazla verildiği görülmektedir. Burada, CO_2'in sera gazlarının oluşumundaki katkı payı'nın su buharının katkısı dışında % 50 dolayında olduğu görülmektedir. Atmosferdeki CO_2'in derişiminin (konsantrasyonunun) özellikle sanayi döneminde zamana bağlı olarak değişimi de Şekil 17'de görülmektedir.

Sonuç olarak, çeşitli etkinlikler sonucu ortaya çıkan sera gazlarının atmosferin belli bir düzeyinde artması ve yoğunlaşması, yeryüzünden (elektromanyetik dalgalar halinde) yansıyan ısıl-radyasyonun uzaya yayılmasını önleyerek, bu ısının tekrar yeryüzüne yansımasına neden olmaktadır. Bu durum aynı zamanda küresel ısınmaya neden olan bir olgudur. Hesaplanan yıllık ortalama sıcaklıklar, 1900-2000'li yılların, yani yirminci yüzyılın en sıcak yılları olduğunu göstermektedir.

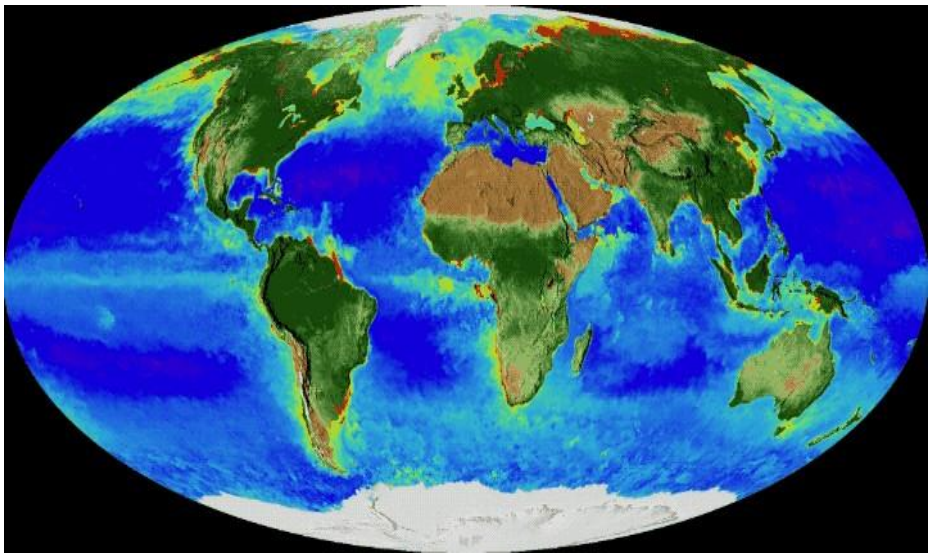


Şekil 17. Atmosferdeki CO_2 derişiminin Sanayi döneminde yıllara göre değişimi (RSHM ve ATİT, 2000).

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YERKÜRE'YE VE ÜLKEMİZE ETKİLERİ

Yer'in iklimin etkileyen başlıca doğa kaynaklı etmenler, yukarıda da belirtildiği gibi kıtaların devinimi ve volkanik etkinlikler, güneş radyasyonundaki dalgalanmalar, Yer'in yörüngesindeki değişimler ve canlı yaşamın atmosferin bileşimine etkileridir. Bu etmenler jeolojik geçmişte de Yer'in iklimini etkilemiş, günümüzde de etkilemekte ve gelecekte bu etmenlerin etkileri devam edecektir.

Yer'in jeolojik tarihi gözden geçirildiğinde iki önemli olguyla karşı karşıya olduğumuz açıkça görülmektedir: 1- Jeolojik geçmişte, günümüzden çok daha sıcak ve çok daha soğuk dönemlerin yaşandığı ve yaşamın da iklim koşullarının denetiminde şekillendiği açıkça görülmektedir. 2- Günümüzdeki küresel ısınmadan ağırlıklı olarak bizzat insanın kendisi sorumludur. Şekil 18'de NASA'nın son zamanlarda yayınladığı videodan alınan görüntüde, Dünya'daki dramatik iklim değişikliği açıkça görülmektedir. Şekil 19'da ise, uydudan çekilen başka bir görüntüye göre ülkemizin de risk altında olduğu görülmektedir.



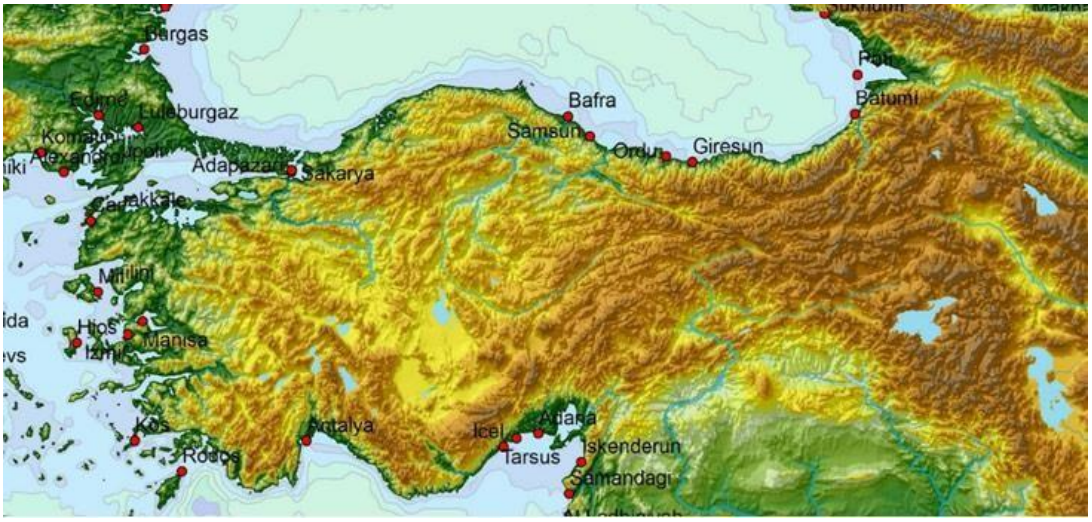
Şekil 18. NASA'nın Yayınladığı Video Dünya'daki Dramatik İklim Değişikliğini Gözler Önüne Seriyor. http://ekolojist.net/nasanin-yayinladigi-video-dunyadaki-dramatik-iklim-degisikligini-gozler-onune-seriyor/ (04 Haziran 2019, saat 09.00).

Şekil 19. Uydudan çekilen ve daha yakında başka bir görüntü https://www.facebook.com/KitapKoyu/photos/a.316817798488361/1204653993038066/?type=3&theater (04 Haziran 2019, saat 09.25).

Küresel iklim değişikliği, özellikle kutuplardaki buzulların erimesi ve ***deniz düzeyinin yükselmesi, düzensiz yağışlar, kuraklık ve küresel salgınlar*** gibi afetlere yol açacaktır.

Deniz düzeyinin yükselmesi, yaşam alanlarının sınırlamasına ve büyük göçlere yol açacaktır. Örneğin, yalnızca Antarktika ve Grönland'daki buzulların var olan erime hızı ile erimelerinin devam etmesi durumunda 2100 yılında deniz seviyesinin; en iyimser rakamla 0,75 metre, kötümser rakamla 2,5 metre yükseleceği değerlendirilmektedir. Diğer taraftan dünya üzerindeki, iç kesimlerdeki dağlarda bulunan buzullar dâhil tüm buzullar eridiği takdirde; deniz seviyesinin 71 metre (216 feet) yükseleceği kestirilmektedir. Buna göre, Türkiye ve yakın dolayı (Şekil 20) ve ülkemiz (Şekil 21) doğrudan etkilenecektir. Küresel ısınmadan özellikle İskenderun körfezi-(Çukurova), Marmara denizi ve Ege denizi kıyılarının etkileneceği açıkça görülmektedir.

Şekil 20. 2100 yılında Türkiye ve yakın dolayının olası görünümü. https://odatv4.com/dunya-koronadan-sonra-bunu-konusacak-mega-gel-gitler-21122045.html (21.12.2020 21:44).



Şekil 21. 2100 yılında Türkiye'nin kıyılarının olası görünümü. https://odatv4.com/dunya-koronadan-sonra-bunu-konusacak-mega-gel-gitler-21122045.html (21.12.2020 21:44).

Türkiye'deki buzullar da 20. yy'ın başından beri, iklim değişikliğine bağlı nedenlerden dolayı gerilemektedir. En hızlı geri çekilme güneydoğu Toroslar'da ve Doğu Karadeniz Dağları'nda bulunan buzullarda gözlenmektedir (Erinç, 1952). Ortalama gerileme hızı bu bölgelerde sırasıyla yılda 27,2 m/yıl ve 11,1 m/yıl'dır (Sarıkaya, 2011a ve b). Bu bölgelerde belirlenen buzulların gerileme hızları, Erciyes (4,2 m/yıl) ve Süphan (7,2 m/yıl) gibi volkanik dağlardaki gerilemeden daha fazladır (Sarıkaya, 2012; Sarıkaya, 2019'dan).

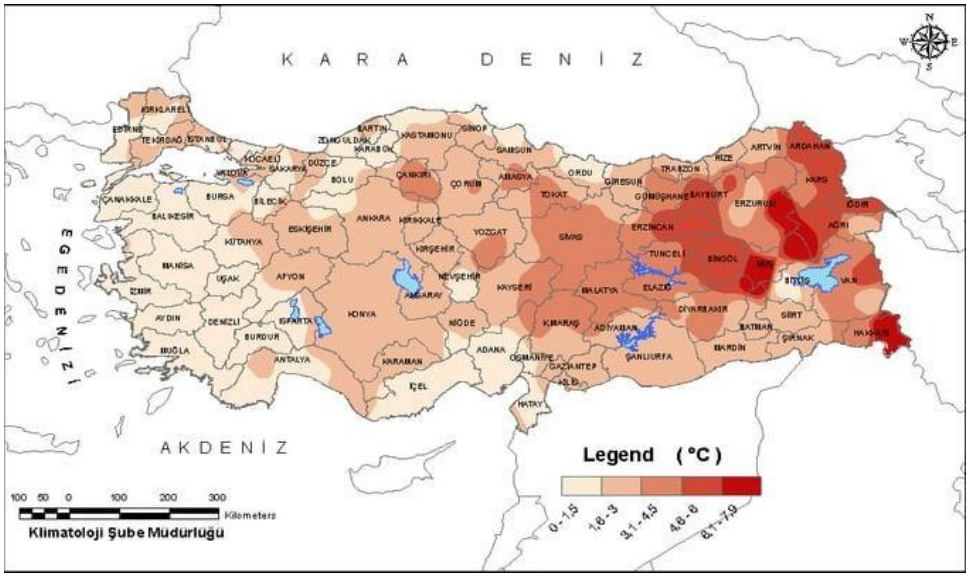
Küresel iklim değişikliğinin diğer bir sonucu ***düzensiz ve ani yağışların*** kaçınılmaz oluşudur. Yağışların düzensiz olması nedeniyle sel ve taşkınların artacağı öngörülebilir. Özellikle son yıllarda, ülkemizde kent merkezlerinde oluşan sellerin giderek arttığı ve bunların can ve mal yitimine neden olduğu görülmektedir. Bu afetleri gözeterek, Ankara ili kentsel dönüşüm çalışmaları sırasında yer seçimi ölçütleri çerçevesinde yeni bir planlama yapılmalıdır. Jeolojik, hidrojeolojik (yerel su havzaları gözetilerek) ve jeoteknik (zemin) özellikler gözetilerek, yerleşim için uygun alanlarla, riskli alanlar ayırt edilmelidir.

Kuraklık başlı başına önemli sorundur. Kuraklığın, su kaynaklarının verimli kullanılmaması durumunda tarım-gıda sektörlerini ve biyolojik çeşitliliği etkileyeceğini bilmekte yarar vardır. Tarım-Gıda sektöründe gözlenen etkileşim diğer tüm sektörlere yansıyacaktır. Dolayısıyla önce var olan koşullar dikkate alınarak, ülkemizin su potansiyelinin (Yüzey ve yeraltı suları birlikte) ve kullanım miktarının güncellenmesi ve dengelenmesi gerekir. Önümüzdeki süreçte bölgesel ve küresel mücadeleler, ne yazık ki, tarım alanları ve su kaynaklarına sahip olmak amacıyla yapılacaktır.

Su kaynaklarının verimli kullanımı için toplumsal ve bireysel olarak alınabilir önlemler vardır. Toplumsal önlemler, doğrudan kurumları da kapsayacak şekilde olmalı; bireysel olanlar da herkesin evinde alabileceği önlemleri kapsamalıdır. Bu konuda farkındalık-özendirme önemlidir. Örneğin, bireysel olarak (aile fertlerinin sayısı dikkate alınarak) daha az su kullananlardan daha az ücret istemi bir farkındalık yaratabilir. Özellikle Güneydoğu Anadolu ve Konya yöresinin kuraklıktan etkileneceği de göz ardı edilmemelidir. Küresel ısınmaya yol açan bir durumla karşılaşılırsa, nelerin yapılması gerektiği önemli bir sorundur. Ayrıca söz konusu sıcaklık artışının, doğrudan insan kaynaklı etkinliklerin ürünü olduğu genel kabul görmektedir.

Ülkemiz de küresel ısınmadan en çok etkilenen bir bölgede yer almaktadır. Örneğin, dünyanın ortalama sıcaklığındaki artış 1,5 dereceyi bulduğunda, ülkemizdeki artışın 2 dereceyi bulması olasıdır. Ülkemiz açısından bir durum değerlendirmesi yapıldığında, ülkenin önemli bazı sorunlarla karşı karşıya

olduğu görülmektedir. NASA'dan izlenen verilere göre ***'Türkiye son 900 yılın en kötü kuraklığını'*** yaşamaktadır. (https://onedio.com/haber/nasa-turkiye-son-900-yilin-en-kotu-kurakligini-yasiyor--685740) 30 Temmuz 2019, saat 10.25). Örneğin Şekil 22'de da görüldüğü gibi 2018 yılı, Ocak ayında bir bahar havasının yaşanması ve aylık sıcaklık ortalamasının ***2.1 ^{0}C'nin üstünde*** olması bir iyiliğe kanıt değildir. Konuya dair çeşitli nedenler bulunabilir. Dolayısıyla, Küresel ısınma, çok tartışmalı bir konudur. Zamanla, tartışmalar politikadan soyutlanıp daha bilimsel bir temele oturacak ve gerçek nedenler görülecektir. Çünkü insanlık tarihine her zaman akıl ve bilim yön vermiştir.



Şekil 22. 2018 yılı Ocak ayı, sıcaklık normalin 2.1 ^{0}C'nin üstünde. (https://www.yesilist.com/wp-content/uploads/2018/02/2018-Ocak-%C3%9CTrkiye-socakl%C4%B1k.jpg; 23 Ağustos 2019, saat 10.50).

Günümüzde yaşanmakta olan Covid 19 dâhil, ***küresel salgınlar*** da küresel iklim değişikliği sonucu, mikro-ekosistemde oluşan değişimin sonucudur. Söz konusu değişimin sonucu olan sıcak dalgalar, uyanan ve yeniden başkaldıran enfeksiyonlar ve doğa kaynaklı hava olayları insan ve toplum sağlığını derinden etkilemektedir. Örneğin, dünyanın sıcaklığının artmasına bağlı olarak oluşan sıcak dalgalara bağlı hastalık ve ölümler mevsimsel olarak görülmeye başlanmıştır. Artan ortalama çevresel sıcaklık sivrisinek gibi vektörlerin dağılım oranını etkilemekte, patojenlerin daha hızlı çoğalmalarına ve hastalık yapma güçlerinin artmasına neden olmaktadır.

Öte yandan küresel iklim değişikliğinin, yaşamın her alanını etkilediği yeterince bilinmektedir. Yani, yaşama dair tüm sektörler, küresel iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Bu sektörlerden önemsenen iki sektöre ait değerlendirmeler ve etkileşim de aşağıda sunulmuştur:

İklim değişiminin tarım sektörüne etkileri

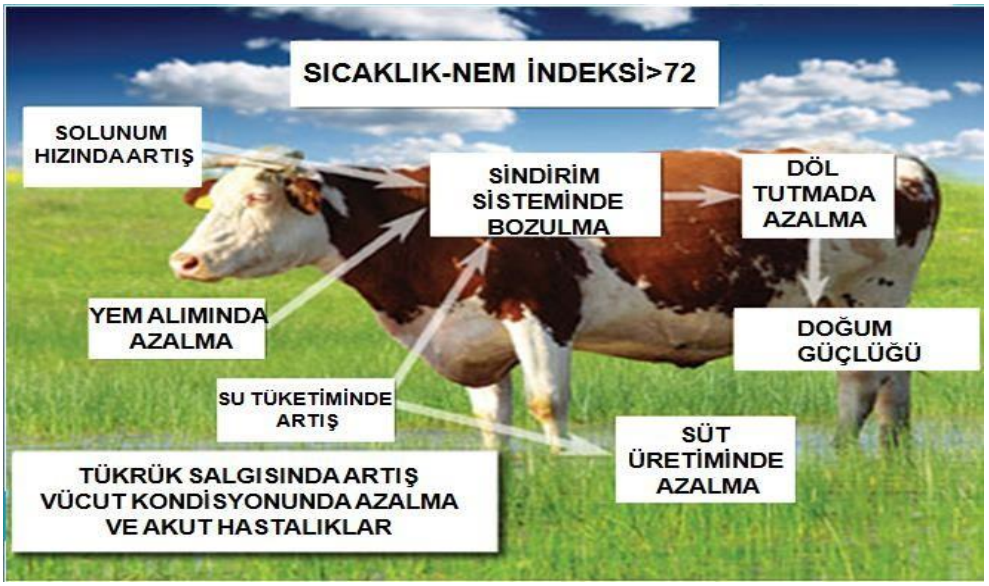
Tarım sektörü, iklim değişikliği çerçevesinde değerlendirilirse hem sera gazı kaynağı hem de karbon yutak alanı olarak işlevi olan bir uygulamadır. Ayrıca, tarım, ekosistemlerle toplumun kesiştiği biricik alandır. İklim değişikliği başta meteorolojik bir sorunmuş gibi algılanıyor olsa da doğal ekosistemlerde (özellikle besin maddesi döngülerinde veya hidrolojik döngüde) birçok çevresel unsuru etkileme potansiyeline sahiptir (Demirbağ, 2019). Gerçekten, tarım yaşamın her alanını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca iklimin değişimi tarımı, tarımın da iklimi etkilemekte olduğu göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla, iklim, tarım ve yaşam arasındaki ilişkiler sorgulanırken geniş bir çerçevenin gözetilmesi gerekir.

Ancak, iklimin doğrudan tarım üzerindeki etkileri, sınıflandırılarak ele alınabilir. Bu sınıflama, başlıca bitkisel üretime, biyolojik çeşitliliğe ve hayvansal üretime ait etkiler biçiminde yapılabilir (Demirbağ, 2019):

Bitkisel üretim üzerine iklimin olumsuz etkileri, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, sıcaklıktaki değişim gibi etmenlere bağlıdır. Bu nedenle bitkiler yaşamlarını sürdürmek ve normal fizyolojik fonksiyonlarını yürütmek için bulundukları ekolojik ortamın sıcaklık şartlarına büyük ölçüde bağımlıdırlar. Toprak sıcaklığı bitkiler üzerinde en büyük etkisini çimlenme devresinde ve kök gelişmesinde gösterir. Bitkiler, normal büyüme ve gelişmeleri için gece gündüz, sıcaklık farkının bulunmasını isterler. Kışlık bitkiler, generatif devreye geçmek için, gelişmelerinin ilk devrelerinde belli bir süre, büyümenin minimum sıcaklığının altında bir düşük sıcaklık gereksinimleri ve bir süre dinlenmeler için soğuklama (vernalizasyon) ihtiyacı vardır.

Biyolojik çeşitlilik üzerine iklimin olumsuz etkiler de önemlidir. İklim değişikliği ile (Avrupa dahil, dünyanın pek çok bölgesinde) türlerin kompozisyonu değişiyor ve türlerin soyu, normal olarak kabul edilen değere göre 100–1000 kez daha büyük bir hızla tükeniyor (Bakkenes et al., 2002). Değişikliklerin çoğu yanlış arazi kullanımı ve yaşam alanı bozulması nedeniyle ortaya çıksa da yapılan çalışmalar, bitki kompozisyonundaki değişiklikler ile günümüzde yaşanan iklim değişikliği arasında yüksek bir korelasyon olduğunu ortaya koyuyor. Ayrıca, iklim bitki tür dağılımını da etkilemektedir.

Hayvansal üretim üzerine iklimin olumsuz etkileri, küresel ısınmanın yol açtığı çevresel koşullara dayalıdır. Fiziksel çevre koşulları, bakım, besleme koşullarında ortaya çıkacak etkilerle kendini göstermektedir. Ekstrem (çok sıcak ya da çok soğuk) iklim koşullarından dolayı barındırma daha maliyetli duruma gelmekte, üreme, süt ve et verimi gibi performansa yönelik bazı özelliklerde gerilemeler ortaya çıkabilmektedir. Süt sığırlarında normal vücut sıcaklığının yükselmesine neden olan etkenlerin bileşkesine "Sıcak Stresi" denir. Sıcaklık stresinin bilinen ölçümü "Sıcaklık-Nem İndeksi (SNİ-THI) dir. Sıcaklık-Nem İndeksi'nin etkileyebileceği alanlar Şekil 23'de görülmektedir.



Şekil 23. Sıcaklık-Nem İndeksi'nin etkileyebileceği bazı alanlar (Demirbağ, 2019).

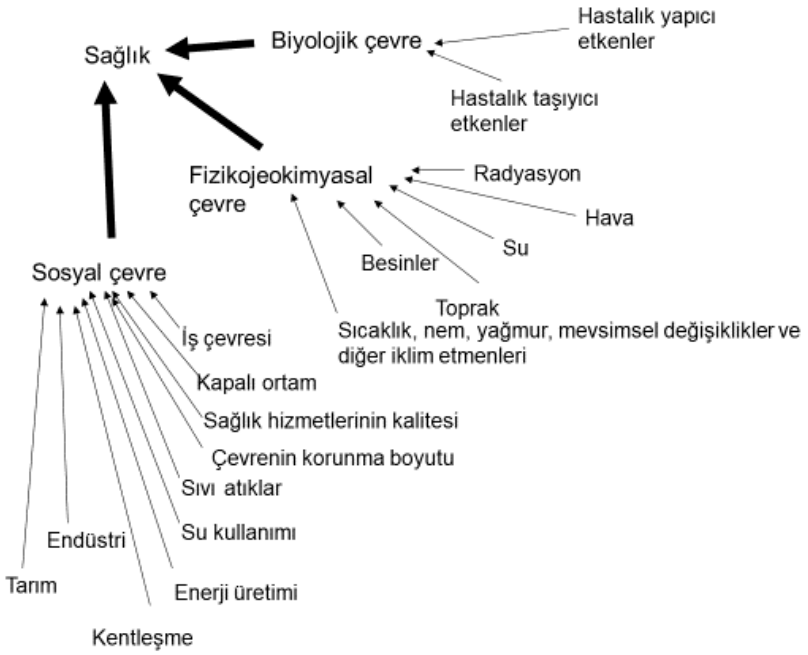
Sonuç olarak küresel ısınmanın bitkisel üretimi, biyolojik çeşitliliği ve hayvansal üretimi derinden etkilediği açıktır. Ayrıca oluşan kuraklık da kaçınılmaz olarak tarımı etkiler. Bu sorunların önüne geçebilmek için, enerji, sanayi, ulaşım ve tarım sektörlerinde, başta fosil yakıt kullanımının ve sera gazı üretiminin azaltılarak sınırlandırılması gerekir.

Konuya dair yeni politikalar üretilirken, ormanların korunması, "iyi tarım" gibi bilinçli ve iklim dostu tarım uygulamaları, sera gazlarının salınımının azaltılması hedeflenmelidir (Demirbağ, 2019).

İklim değişiminin sağlık üzerine etkileri

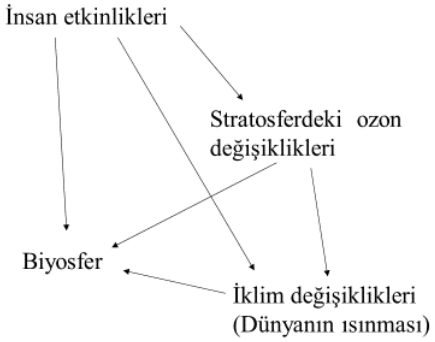
İklim değişikliği öncelikle çevre sağlığını, başka bir deyişle doğanın sağlığını etkiler. Dolayısıyla çevre sağlığının koşulları sağlanmadan insan sağlığının güvence altına alınması olası değildir.

Çevre sağlığı çalışmaları, yerel faktörlere bağlı olarak insan sağlığına yönelik zehirli ya da enfeksiyona dayalı risklere ağırlık verir. Ayrıca, küresel değişime bağlı olarak, ekolojik sistemlerde oluşan değişiklikler sağlıkla ilgili yeni riskler yaratmış, dolayısıyla çevre sağlığının söz konusu sorunlarla da ilgilenmesi zorunlu hale gelmiştir. Çevre sağlığını oluşturan tüm faktörler, küresel iklim değişikliğinin yarattığı risklerden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmektedir. Çevre, dışımızdaki her şeyi, sosyal, fizikojeokimyasal ve biyolojik çevreyi kapsar. Çevrenin bu bileşenleri birbiriyle etkileşim halindedir (Güler, 2019). Sosyal, fizikojeokimyasal ve biyolojik çevre bileşenleri de birçok etmenden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenir (Şekil 24).

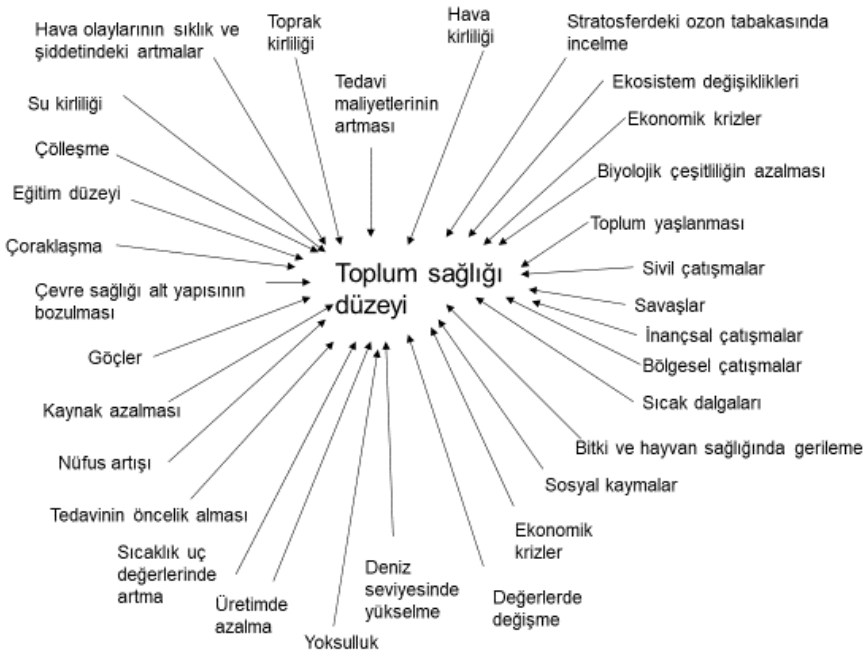


Şekil 24. Sağlığı etkileyen sosyal, fizikojeokimyasal ve biyolojik çevrenin bileşenleri, doğrudan ve dolaylı olarak birçok etmenden etkilenir (Güler, 2019).

Söz konusu etkileşimin sağlık açısında önemli sonuçları görülmektedir. Bu etkileşimin temel kaynağı insan eliyle yapılan etkinliklerdir. Bu etkinlikler, insanın kendi varlığını da tehlikeye düşürecek boyutlara ulaşmıştır. Oluşan çevresel değişiklikler insan varlığını tehdit eder duruma gelmiştir. Oluşan tehditler, başlangıçta yerel değişime yol açmış; daha sonra sıra ile önce bölgesel ve ~~nihayet~~ sonuçta günümüzdeki gibi küresel boyutlara ulaşmıştır (Güler, 2019). İnsan etkinliklerinin yol açtığı önemli küresel değişikliler Şekil 25'de; oluşan küresel değişimin ürünü etmenlerin de toplum sağlığının düzeyini (Şekil 26) belirlediği açıkça görülmektedir.

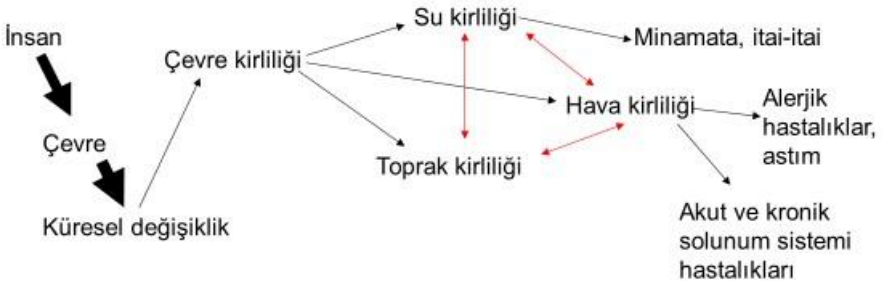


Şekil 25. İnsan etkinliklerine bağlı önemli küresel değişimler (Güler, 2019).



Şekil 26. Küresel iklim değişikliğinin ürünü etmenlerle toplum sağlığı düzeyi ilişkileri (Güler, 2019).

Çevre sağlığı güvence altında olmadığında, yerel faktörlere bağlı olarak insan sağlığına yönelik zehirlenmeler ya da enfeksiyonlar oluşur. Çünkü çevre sağlığını belirleyen tüm etmenler küresel değişikliğin yarattığı yeni ortamlardan doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmektedir. Örneğin, yerel ve küresel çevre kirliliğinin doğadaki akışı, insan sağlığını ve çevre bütünlüğünü tehlikeye sokmaktadır (Şekil 27). Aslında, çevre kirliliği; su kirliliği, hava kirliliği ve toprak kirliliği bileşenlerine ayrılırsa da bu ortamlardan birinde oluşan kirliliklerden diğer ortamlar da etkilenir. İnsan sağlığını tehdit eden hastalıklar da insan kaynaklı etkinlikler sonucu kirlenmiş olan çevrenin temel sonuçlarıdır.



Şekil 27. Küresel değişikliklerden biri de çevre kirliliğinin doğadaki akışı (Güler, 2019).

Öte yandan, küresel iklim değişikliklerinin sonucu olarak oluşan sıcak dalgalar, uyanan ve yeniden başkaldıran enfeksiyonlar ve doğa kaynaklı hava olayları da insan ve toplum sağlığını derinden etkilemektedir (Güler, 2019). Örneğin, dünyanın sıcaklığının artmasına bağlı olarak oluşan ***sıcak dalgalara*** bağlı hastalık ve ölümler mevsimsel olarak görülmeye başlanmıştır. Ayrıca vektörlerle yayılan hastalıkların artması, vektör üreme bölgelerinin genişlemesi ve değişmesi diğer bir önemli sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan ortalama çevresel sıcaklık sivrisinek gibi vektörlerin dağılım oranını, dağılımını ve çokluğunu etkileyecek, patojenlerin daha hızlı çoğalmalarına ve hastalık yapma güçlerinin artmasına neden olmaktadır. Ülkemizde konuya dikkati çeken halk sağlığı kaynakları da artmaya başlamıştır (Güler, 2002; Vaizoğlu ve diğerleri, 2007; Güler, 2019'dan).

Dünyanın geleceğini etkileyen önemli diğer hastalık grubu ***uyanan ve yeniden başkaldıran enfeksiyonlardır*** (WHO, 1992; Roizman, 1995; Horton, 1996; Güler, 2019'dan). Örneğin, değişen çevresel koşullarda, HIV pandemisi, tüberküloz, frengi gibi hastalıklar ortaya çıkmaktadır. Diğer uyanan enfeksiyonlar arasında ebola virüs, hanta virüs, borelia burgdorferi (lyme hastalığı), Legionella pneumophila (lejyoner hastalığı) ve covid 19 sayılabilir. Üstelik bazı bulaşıcı hastalıklar da eski hastalıkların tekrar ortaya çıkmasıyla yayılmaktadır. Bu sorunları aşmanın yolu, koruyucu hekimliğin ve kamusal sağlık sisteminin çağdaş ve bilimsel gelişmelere göre oluşturulmasıdır.

Doğa kaynaklı hava olayları (kuraklık, sel ve taşkın, fırtına ve bunlara bağlı diğer atmosferik olaylar) küresel iklim değişikliğinin ürünüdür ve bunların da sağlık üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi gerekir. Çünkü bu olayların ikincil sonuçları veya bunlara bağlı olarak gecikmiş bir şekilde ortaya çıkan sonuçları hakkında kesin bilgiler sınırlıdır. Doğa kaynaklı afetlerin etkisi ve görülme sıklığı gün geçtikçe daha da artmaktadır. Geçmişe ait veriler incelendiğinde; özellikle 1960'lı yıllarla kıyaslama yapıldığı zaman, son 10 yılda doğa kaynaklı afetlerin sayısının üç kat arttığı ve her bir afetten etkilenenlerin sayısının daha fazla olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, tarım ve sağlık sektörlerinde yaşanan sorunların, özü itibarıyla diğer sektörlerde de yaşandığı söylenebilir. Dolayısıyla, küresel iklim değişikliğiyle, tümüyle bir mücadele zorunludur.

YAŞAMIN VE ÇEVRENİN GELECEĞİ

Yer'in evrimine bakıldığında, geçmişte yaşamış günümüzde benzeri dahi olmayan bazı varlıkların yeryüzünü şenlendirdiği söylenebilir. Bu varlıkların büyük bir bölümü, toplu yok olmalarla yeryüzünden silinmiştir. Toplu yok olmaların nedeni, çoğu kez, büyük meteoritlerin yeryüzüne düşmesi ile ilişkilendirilmiştir. Yani neden, biraz da Yer'in dışında aranmıştır. Oysa neden bir gök cismi olsa bile, bunun yeryüzündeki koşulları değiştirmesi kaçınılmazdır. Toplu yok olmaların oluştukları dönemlere bakıldığında, çevre koşullarındaki önemli değişimler hemen dikkat çeker. Örneğin Prekambriyen ile Paleozoyik, Paleozoyik ile Mezozoyik, ya da Mezozoyik ile Senozoyik (Tersiyer) geçişleri kıtasal riftleşmenin ya da dağ oluşumlarının en yoğun olduğu dönemlere rastlar. Yani, doğa kaynaklı yer süreçlerinin, örneğin aktif volkanizmadan ileri gelen atmosferik kirlenmenin, en yoğun olduğu dönemlerde toplu yok olmalar yaşanmıştır. Dolayısıyla, söz konusu yok olmalarda, doğal çevre koşullarının belirleyici olduğu söylenebilir.

Ancak, gene de Yerbilimleri'nin insanlığa en belirleyici katkısı, doğa yasaları olarak tanımlanan temel bilgilerin aslında bir varsayımdan ibaret olduğu gerçeğidir. Yani zaman ve yerden bağımsız kuralların doğa yasaları olduğu görüşü denetlenmesi gereken bir varsayımdır. Çünkü geçmişten günümüze yalnızca uzay-zaman geometrisi değil, onu yöneten kurallar da değişmiş olabilir. Deney ve gözlemle test edilemeyen her varsayım bilim dışıdır.

Günümüzde, Yer'in temel özelliklerini ve çevre koşullarının nasıl değiştiğini kısmen de olsa kavrayan insan, aynı zamanda bu koşulları kendi beklentileri doğrultusunda değiştirme hevesi içindedir. Bu heves, dizginlenemez bir boyuta ulaşmıştır. Dolayısıyla, Dünya bu kez doğa kaynaklı değil, insanın yarattığı büyük bir yapay kirlenme tehdidi altındadır. Oluşan yapay kirlenme, çevre koşullarını değiştirecek düzeydedir.

Yukarıda belirtildiği gibi, insan kaynaklı kirlenmemin sonucu olarak küresel ısıma iklim değişimine, iklim değişimi de doğal yaşamın ve insanlığın geleceğinin kararmasına yol açmaktadır. Sera gazlarının atmosferde yaklaşık 100 yıl dolayında bir ömrü vardır. Bu süre içinde gazlar tüm atmosfere dağılırlar. Dolayısıyla sorun, yalnızca sanayileşmiş ülkelere değil, tüm ülkelere aittir. Başlamış olan küresel ısınmanın geriye dönüşü, hemen hemen olası değildir. Çünkü sera gazlarının atmosferdeki ömürlerinin çok uzun olmalarının yanı sıra, okyanusların ısı kapasiteleri de küresel ısınmayı 30-40 yıl geciktirmektedir. Bu da 'Okyanusal hafıza' olarak bilinmektedir. Dolayısıyla, sera gazları emisyonlarının azaltılmasından sonra, küresel ısınmanın durdurulabilmesi için ayrıca 30-40 yıl gerekecektir.

Sera gazlarının derişimleri, emisyonları azaltılsa bile, belirli bir süre artmaya devam edeceğinden, gelecek birkaç yıl içinde dünya genelinde küresel ısınmayı durdurmak üzere herhangi bir önlem alınmazsa, çok geç kalınmış olacaktır. Oysa doğanın ve doğanın bir bileşeni olan insanın katlanabileceği sınırlar vardır. Kuramsal da olsa, doğaya ve insana ait bu sınırlara ilişkin bazı ayrıntıların

gözetilmesinde yarar vardır. Bu sınırlamalara bakıldığında ne kadar kırılgan bir gezegende yaşamın sürmekte olduğu daha iyi anlaşılmaktadır.

Sorun, uluslararası boyuttadır. Durum böyle olunca sorunun çözümü uluslararası bir dayanışmayı gerektirir. Bu alanda çeşitli çabalar da vardır. Örneğin 1997 yılında 159 ülkenin temsilcileri Japonya'nın Kyoto şehrinde toplanarak Kyoto Protokolü'nü imzaladılar. Buna göre, 38 ülkenin sera gazı emisyonlarının düşürülmesi kararlaştırıldı. Aynı amaçla 2009 yılında Kopenhag, 2015 yılında ise Paris' te de toplantılar yapıldı. Bu dönemlerde ise küresel emisyonlarda artış bile devam etti. Gelişmiş ülkelerin takıntıları bir yana, gelişmekte olan ülkeler de teknolojik alanda gelişmelerini duraklama durumuna getirebilecek bu kararlara taraftar olmadılar. Bu ülkeler, sera gazlarından gelişmiş ülkelerin sorumlu olduklarını, dolayısıyla gerekli önlemleri önce onların alması gerektiğini vurguladılar.

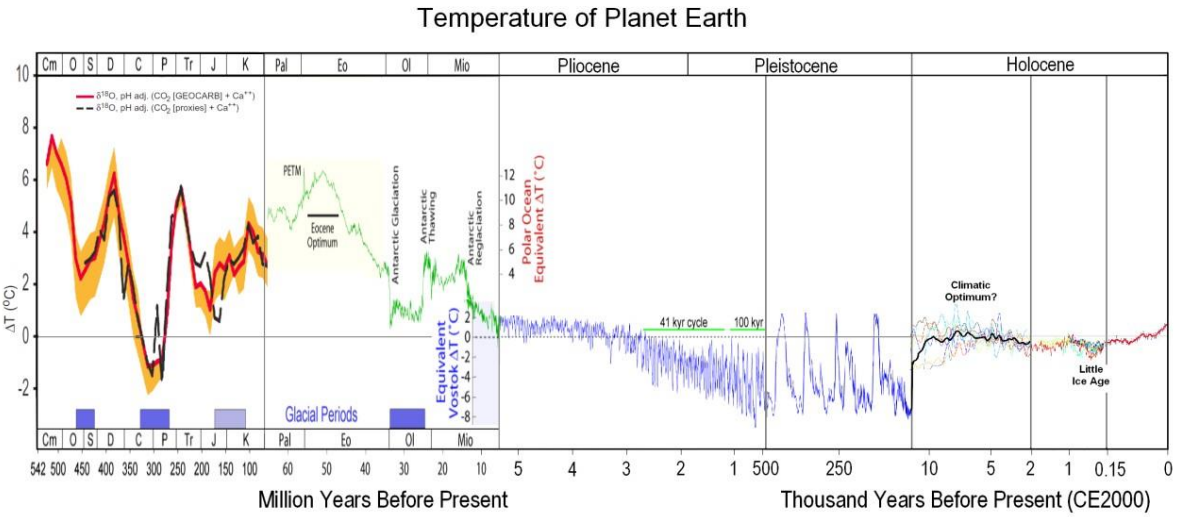
Öte yandan, fosil yakıtların kullanımından çok, yenilenebilir (hidroelektrik, biyokütle, biyogaz, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi gibi) enerji kaynakları ve jeotermal enerji kullanımına yönelik teknolojiler geliştirilirse, belki başka bir çıkış yolu bulunabilir. Çünkü tüm önlemlere karşın fosil yakıtlar, küresel ısınmayı önleyici bir seçenek olamazlar. Dünyanın enerji gereksiniminin bir bölümü de, nükleer reaktörlerin teknolojisinin geliştirilmesi, ortaya çıkan atıkların güvenli bir şekilde uzaklaştırılması ve nükleer silahların denetimi gibi koşullar sağlanabilirse, nükleer enerjiden de karşılanabilir.

Özü itibariyle nüfus artışı, küresel ısınma ve iklim değişimi, ormanların tahribi ve çölleşme, devasa atıkların uzaklaştırılması gibi önemli çevre sorunları birbiriyle ilişkili olarak büyümektedir. Dolayısıyla bu çevre sorunlarının sosyo-ekonomik, mühendislik ve çevre sağlığı çerçeveleri gözetilerek bütünsel bir anlayışla değerlendirilmesi zorunluluğu vardır.

İnsan, günümüzde yeni bir yol ayrımına gelmiş bulunuyor. Dünya'nın da nihayet bir taşıma kapasitesi vardır. Ya bu kapasiteye uygun bir yaşam biçimi benimsenecek ve gelişen koşullara uyum sağlanacak ya da değişen koşullar biyo-çeşitliliğin giderek yok olmasına neden olacaktır. Ve sonuçta insan da doğanın ve biyo-çeşitliliğin bir üyesi olarak bu yok olmadan kaçınamayacaktır. Yer'in jeolojik tarihi gözden geçirildiğinde iki önemli gerçekle karşı karşıya olduğumuzu açıkça görebiliyoruz: 1- Jeolojik geçmişte, günümüzden çok daha sıcak ve çok daha soğuk dönemlerin yaşandığı ve yaşamın da doğal olarak iklim koşullarının denetiminde şekillendiği açıkça görülmektedir. 2- Günümüzdeki küresel ısınmadan ise insanın bizzat kendisi sorumludur.

Günümüzdeki küresel ısınma, 17. yüzyılda sanayi devrimiyle başlamıştır. Öte yandan, Sargosa denizindeki sıcaklıkla ilgili son 3000 yılı içeren verilere göre (Keigwin, 1996), günümüzdeki küresel ısınmanın geçici olduğu ve uzun süreli küresel soğumanın geçerli olmadığı da ileri sürülmektedir. Böyle bir sonucu destekleyen jeolojik veriler de vardır. Örneğin, 200-100 milyon yıl önce kalın bir buz örtü yer yüzeyinde yoktu ve ortalama sıcaklık 20^{o}C'deydi. Bu sıcaklık, günümüzde ise yaklaşık 15^{o}C dolayındadır. Buna göre, yeni bir buzul çağı başlamıştır. Senozoyik başlangıcında Antarktika buzullarla kaplanmış ve düzenli periyodik buzullaşmalar Kuvaterner sırasında Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya kıtalarında oluşmuştur.

Her küresel iklim değişimi, atmosferdeki değişimle ilişkilendirilebilir. Bu açıdan bakıldığında aslında dünyamızın iklimi de hiçbir zaman durağan olmamıştır diyebiliriz. Atmosfer sıcaklığının jeolojik çağlarda değişimi Şekil 28'de görülmektedir.



Şekil 28. Dünya atmosfer sıcaklığının jeolojik çağlarda değişimi (Hansen ve Sato, 2012; Sarıkaya, 2019'dan).

Yapılan kimi kestirimlere göre Yer yüzeyinin ortalama sıcaklığı 250 milyon yıl içinde 0°C'ye kadar azalacaktır. Buna göre buzul arası devrelerde sıcaklık 0 ^{0}C'nın üstünde 5-8 ^{0}C dolayında kalacaktır. Yer'in tektonik etkinliğinin genel olarak azalması nedeniyle Dünya okyanusları yaklaşık 200 m kadar alçalacaktır. Sonuç olarak tüm kıta sahanlıkları su yüzeyine çıkacaktır. Bu değişimlere rağmen yüksek düzeyde yaşamın gelişmesi için çevresel koşullar ekvatora yakın ve orta enlemlerde yeterli bir düzeyde korunacaktır. Yaklaşık olarak 400 milyon yıl içinde Yer yüzeyinin ortalama sıcaklığı yaklaşık -5 ^{0}C'ye kadar düşecek ve bu dönemde okyanus düzeylerinde günümüzdeki konumlarına göre 400 m kadar alçalacaktır. Böyle bir durumda tüm kuzey ve güney yarım küredeki kıtalar, orta enlemlere kadar buzullarla kaplanacaktır. Hatta ekvatorda bile, kıtaların yüksek olan tepeleri buzullarla kaplanacaktır.

Bu soğuma evresi, sürekli olarak devam etmeyecektir. Yaklaşık olarak 40 milyon yıl içinde azot tüketen bakterilerin etkinlikleri nedeniyle azalan sıcaklık, Güneş'in ışınımındaki artışa bağlı olarak artacaktır. Daha sonra, 600 milyon yıl içinde oluşan denge, Yer'in mantosundaki mağmanın yüzeye doğru çıkmasıyla ortaya çıkan abiyojenik oksijenin artışı nedeniyle bir kesintiye uğrayacaktır. Eğer ortaya çıkan tüm oksijen atmosfere verilirse, oksijenin yeni kısmi basıncı, her milyon yıl içinde 4 Atm oranında artacaktır. Gerçekte bu oran yaklaşık bir yılda 0,2 Atm'e karşılık gelen bir düzeyin 2 katıdır. Bunun anlamı, mantodan oksijenin çıkışına bağlı olarak 200 milyon yıl sonra atmosferdeki kısmi basınç yaklaşık 4 Atm düzeyine ulaşacaktır. Sonuç olarak Yer yüzeyinin ortalama sıcaklığı (Sera etkisi nedeniyle) 76°C'ye yükselecektir. 200 milyon yıl daha eklenirse (yani günümüzden bir milyar yıl sonra), Oksijenin kısmi basıncı 14 Atm'i aşacak ve Yer yüzeyinin sıcaklığı da 110 ^{0}C'ye yükselecektir.

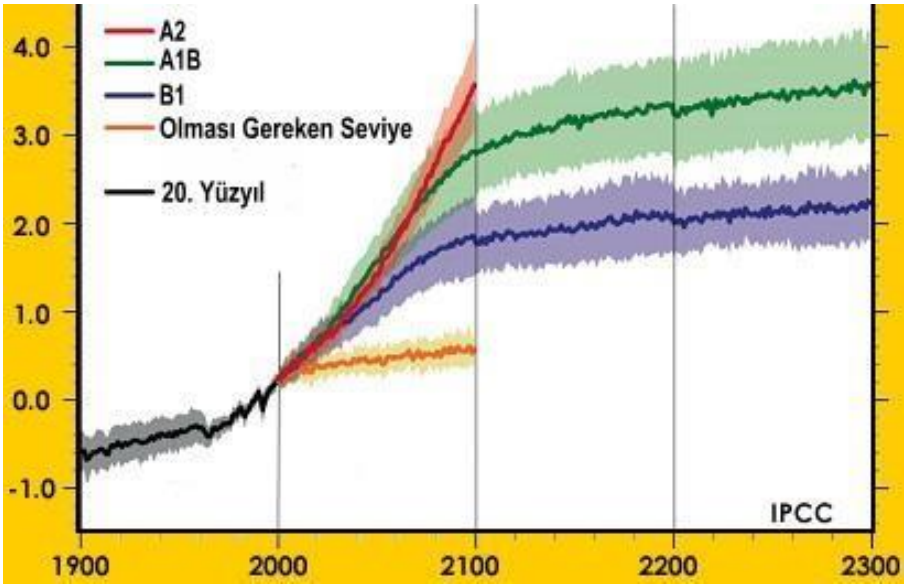
Böylece, Yer'in derinliklerinden çıkan endojenik oksijenin ortaya çıkışından sonra oluşan atmosfer, yanmakta olan bir atmosfere dönüşecektir. Yalnızca okyanuslarda (suda oksijenin düşük derecede çözünmesi nedeniyle), yüksek düzeyde uyum sağlayan formlar, suyun tümü kaynayıncaya değin var olacaktır. Okyanuslar kaynamaya başladığında (1,5 milyar yıl sonra) geri dönülmeyen sera etkisi (550 ^{0}C' yaklaşık sıcaklıkta) gelişecek ve böyle bir ortamda ilkel termofilik prokaryotlar (ısıya dayanıklı ilkel organizmalar) bile yaşayamayacaklardır.

Böylece Yer yüzeyindeki yaşamın uzunluğu yaklaşık 4,6 milyar yıl (4 milyar yıl 0,6 milyon gelecekte) olacaktır. Yüksek düzeydeki yaşamın varlığı ise daha kısa zaman aralığına karşılık gelir. Bu da okyanuslarda 1,3 milyar yıl (600 milyon yılı geçmiş, 700 milyon ise olası gelecekte), kara yaşamı için bu süreç 1 miyar yıl olacaktır (400 milyon yıl geçmiş, 600 milyon yılda gelecekte devam edecektir). İnsan türünün yaşam süresi ise yaklaşık 600 milyon yıl olarak kestirilmektedir. Fakat gerçekte çok daha az bir sürede insan türü de yok olacaktır.

Gelecekte Yer için en büyük tehlike, Güneş'ten beklenmektedir. Nükleer reaksiyona bağlı olarak (hidrojen, helyum, karbon vb.) Güneş'e benzer yıldızlar da nükleer reaksiyonların hızı merkezi bölgelerden çevreye doğru giderek artmaktadır. Bu da yıldızların yüzey sıcaklığında ve çapında bir

artışın yanı sıra parlaklığında da bir artışa neden olur (Zel'dovich ve Novikov, 1971; Aller, 1976). Böylece gelecekte, Güneş'in ışınımı 4,7 milyar yıl öncesine göre % 30 artacaktır. Dolayısıyla Güneşin ışınımı çok daha hızlı artacak bu da yoğun bir biçimde abiyojenik oksijenin ortaya çıkması nedeniyle güçlü bir sera etkisi yaratacaktır.

Şekil 29'da geleceğe yönelik ilkim senaryolar sunulmuştur. Bu senaryolardan iyimser olan bir geleceği gerçekleştirmek için mutlaka atmosferin kirlenmesinde önemli katkısı olan fosil yakıtların kullanımının sınırlandırılması gerekmektedir. Yani, küresel ısınmada belirleyici olan CO_2 oranının, olması gereken düzeyde tutmak zorunludur. Bu oran aşılırsa, A1B ve B1 senaryolarının gerçekleşmesi halinde belki bir süre daha yaşam devam eder. Ancak, CO_2 oranı denetlenemez bir düzeye erişirse, neler olabileceğini kestirmek olanaksızdır.



Şekil 29. Gelecekteki iklim senaryoları.
(https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=19;30 Temmuz 2019, saat 10.45).

SONUÇLAR

Yer'in iklimin etkileyen başlıca etmenler, kıtaların devinimi ve volkanik etkinlikler, güneş radyasyonundaki dalgalanmalar, Yer'in yörüngesindeki değişimler ve canlı yaşamın atmosferin bileşimine etkileridir. Bu etmenler, jeolojik geçmişte de Yer'in iklimini etkilemiş, Günümüzde de etkilemekte ve gelecekte de bu etmenlerin etkileri devam edecektir.

İklimin etkileri deniz tabanına yakın yerlerde yaşayan organizmalara yansımaktadır. Dolayısıyla paleontolojik kayıtlar kullanılarak sıcaklık değişimleri belirlenebilmektedir. Bu değişimler fosillerin $CaCO_3$'tan oluşan kabuklarındaki oksijen izotop oranlarından anlaşılabilir. Çünkü bu oran, suyun sıcaklığındaki değişimlere dolayısıyla iklime bağlı olarak değişmektedir.

Yapılan değerlendirmelere göre, Prekambriyen'den Günümüz'e kadarki zaman aralığında daha sıcak ve daha soğuk dönemlerin yaşandığı söylenebilir. Buna göre, Prekambriyen'de üç buzullaşma dönemi yaşanmıştır. Ancak, olasılıkla yeryüzündeki suyun fazla olmaması nedeniyle bu buzullar uzun süre korunamamıştır. Prekambriyen sonu ve Paleozoyik başında Yer'in ikliminde önemli ölçüde gelişen soğuma nedeniyle IV. grup buzullaşma oluşmuştur. Bu sırada Baykaliyen orojenezi oluşmuş ve canlı yaşam büyük ölçüde yok olmuştur.

Paleozoyik ve Mezozoyik sırasında ise iklimde ısınma ve soğuma dönemleri birbirini izlemiştir. Özellikle sıcak dönemlerde karasal bitkilerin ve planktonların biyolojik oksijen üretmesi yeryüzündeki yaşamın ileri düzeyde gelişmesini kolaylaştırmıştır. Paleozoyik-Mezozoyik geçişinde Hersiniyen orojenezi oluşmuş ve bu dönemde de yaşam büyük ölçüde yeniden yok olmuştur. Mezozoyik sırasında özellikle Jura- Erken Kretase döneminde önemli okyanusal havzalar açılmış ve gelişmiş, buna bağlı olarak sıcaklık artmış, bu süreç maksimum düzeye erişerek çiçekli bitkilerin ortaya çıkışına yol açmıştır.

Geç Kretase sırasında yay magmatizması egemen olmuş ve bu magmatizmanın ürünü kirlilik de yaşamı olumsuz yönde etkilemiştir. Mezozoyik sonunda da canlı yaşam büyük ölçüde yok olmuştur.

Senozoyik sırasında yaşam yeniden canlanmış, ancak yaklaşık 35 milyon yıl önce (Oligosen' de) son büyük buzul çağı (V. evre) başlamıştır. Oligosen-Orta Miyosen'de yeryüzü geniş buzullarla kaplanmıştır. Bu dönem de önemli kıtasal blokların çarpıştığı bir dönemi karakterize etmektedir.

Pleyistosen'de yaklaşık 100 -120 bin yıllık sürelerle 8-10 ^{0}C'lik yavaş ve düzenli soğuma ve ısınma dönemleri görülmektedir. Son kalın buz örtülerinin oluşumundan sonra, yalnızca birkaç bin yıl içinde yeryüzündeki sıcaklık artmış ve bu sırada buzullar büyük ölçüde çözülmüştür. Bu yeni alt evrede canlı yaşamın atmosfere etkileri arasında özellikle insan kaynaklı etkinlikler sonucu atmosferin bileşiminde önemli değişiklikler beklenmektedir. Dolayısıyla gelecekte yeryüzündeki yaşam Günümüzdeki yaşamla kıyaslanmayacak ölçüde bir değişim geçirebilir.

Geleceğe yönelik kötü senaryoların gerçekleşmemesi halinde, küresel ısınmaya yol açan insan kaynaklı etkenlere ait bir tepkinin dışa vurumu Şekil 30'da yansıtılmıştır. Bu protestoların geleceği hep birlikte inşa etmenin aracı olmasını dilemek gerekir. Paris zirvesi sonrasında yaşanan umursamazlık nedeniyle Dünya'da binlerce öğrenci okula gitmeyerek protestoda bulundu. Çözüm olarak, kötü senaryoların yaşanmaması için, fosil yakıtların kullanımının kesinlikle sınırlandırılması gerektiği önerilmektedir.

Şekil 30. Dünya'da binlerce öğrenci iklim değişikliği protestoları için okula gitmedi. https://www.gazeteduvar.com.tr/dunya/2018.12/01/avustralyada-ogrenciler-iklim-degisikligi-eylemi-icin-okulu-kirdi/

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) tarafından gerçekleştirilen çalıştay sırasında (JMO, 2019), küresel iklim değişikliklerinin jeolojik tarihi ve sonuçları, günümüzdeki küresel ısınmayı tetikleyen unsurlar ve nedenleri, Küresel ısınmanın Yerküre'ye ve ülkemize olası etkileri ve olası sonuçları, Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini denetlemek üzere alınması gereken önlemler ele alınmıştır. Çalıştayın sonuç bildirgesinin küresel iklim değişimi oturumunun temel sonuçları aşağıda özet olarak sunulmuştur:

'İklim değişimindeki en önemli yıkıcı sonuçlar; tarımda, hayvancılıkta, insan sağlığında ve bir bütün olarak doğal yaşamda gözlenmeye başlanmıştır. Bunun bir sonucu olarak kent ve kent yaşamı, uluslararası siyasi ilişkiler, sınır aşan sular, doğal kaynakların kullanımı ile ilgili politikalar yeniden belirlenmeye başlanmıştır.

Küresel iklim değişimiyle ilgili mücadelede atılması gereken ilk adım, her alanda denetimsiz üretim ve sınırsız tüketimden vazgeçmektir. Bunun için; doğal kaynak kullanımı, "koruma-kullanma dengesi" gözetilerek planlanmalı ve yönetilmelidir; doğaya yapılan her türlü müdahalede "etik değerler" göz önünde bulundurulmalıdır; enerji temininde yenilenebilir enerji ve enerji depolama tekniklerine yönelip, doğanın korunması ve doğal kaynakların bilinçli ve etkin kullanılması için farkındalık eğitimlerinin yapılması gerekmektedir. Ülkemizin de küresel ısınmadan en çok etkilenen bir bölgede yer aldığı göz ardı edilmemelidir. Dünyanın ortalama sıcaklığındaki artış 1,5 dereceyi bulduğunda Türkiye'de bu artış 2 dereceyi bulması olasıdır. Nature dergisinde yayımlanan makaleye göre, Grönland'ın bazı bölgelerinde hava sıcaklığı son 1000 yıldaki en yüksek seviyesine ulaştı (https://www.haberturk.com/o-bolgede-sicakliklar-son-1000-yilin-en-ust-seviyesine-ulasti-557495?Page=4 Erişim: 19.01.2023- 07:47). Yani, durum vahimdir.

Küresel ısınmaya dair tartışmalar bundan sonra da devam edecektir. Zamanla, tartışmalar politikadan soyutlanıp daha bilimsel bir temele oturacaktır. İnsanlık tarihinde her zaman akıl ve bilim kazanmıştır.

Sonuç olarak, yapılan öneriler, temel çevre sorunlarının ancak çok disiplinli bir anlayışla çözebileceğini göstermektedir. Mesleki kaygılar taşımadan, ekip çalışmalarını esas alarak, önyargısız olarak yapılacak çalışmalarda, daha kapsamlı ve çevreyi koruyucu bilgilerin üretilebileceğine kuşku yoktur. Doğal çevrenin korunması ve geliştirilmesi için mesleki alanlarda ortak mücadelenin sürdürülmesi zorunludur. Daha fazla kâr ve sömürü için doğal çevreyi tahrip eden politikalara karşı çıkmak yetmez; yaşamın her alanında toprağa, suya, havaya, kıyılara, meralara, ormanlara kısaca tüm yaşam alanlarına hep birlikte sahip çıkmak gerekmektedir.

Doğanın ve çevrenin korunması mücadelesi, çevre ile ilgili sorumluluk duyan diğer kurumların çalışanlarıyla ortaklaşarak, sürdürülmelidir. Kirlenmeden ve kirletmeden barış içinde eşit, özgür, adil ve aydınlık bir dünya; bağımsız ve demokratik bir Türkiye dileğiyle…
'Bilimle, Emekle, İnatla, Umutla'

TEŞEKKÜR

Bu bölüm, değerli meslektaşım Yavuz Ulutürk tarafından okunmuştur. Ulutürk tarafından yapılan öneriler ve katkılar konunun daha iyi bir düzeye erişmesini sağlamıştır. Sayın Ulutürk'e teşekkürlerimi sunuyorum.

KAYNAKLAR

Aller, L., 1976. Atoms, Stars and Nebulas. Mir, Moscow, 352 pp

Attenborough, D., 1979. Life on Earth. Oxford University Press, London, 399 pp.

Bakkenes, M., Alkemade, J. R. M., Ihle, F., Leemans, R., Latour, J. B. 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. Global Change Biology, 8 (4), s. 390-407.

Behe, M. 1996, Darwin's Black Box, The Free Pres, Newyork, USA.

Berry, A., 2001, Bilim ve Teknik, TUBİTAK Aylık popüler bilim dergisi (Çev. Ayşe Turak), Sayı ? ,s.46-52.

Brinkmann, R., 1966, Abriss der Geologie, Band 2-Historische Geologie F. Enke, Stuttgart.

Chumakov, N. M.,2001. General tendency of the Earth's climate changes during the past 3 billion years. Reports of the Russian Academy of Sciences, 381 (5), 652-655.

Chumakov,N. M., 2004. Glacial and interglacial climate in Precambrian. In:Climate during Global Biosphere Changes. Nauka, Moscow, 299 pp.

Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678 s.

Dede, N. Ö., 2006, Evrim Kuramı'nda sona doğru büyük adımlar: Cumhuriyet Bilim Teknik, 997, 12-15.

Demirbağ, N. Ş., 2019. İklim değişimi ve tarım. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Küresel İklim Değişikliğinin Yerküre'ye ve Ülkemize Etkileri Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 315-323.

Demirsoy, A. 1999, 4.5 milyar yıl önceden günümüze canlıların evrimi ve evrimi yönlendiren mekanizmalar, Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 375,34-45.

Dott, R. H. ve Batten, R.L., 1971, Evolution of the Earth: Mc Graw-Hill Comp.,

Ehlers, J., Gibbard, P.L. ve Hughes, P.D. 2011. Quaternary glaciations-Extent and Chronology, A Closer Look. In: Jaap, J.M., (Ed.), Developments in Quaternary Science, Vol. 15, Elsevier, Amsterdam, 1108 pp.

Erinç, S. 1952. Glacial evidences of the climatic variations in Turkey: Geografiska Annaler, 34, 89-98.

Galimov, E. M., 2001. The Phenomenon of Life: Between Equiiibrium and Linearity. Origin and Princıpies of Evolution. URSS Editorial, Moscow, 256 pp.

Gamlin, L., 1999, Evrim-Eyewitness Science Evolution: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 116, Başvuru Kitaplığı 3, (Çev. Aksu Bora), Ankara, 645.

Gerhard, L. C., Harrison, W. E., and Handon, B. M., 2001. Introduction and overview. In: L. C. Gerhard, W. E. Harrison, and B. M. Hanson (Eds). Geo logical Perspective of Global Ciimate Change. AAPG Studies in Geology, 47, 3-15.

Glaessner, M. F. 1971, Geographic distribution and time range of the Ediacara-Precambrian fauna. Geol. Soc. Amer. Bull. 82,

Gore, A., 1993. Küresel Denge, Ekoloji ve İnsan Ruhu. Promat Basın ve Yayın San. Ve Tic. A.Ş., Sabah Yayınları, İstanbul, 368s.

Gören, A., 2001, Yaşamın kökeni hakkında yeni bir yaklaşım: Bilinçli Tasarım: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 408, 44-45.

Güleç, E. ve Kaya, F., 2007, 'İnsan' Nasıl 'İnsan' Oldu? TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 2007/2, s.62-75.

Güler, Ç., 2002. İklim değişikliği ve sağlık, Hacettepe Tıp Dergisi, 33/1, 34-39.

Güler, Ç., 2019. İklim değişikliği ve sağlık. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Küresel İklim Değişikliğinin Yerküre'ye ve Ülkemize Etkileri Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 325-339.

Gürdilek, R., 2001, Evrim tartışmaları; "Evrim rastlantı değil ki…"Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 408, 42-43.

Hansen, J.E. ve Sato, M., 2012. Paleoclimate implications for human-made climate change. In Climate change (pp. 21-47). Springer, Vienna.

Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P. ve Schrag, D.P. 1998. A Neoproterozoic Snowball Earth, Science, 281 (5381), 1342-1346.

Holland, H. D., 1984, The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans, Princeton University Pres, USA.

Holmes, A., 1965, Principles of Physical Geology, T. Nelson, London.

Horton R, 1996. The infected metropolis. Lancet 347:134-135.

https://tr.pinterest.com/pin/2146253571145744O/?utm_campaign=category_pp&e_t=2be46007f6c44f6a6fd86cc9f5bb870&utm_content=2146253571145744O&utm_source=31&utm_term=5&utm_medium=2012(28 (28 Şubat 2019, saat 09.50).

https://www.haberturk.com/o-bolgede-sicakliklar-son-1000-yilin-en-ust-seviyesine-ulasti-557495?Page=4 (Erişim: 19.01.2023- 07:47).

https://www.sciencealert.com/record-smashing-heatwaves-are-hitting-antarctica-and-the-arctic-at-the-same-time?utm_source=ScienceAlert+-+Daily+Email+Updates&utm_campaign=1b1737cb58-MAILCHIMP_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_fe5632fb09-1b1737cb58-366039650 (23 MARCH 2022).

https://yesilgazete.org/ipccnin-yeni-yayimlanan-iklim-degisikliginin-etkileri-uyum-ve-etkilenebilirlik-raporu-bize-neler-soyluyor/ (28 Mart 2022).

Hughes, P.D. ve Woodwards, J.C. 2008. Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage. Journal of Quaternary Science. 23, 575-588.

IPPC, 2022. Climate Change 2022 (IPPC-Intergovernmental Panel on Climate Change), Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers, Switzerland, 40s.

İnan, N., 2006, İnsanın doğuşu: Şenlik; ve Toplu yok olmalar: Konferans notları. CÜ Mühendislik Fakültesi, Mavi Salon, Sivas.

JMO, 2019, II. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Yayın No; 142, Ankara, 354 s.

Kakaç, S., 2005, Küresel Isınma ve Nükleer Enerji: Günce, Türkiye Bilimler Akademisi Yayını, 32, 11-13.

Ketin, İ., 1977, Genel Jeoloji, Cilt I, Yerbilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.

Keigwin, L. D., 1996. The little ice age and medieval warm period in the Sargasso Sea. Science, 274, 1504-1508.
Lamb, H.H., 1972. The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. Climate: present, past and future. London: Methuen. p. 107.
Lewin, R., 1998, Modern insanın kökeni (The origin of modern human 1993'den Çeviren Nazım Özüaydın) TUBİTAK popüler bilim kitapları dizisi, Ankara, 246s.
Lovelock, J. 1987, Gaia: a New Look at Life on Earth, Oxford and New York, Oxford Universty Pres, USA
Maga, M. 1999, Dört ayaktan iki ayağa… İnsanın Evrimi: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 375, 48-51.
Mc Kinney, M.L., Schoch, R.M. ve Yonnavjak, L., 2007, Environmental Science, Systems and Solutions, Forth Edition, Jones and Bartlett Publishers, Boston, USA, 642 s.
Meyen, S. V., 1971. The contemporary paleobotanics and the theory of evolution.Priroda, 2, 48-57.
Meyen, S. V., 1981. The Traces of Indian Grasses. Mysl', Moscow, 159 pp.
Miller, S.,1959. Formation of organic compounds on the primitive Earth. In: The Origin of Life on Earth. Pergamon Press, London, pp. 123-135.
Mintz, L. W., 1972, Historical Geology; The science of a dynamic earth. Ch. E. Merill, Ohio, USA.
Nesis, K. N., 2001. When did the life appear in deep ocean?. Priroda, 4, 68-69.
Oerlemans, J. 2005. Extracting a climate signal from 169 glacier records, Science, 308, 675-677.
Oldroyd, D., 2003, İnsan Düşüncesinde Yerküre; TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları (Çev. Ülkün Tansel), Ankara, 563s.
Oparin, A. I. (1957). The Origin of Life. Izd. AN SSSR, Moscow, 343 pp.
Oro, J. (1965). İnvestigation of organo-chemical evolution. In: Current Aspects of Exobiology. Pergamon Press, London, pp. 13-76.
Oro, J. (1966). Prebiological organic systems. In: The Origin of Prebiological Systems. Academic Press, NY, pp. 137-162.
Polat, A., 2013, İçimizdeki balık. Tiktaalik ve Entelognathus'tan insana uzanan 420 milyon yıllık bir evrim serüveni ve evrensel bağlantılar. Cumhuriyet Bilim Teknoloji (CBT), no: 1395 (13 Aralık 2013), s. 8-9.
Robinson, A. B., Baliunas, S. L., Soon, W., and Robinson, Z. W. (1998). Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide. 8 pp; info@oism.org; info@marshall.org.
Roizman B., 1995. Infectious Diseases in an Age of Change; The Impact of Human Ecology and Behavior on Disease Transmission. Washington, DC: National Academy Press, USA
RSHM ve ATİT, 2000, Küresel Çevre Problemleri; Sera Etkisi, Ozon tabakasının parçalanması ve Ormanların tahribatı: Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi (RSHM) ve Alman Teknik İşbirliği Teşkilatı (ATİT) yayını, Ankara, 149s.
Rutten, M. G., 1971, The orgin life by natural causes. Elsevier, Amsterdam.
Sakınç, M., 2006, Yer'in evrimi, Jeolojik evrim ve biyolojik evrim iç içe: Bilim ve Gelecek, Aylık, bilim, kültür, politika dergisi, 26, 8-33.
Sarıkaya, M.A., 2011a. Türkiye'nin güncel buzulları Editör: Deniz Ekinci, Fiziksel Coğrafya Araştırmaları: Sistematik ve Bölgesel, Türkiye Coğrafya Kurumu Yayınları, 6, İstanbul, 527-544.
Sarıkaya, M.A., Çiner, A. ve Zreda, M. 2011b. Quaternary Glaciations of Turkey. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P.D. (Eds.), Quaternary Glaciations: Extent and Chronology, A Closer Look, Europe. Amsterdam, Elsevier, 15, 393-403.
Sarıkaya, M.A. 2012. Recession of the ice cap on Mount Ağrı (Ararat), Turkey, from 1976 to 2011 and its climatic significance. Journal of Asian Earth Science, 46, 190-194.
Sarıkaya, M. A., 2019, İklim değişikliğinin jeolojik tarihi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Küresel İklim Değişikliğinin Yerküre'ye ve Ülkemize Etkileri Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 305-312.
Schidlowski, M. 1971, Probleme der atmospharerischen evolution im Prekambrium. Geol. Rundschau, Bd. 60, Heff, 4, Stuttgart.
Semikhatov, M. A., Raaben, M. E., Sergeev, V. N., Weis, A. F., and Artemova, 0. B., 1999. The biotic events and positive isotopic anomaly of carbonate's carbon 2.3-2.06 billion years ago. In: Stratigraphy. Geologic Correlation. Nedra, Leningrad, pp. 3-27.
Sezen, F., 2001, Genel Jeoloji Ders Notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas.
Shopf, T., 1982. Paleo-oceanology. Mir, Moscow, 311 pp.
Shubin, N., 2008, Your İnner Fish. Pantheon Books, New York, 229s.

Shubin, N., 2013, The Universe Within. Pantheon Books, New York, 225s.
Smith, A. G. ve Briden, J. C., 1977. Mesozoic and Cenozoic Paleocontinental Maps. Cambridge University Press, London, 63 pp.
Sorokhtin, O. G., 1974. The Global Evolution of Earth. Nauka, Moscow, 184 pp.
Sorokhtin, O. G., St Sorokhtin, N. O., 2002. Origin and evolution of the Earth's atmosphere. Heraid Russian Acradem y of Natural Sciences, 2 (3), 6-18.
Sorokhtin, O. G., and Ushakov, S. A., 1991. Global Evolution of Earth. Moscow University, Moscow, 446 pp.
Sorokhtin, O. G., and Ushakov, S. A., 2002. Development of Earth. Moscow University, Moscow, 559 pp.
Sorokhtin, O. G., Chilingar, G. V., and Khilyuk L. F., 2007. Global Warming and Global Cooling Evolution of Climate on Earth. Elsevier, Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands Linacre, Hause, Jordon Hill, Oxford OX2 8DP, UK.
Tarlacı, S., 2017. Mağaradan Mars'a. Destek yayınları, İstanbul, 416s.
Vaizoğlu, S., A., Tekbaş, Ö. F., Güler, Ç.,2007. Küresel İklim Değişikliğinin Halk Sağlığına Etkileri, İstanbul Diş Hekimleri Odası Dergisi, 113, 77-79.
Walker, J. C. G., 1996, Yerin Tarihi (Çev. E. Uluhan), Nar Yayınları, Ankara.
WHO, 1992. Our planet, our health, Report of the World Health Organization (WHO) comission on health and environment, Geneva.
www.scotese.com/earth.htm
Yılmaz, A., 2008. Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Zel'dovich, Ya. B., ve Novikov, I. D., 1971. The Theory of Gravitation and Evolution of Stars. Nauka, Moscow, 484 pp.

Bölüm 13. TEHLİKELİ ATIKLARLA İLGİLİ YER SEÇİMİ VE YÖNETİMİ

GENEL BİLGİLER

Bu bölüm, tehlikeli atıkların uzaklaştırılmasına ilişkin yer seçiminde ve tehlikeli atıklarla ilgili seçilmiş yerlerin değerlendirilmesinde önemli rol oynayan faktörleri içermektedir. Başlıca faktörler, jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik faktörlerdir. Bu faktörler, kayaların fiziksel özelliklerinin yanı sıra, stratigrafik ve yapısal özellikleri ile geçirgenlik, dayanımlılık, kullanılabilirlik gibi mühendislik özelliklerini içerirler. Herhangi bir kullanım için uygun olan yerlerin seçiminde bu faktörleri değerlendirmek önemlidir. Bu çerçevede, tehlikeli atık yönetiminde kullanılan jeofizik yöntemler ve yer seçimine ilişkin jeolojik modellemeyi içeren başlıca jeolojik ilkeler irdelenecektir.

Yer seçiminde yüzeyden sağlanan jeolojik bilginin derinliği, jeofizik çalışmalarla ve sondajlarla geliştirilebilir. Ayrıca, öngörülen yerin mevcut kullanım biçimi, yerleşim birimlerine uzaklık, ulaşım, tehlikeli atıkların türleri ve miktarı gibi hususlar da son derece önemlidir.

TEHLİKELİ ATIKLARIN TANIMLANMASI VE TÜRLERİ

Tehlikeli madde tanımı EPA (ABD'nin Çevre Koruma Ajansı) tarafından aşağıda özetlendiği biçimiyle tanımlanmıştır. Miktarı ve özelliklerinden dolayı ölüme yol açan ya da geri dönüşü olmayan hastalıklara yol açan, hatalı bir şekilde müdahale edildiğinde insan sağlığı ve çevre açısından günümüzde ya da gelecekte küçümsenmeyecek şekilde tehlike oluşturabilen herhangi bir maddedir. Bu tanıma göre hemen hemen her madde tehlikelidir.

Ancak uygulamada delici, yanıcı ve alev alabilen, korozif, reaktif (patlama potansiyeline sahip) ve zehirli olan gereçler tehlikeli madde olarak kabul edilmektedir. Bunlardan korozif olanlar, sulu çözeltilerde pH değeri 2-12,.5 arasında olan gereçlerdir. Reaktif atıklar ise karasız, zehirli duman oluşturan ve patlayabilen gereçlerdir. Zehirlilik için ise canlıların % 50'sinin ölümüne neden olabilen bir derişim oranı kabul edilmektedir.

Yeni kimyasal bileşiklerin son yıllarda oldukça büyük miktarlarda arttığı görülmektedir. Sadece ABD'de, şu an toplam 50.000 kimyasal maddeye ulaşılmakla birlikte, her yıl ortalama 1000 yeni kimyasal madde piyasaya eklenmektedir. Her ne kadar kimyasalların çoğu insanların yararına sunulmuşsa da ABD'de kullanılan yaklaşık 35.000 kimyasalın kısmen ya da tümünün halkın sağlığına zarar verdiği görülmektedir. Çizelge 1'de kimyasal atıkları oluşturan bazı gruplar ve bu gruplara ait tehlike oluşturan atık türleri görülmektedir (EPA, 1993).

Çizelge 1. Genel olarak tehlikeli kimyasal atık grupları ve bu gruplara ait tehlike oluşturan atık türleri (EPA, 1993).

Tehlikeli kimyasal atık grupları:	**Tehlike oluşturan atık türleri:**
Deri endüstrisi atıkları	Ağır metaller, organik kimyasal çözücüler
Tıbbi atıklar	Organik kimyasal çözücüler ve kimyasal olarak çözülmeyen maddeler, ağır metaller (civa, çinko vb.)
Metal endüstrisi atıkları	Ağır metaller, florürler, siyanürler, asit ve alkali temizleyiciler, kimyasal çözücüler, boyar maddeler, aşındırıcılar, madeni tuzlar, yağ fenoller,
Yağ, gaz ve diğer petrol ürünleri	Yağ, fenoller ve diğer organik bileşikler, ağır metaller, amonyak tuzları, asit, karstik yakıcılar
Boyalar	Ağır metaller, boyar maddeler, organik kimyasal çözünemeyen Maddeler
Pestisitler	Organik klor bileşikleri, organik fosfat bileşikleri
Plastikler	Organik klor bileşikleri
Tekstil endüstrisi atıkları	Ağır metaller, boyalar, organik klor bileşikleri, kimyasal çözücüler

Tehlikeli atıkların bir türü de radyoaktif atıklardır. Bunlar iyonize radyasyon yaymaktadır. Radyasyon, ağır izotopların bozunması sonucunda oluşan bir enerji türüdür. Bu radyasyon insan sağlığı için büyük ve tehlikeli boyutlara varmaktadır.

YER SEÇİMİNDE JEOLOJİK MODEL VE ÖĞELERİ

Jeoteknik çalışmalar arasında sıkça söylenen bir söz vardır: ***Her yer seçimi kendine özgüdür ve birbirine benzer iki yer yoktur.*** Dolayısıyla herhangi bir faaliyete özgü yer seçimi süreçlerinde izlenmesi gereken tek bir yöntem de yoktur. Çünkü doğada izlenen jeolojik birimlerin özellikleri değişkendir. Bir jeolojik model oluşturulurken öncelikle o bölgeye ilişkin çalışmalar derlenir. Derlenen bu çalışmalar gözden geçirildikten sonra, gerekirse yeni saha çalışmaları ya da laboratuar testleri yapılır.

Jeolojik modellemede öngörülen yerin jeolojik özellikleri üç boyutlu bir tasarım içinde ortaya koyulur. Bu da yerel alana özgü son derece ayrıntılı jeolojik bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Matematiksel modellemelerin tersine, jeolojik modeller jeolojik süreçlerin sıkça değişimi nedeniyle kısmen sayısaldır. Bu durum jeolojik birimlerin kendi içinde de tekdüze olmayışından kaynaklanmaktadır. Bazı sınırlamalara karşın jeolojik modelleme gereklidir. Jeolojik modelleme gerek yer seçiminde gerek daha sonraki çalışmalarda gerekli olan bilgileri içermesi nedeniyle yararlıdır. Bir jeolojik model, projenin doğasına ve yerel jeolojiye dayalı olarak hazırlanmalıdır. Bunun için projenin doğası ve yerel jeolojinin tüm özellikleri ile göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yani, bir bakıma, jeolojik model projenin doğasına uygun yerel jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerin entegre edildiği üç boyutlu yapıda bir bilgi dağarcığıdır.

Projenin doğası

Yer araştırması proje özelinde tasarlanmalıdır. Projenin türü önemlidir. Belirlenen bir yerin kendine özgü yasal ve teknik sınırlamaları ve buna göre uygunluk halleri olabilir. Ancak, bu uygunluk bir yere özgü proje için yeterli, başka bir proje ya da yer için yeterli olmayabilir. Dolayısıyla, modelleme çalışmaları ve yer araştırmaları yapılırken, projeye özgü temel özelliklerin gözetilmesi için özel çaba harcanmalıdır. Yani, projenin türü ve doğasına dair gereksinim duyulan bilgi yer seçiminde son derece belirleyici bir husustur.

Yerel jeoloji

Bir mühendislik yapısına ilişkin jeolojik modelin geliştirilmesinde bölgesel jeoloji yeterli bilgi sağlamayabilir. Yani küçük ölçekli haritalardan sağlanan bilgiler yeterli olmayabilir. Böyle bir durumda yerel jeoloji ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir. Yerel jeoloji de en azından aşağıdaki unsurları içermelidir:

- Yüzeyde ve yeraltında izlenen jeolojik birimler, özellikle genç çökeller (toprak türleri) ve kayatürleri (bunların çökelme ortamları ve yaşı), stratigrafik ve tektonik yapılar belirlenmelidir.

- Yerel ve bölgesel ölçekte yerin günümüze yakın jeolojik tarihi, özellikle Kuvaterner döneminde (son 2 milyon yılda) etkin olan jeomorfolojik yer şekilleri ve meydana gelen değişim ile genç çökeller özenle incelenmelidir. Son dönemlerde meydana gelmiş gömülü vadiler, ana kayalarda açılmış kanallar, iklim koşullarının jeolojik birimlerin üzerindeki etkileri (günlenme ve erozyon) ve günümüzdeki yapılar (karstik yapıları) ayrıntılı incelenmelidir. Bu da aynı zamanda yerel genç tektonik dönemin ayrıntılı bir biçimde incelenmesini gerektirmektedir.

- Yer seçiminin yapıldığı yerlerde ya da yakın dolayındaki bölgeleri de içine alan yerlerde oluşan depremler, diri faylar, çökmeler, taşkınlar ve heyelanlar, erozyon ve volkanik faaliyetler gibi tehlikeli süreçler irdelenmelidir. Yani en azından yer seçiminde doğal risk haritalarından olabildiğince yararlanılmalıdır. Bu tehlikelerin tümü her yerde gelişmeyebilir.

Ancak, öngörülen sahada etkili olan süreçler özellikle irdelenmelidir. Örneğin, ABD'nin doğusunda daha çok taşkınlar, heyelanlar, kasırgalar meydana gelirken, batısında ise depremler, diri faylar ve volkanik faaliyetler egemendir. Sonuç olarak yere özgü doğal yer süreçlerini içeren risk haritaları yapılmalıdır.

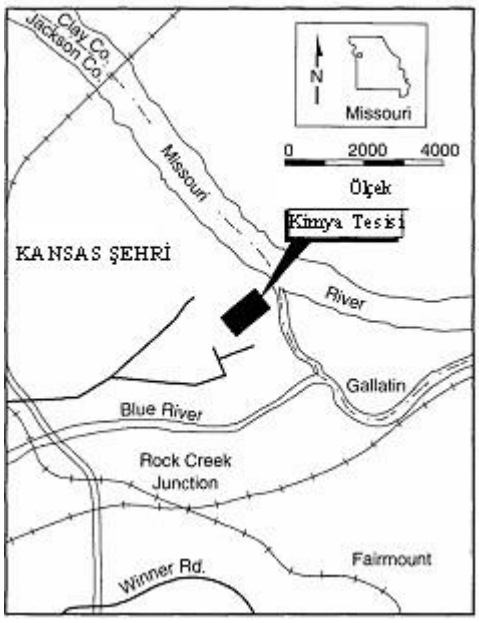
- Öngörülen projeden ileri gelen potansiyel etkiler ve bu etkilerin bölgenin diğer fiziksel çevre koşullarına yansımaları gözetilmelidir. Bu özellikler, daha çok çevresel etki değerlendirme raporlarının hazırlanmasına katkıda bulunur. Özellikle büyük projelerin hazırlanmasında, bu özelliklerin tanımlanmasına gereksinim duyulmaktadır.

Yer seçiminde gerekli özen gösterilmezse çok daha büyük bedellerin ödenmesi kaçınılmaz olabilir. Aşağıda, gözetilmesi gereken jeolojik bilginin önemi, sunulan bir örnek olayda ortaya koyulmuştur:

Örnek olarak, Kansas şehri dolayında, Missouri Irmağı'nın batı kıyısında taşkın denetim setinin kenarındaki bir taşkın ovasında yer alan bir Kimya Tesisi (KT) sunulmuştur (Şekil 1).

Bu alan, 1960- 1980 yılları arasında KT'den ortaya çıkan metal çamurların, nihai çözeltilerin, siyanürlerin, organik solventlerin ve diğer tehlikeli atıkların boşaltıldığı bir yer olarak kullanılmıştır. Buraya, yaklaşık 24500 m^3 atık 20 yıllık sürede boşaltılmıştır (Hasan ve diğerleri, 1988).

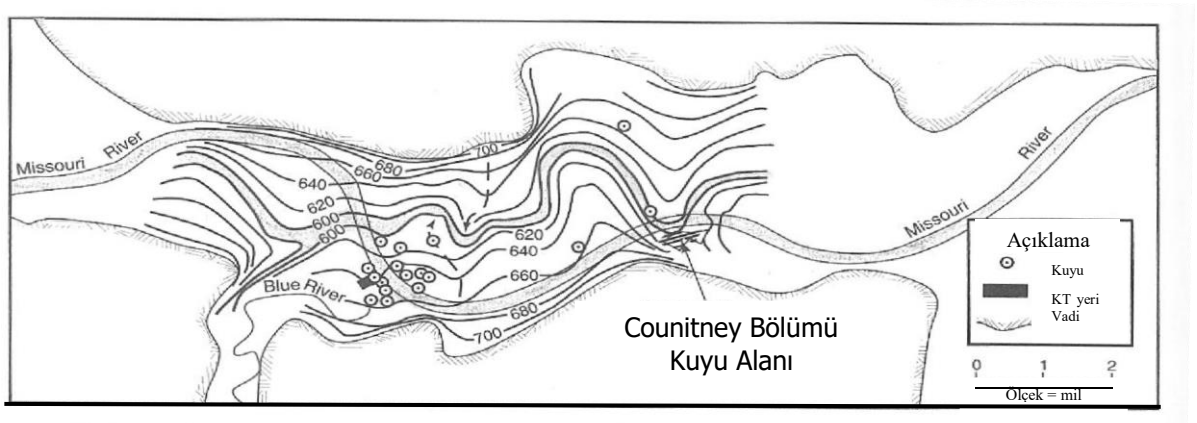
Bu işlemler, Missouri Doğal Kaynaklar Dairesi ve diğer yetkili birimlerle birlikte yapılmıştır. Ancak yeni çevre yasaları benimsenince, daha önce verilen izinler iptal edildi. Bununla beraber bazı yetkililer, mahkemelerde sürekli olarak daha önce verilen kararları desteklediğinden atıkların bu bölgeye boşaltılmasına devam edilmiştir (O'Reilly, 1992).



Şekil 1. Kimya tesisinin yerini gösteren bulduru haritası (Hasan, 1996).

Tehlikeli atıklar yüzeyden 6- 7 m kadar derine gömülmekteydi ve atıkların tabanı da yeraltı su düzeyine göre 3-4 ve 4-6 m kadar daha yüksek olan bir yere karşılık geliyordu. Atıklar, yörede çoğu siltli olan birimlerin üzerine bırakılıyordu. Çevre Koruma Kurulu, 1979'un Mart ayında yeraltı suları kirliliğini ortaya koymak üzere bir çalışma başlattı. Buna göre yeraltı jeolojisi ve hidrojeoloji konusunda ayrıntılı çalışmalar yapıldı (Şekil 2). Bu çalışmalarda, ana kayanın yüzeyden derinliği ve onun üzerinde

yer alan alüvyonal gereçlerle temsil edilen çökel katmanların kalınlığı belirlendi. Yapılan çalışmaya göre alttaki çökeller, genellikle iri taneli kumtaşı ve çakıltaşından yapılıydı. Katmanın üst kesimleri ise ince taneli gereçlerden kil, silt ya da ince, orta boyutlu kumtaşından yapılıydı (Simms, 1975).



Şekil 2. Ana kaya üzerinde gelişmiş eski bir kanalın kontur haritası (Simms, 1975'den kısmen değiştirilerek).

Yapılan ayrıntılı çalışmaya göre, ana kayanın üzerinde Pleyistosen yaşlı buzullarını oyması ile bölgede geniş bir vadi açılmıştır. Bu da daha sonra içinde suyun aktığı bir kanal yapısı kazanmıştır. Buzulun geri çekilmesi ile birlikte önce iri taneli çökeller çökelmiş, daha sonra ince taneli gereçler çökelmiştir. Günümüzdeki Missouri Irmağı, buzul çökellerince dolmuş eski bir vadi üzerinde açılmıştır. Eski vadi dolguları olan iri taneli gereçler ise iyi bir akiferi oluşturmaktadır. Yöredeki kuyular, günde 1892 m^3 su vermektedir. Su tablası sığ olup, yüzeyden 1- 5 ve 4- 6 m kadar derinde olup, yeraltı suyu yüksek iken ırmağı da beslemektedir. KT'nin yeri de gözetildiğinde, KT'nin sızıntı sularının yer altı suyunu, yeraltı suyun da ırmaktaki yüzey sularını tümüyle kirlettiği belirlenmiştir. Bu kirliliğe çözüm getirmek üzere iki seçenek öngörülmüştür:

1) 24,4-30,5 m kadar derinde yer alan ana kayaya, yani günlenmemiş şeyllerin içine kadar uzanan bir perde duvarın inşa edilmesi ve duvarın içindeki atıkların duvarın dışındaki yeraltı suyunu kirletmemesinin sağlanması.

2) Kirlenmiş olan yeraltı suyunun, pompalama ile çıkarılıp arıtıldıktan sonra kullanılması.

İlk seçenek, vadinin temelini oluşturan ana kayanın kırıklı ve bazı düzeylerindeki birimlerin yüksek derecede geçirgen olmaları nedeniyle iptal edilmiştir. Eğer bu seçenek uygulansaydı 25- 30 milyon dolara ihtiyaç olacaktı. Dolayısıyla, 1987 yılında EPA ikinci seçeneği tercih etmiş ve buna uygun teknolojiyi devreye koymuştur. Bu çözümün maliyeti de yaklaşık 20 milyon dolar bir harcamayı gerektirmiştir.

YER SEÇİMİ SÜREÇLERİ

Yer seçimi, önerilen projeye ilişkin fiziksel çevrenin her açıdan değerlendirilmesini içermektedir. Böyle bir değerlendirme son derece önemlidir. Çünkü her yerin kendine özgü jeolojisi ve çevresel özellikleri vardır. Bu özellikler herhangi bir proje için önemli olabilir. Örneğin bir deponi alanının yer seçiminde kayaların geçirgenliği önemli olabilir. Kil ya da şeyl gibi kayaların geçirgenliği bir deponi alanının tabanı için uygun olabilir. Ancak, aynı kil ya da şeyller evlerin fosseptik çukurlarının tabanını döşemede uygun bir nitelikte olmayabilir. Böyle bir durumda, toprak yada kumtaşı gibi geçirgenliği iyi olan kayalar tercih edilebilir.

Aşağıda yer seçiminde gözetilen temel jeolojik ilkeler ve yaklaşımlar sunulmuştur. Sunulan bilgiler, yer seçimi süreçlerinde geçerli olan ilkelerdir. Buna göre, bir projenin doğasına bağlı olarak

bazı ek faktörler de değerlendirilebilir. Örneğin, tehlikeli atık tesislerinin yer seçiminde gerekli jeolojik ve mühendislik faktörlerine ek olarak yasal çerçeve de gözetilmelidir.

Genel çalışmalar

Genel çalışmalar belli bir düzen içinde olmalıdır. Öncelikle iki aşamada yapılır. Bunlar, büro çalışması ve veri toplama ile saha çalışmalarıdır.

Büro çalışması ve veri toplama

Büro çalışması yer seçimi sürecinin ilk önemli aşamasıdır. Konuyla ilgili raporlar ve yayınlardan birçok değerli bilgiler sağlanabilir. Çalışmanın bu evresinde önce, belirlenmiş tüm verilerin toplanmış ve titizlikle analiz edilmiş olması gerekir. Söz konusu veriler, jeolojik raporlar ve haritalarda, topografik haritalarda, hava fotoğraflarında, toprakla ilgili raporlarda iklim verileri raporlarında, mühendislik raporlarında ve su temini ile ilgili raporlardan sağlanabilir. Verilerin türü ve kaynakları tartışılmalıdır.

Bu aşamada yer seçimi ile ilgili herhangi bir arazi çalışması yapılmamaktadır. En azından yer seçimine ilişkin birkaç seçenek üretilmelidir. Bu evrenin tamamlanmasından sonra uygun olan yerler olumlu ve olumsuz yönleriyle karşılaştırmalı olarak tüm yönleriyle değerlendirilmelidir. Bu aşamanın doğru değerlendirilmesi ekonomik açıdan da önemli yararlar sağlar. Böylece, sahadaki çalışmalar minimum düzeye indirilebilir.

Saha araştırmaları

Yer seçiminde bu aşamanın amacı yere özgü yapıları incelemek, en az maliyet ile en çok bilgiyi sağlamaktır. Yeterli bilgi toplamak için her zaman yeterli bir bütçe oluşturulamayabilir. Bu konularda yapılan çalışmaların bütçeleri sınırlıdır. Dolayısıyla saha çalışmalarıyla ilgili olarak yapılan çalışmalar oldukça dikkatli ve planlı bir şekilde yürütülmelidir. Kuşkusuz uzmanların deneyimi bu tür çalışmalarda önemli bir rol oynar.

Saha çalışmaları sırasında alternatif tüm yerlerle ilgili bilgilerin toplanması gerekir. Bunun nedeni daha sonra yer seçimi ile ilgili bir yanılgıya düşmemek içindir. Bazı durumlarda fiziksel özellikleri uygun olsa bile seçilen yer yasal düzenlemedeki bazı güçlüklerden dolayı devre dışı kalabilir. Örneğin, arkeolojik önemi olan yerler gözetilir. Daha sonraki saha çalışmalarında mümkün olduğunca karar verilen sahanın değiştirilmeyecek düzeyde dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Saha araştırmaları sırasındaki amaçlardan biri de yere özgü potansiyel sorunları tanımlamaktadır. Böylece projenin daha sonraki gelişme evreleri sırasında bu sorunlar da gözetilerek kolaylıkla karar verilebilir.

Saha çalışmaları sırasında toprak, kaya ve su örnekleri hem yüzeydeki kayalardan hem de yeraltını temsil edebilecek yerlerden alınması gerekir. Yeraltından örnek almamızda gerekli olan her türlü ekipman kullanılmalıdır. Örneklerin numaralandırılmalı ve bu örnekler gerek sahada gerekse laboratuarda değerlendirilirken karıştırılmamalıdır. Jeoteknik çalışmalar sırasında alınan toprak örnekleri ve jeokimyasal analizler için alınan su örnekleri özellikle taşıma sırasında korunmalı ve herhangi bir değişime uğramamaları için özen gösterilmelidir.

Amaç ve çerçevenin tanımlanması

Tüm jeolojik araştırmalarda projenin amacı ve çerçevesi özenle seçilmiş tümcelerle tanımlanmalıdır. Bu işlem, uzmanlar sahaya gitmeden evvel yapılmalıdır. Ne var ki bu basit adım çoğu kez gözetilmez ve önemli verilerin kaybı ya da kimi verilerin gereğinden fazla ayrıntılı sunulması kaçınılmaz olur. En iyi yöntem projenin amacını ve çerçevesini yazılı hale getirmek ve ona göre de araştırma planını yapmaktır. Böyle bir yaklaşım gerekli olan tüm verilerin toplanmasına katkıda bulunur. Aşağıda örnek bir araştırmanın amaç ve çerçevesini tanımlamanın ne kadar önemli olduğu ortaya konulmaktadır. Çizelge 2'de bu örneğe dair gereksinim duyulan yapısal unsurların başlıca özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 2. Granitik kayalarda gelişmiş süreksizlikler ile ilgili bilgiler (Hasan, 1996).

A	Süreksizlikler					
	1. Süreksizliklerin sayısı					
	Tanım					
	Set 1					
	Set 2					
	Set 3					
	Set 4					
	Set 5					
	2. Süreksizliklerin yapısal konumları					
	Set		Doğrultu		Eğim	
	1		.....		.....	
	2		.....		.....	
	3		.....		.....	
	4		.....		.....	
	5		.....		.....	
	3. Süreksizliklerin aralıkları					
	Set	1	2	3	4	5
	Çok geniş(>2m)	.....	.....	.....	.....	.....
	Geniş (0.6-2m)	.....	.....	.....	.....	.....
	Orta (0.2-0.6m)	.....	.....	.....	.....	.....
	Yakın(0.06-0.2)	.....	.....	.....	.....	.....
	Çok yakın(<0.06)	.....	.....	.....	.....	.....
	4. Süreksizliklerin devamlılığı					
	Set	1	2	3	4	5
	Çok düşük(<1m)	.....	.....	.....	.....	.....
	Düşük (1-3m)	.....	.....	.....	.....	.....
	Orta (3-10m)	.....	.....	.....	.....	.....
	Yüksek(10-20m)	.....	.....	.....	.....	.....
	Çok yüksek(>20)	.....	.....	.....	.....	.....
	5. Süreksizliklerin açıklığı					
	Set	1	2	3	4	5
	Çok dar	.....	.....	.....	.....	.....
	Dar	.....	.....	.....	.....	.....
	Orta	.....	.....	.....	.....	.....
	Açık	.....	.....	.....	.....	.....
	Çok geniş	.....	.....	.....	.....	.....
	6. Alüvyal dolgu gerecinin doğası					
	Set	1	2	3	4	5
	Türü*	.....	.....	.....	.....	.....
	Nem durumu**	.....	.....	.....	.....	.....
	*ikincil minareler/yüzeydeki toprak/su/hava/birlikte **akıntı/sızıntı/damlama/ıslaklık/nem/kuru					
	7. Ana kayanın ayrışma durumu					
	Set	1	2	3	4	5
	Günlenmemiş	.....	.....	.....	.....	.....
	Hafif günlenmiş	.....	.....	.....	.....	.....
	Orta günlenmiş	.....	.....	.....	.....	.....
	Yüksek günlenmiş	.....	.....	.....	.....	.....
	Tümüyle günlenmiş	.....	.....	.....	.....	.....
	Kalıntı toprak	.....	.....	.....	.....	.....
B	Kayanın kalite derecesi					
	Set	1	2	3	4	5
	Çok iyi	.....	.....	.....	.....	.....
	Iyi	.....	.....	.....	.....	.....
	Orta	.....	.....	.....	.....	.....
	Zayıf	.....	.....	.....	.....	.....
	Çok zayıf	.....	.....	.....	.....	.....
C	Işaretler (oldukça kötü koku, renklendirme ya da herhangi ilgili bir bilgi)					

Örnek: Terk edilmiş bir atık deponi alanında, granitik kayalar alüvyal gereçlerden oluşan ince bir örtünün altında yer almaktadır. İyi bir akifer olmasa da granit gibi kristalin kayaların yerel gereksinimleri karşılayacak kadar yeraltı sularını içerdiği bilinmektedir. Burada projede amaç, tehlikeli atıklardan sızan kirlenmiş suyun akıntı yönünü belirlemektir. Bunun için de tehlikeli kimyasalların çevredeki derişimlerini, yayılımını ve doğasını eksiksiz bir şekilde ortaya koymak gereklidir. Yapılacak işin çerçevesinin de buna göre ortaya koyulması lazımdır.

Araştırmaya granitik kayalardaki yeraltı sularının akış yönünü değerlendirerek başlanır. Bunun için yeraltındaki durumu belirlemek üzere sondajlar yapılır. Sondajlarla elde edilen veriler incelenerek gerekli bilgiler derlenir.

Granitik kayalar, gözeneklilik ve geçirimlilik gibi bir yapıya sahip olmadığından çalışma daha çok kayadaki akıntı güzergâhı boyunca eklemler ve kırıklar üzerinde yoğunlaştırılır. Granit gibi kayaların eklem ve kırıkları üç ya da dört set oluşturacak şekilde meydana geldiği bilinmektedir.

Ayrıca dolgu niteliğindeki gereçlerin yapısal özellikleri kayalardaki kirlenmiş suların hareketinde ve deviniminde önemli olmaktadır. Bu basit yaklaşımlardan hareket ederek Çizelge 1'deki gibi bir veri abağı oluşturulabilir. Bunun da kırıklar boyunca gerekli tüm verileri içermesi beklenir. Önemli olan bilgilerin kaçırılmaması gerekir.

Sonuç olarak çerçeveyi belirleyen gereksiz ayrıntılarla zaman kaybına meydan verilmemelidir. Amaç ve çerçevenin tanımlanmasında, araştırma ekibi ilgili tüm verileri olabildiğince en düşük maliyetle ortaya koymaya çalışır.

Projenin planlanması

Yer seçimi karmaşık ve pahalı bir süreçtir. Dolayısıyla projenin gerçekleştirilmesi için iyi bir plan yapmak ve izlenecek süreçleri tüm yönleriyle tanımlamak esastır. Örneğin böyle bir planda tüm jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik özelliklerin yanı sıra diğer çevresel koşulların da göz önünde bulundurulması zorunludur. Aynı zamanda sağlık ve güvenlikle ilgili yasal çerçeve yani çevre mevzuatı ve projeye ilişkin ekonomik konular da değerlendirilir. Bu çalışmaların bütünselliği için birçok uzmanın ortak katkısına gereksinim vardır.

TEHLİKELİ ATIKLARI UZAKLAŞTIRMA TESİSLERİNİN YER SEÇİMİ

Tehlikeli atıklarla ilgili bir tesisin yer seçimi bir hayli karmaşık bir olgudur. Bunun nedenleri aşağıda sunulmuştur:

- Merkezi ve yerel tüm düzeylerde katı kuralların varlığı,
- Jeoloji mühendisi, inşaat mühendisi, kimya mühendisi, jeofizik mühendisi, çevre mühendisleri, tıpçılar ve diğerleri gibi çeşitli uzmanlar arasında koordinasyon içeren süreçlerin çok disiplinli doğası. Bu uzmanların farklı bilgi altyapısına sahip olmaları yapılan işin sağlıklı tartışılmasını gerektirir.
- Tehlikeli atıkların ya da bu atıklarla ilgili yerler kendine özgü özel doğaları her seçeneğin ayrıntılı bir şekilde araştırılmasını gerektirir.

Tehlikeli atık yerleri ile ilgili araştırmalar, bir ölçüde baraj yeri araştırmalarına benzer. Çünkü bunların her ikisi başından sonuna kadar tüm evrelerde son derece büyük bir dikkat gerektirir. Ayrıca çoğu mühendislik yapılarının 30 ya da 100 yıl gibi bir sürede kullanılacağı ön görülmelidir. Örneğin deponi alanlarının çevreyi yüzlerce yıl etkileyebileceği gözetilmelidir. Dolayısıyla deponi alanları özelinde, aşağıdaki konular değerlendirilmelidir:

- Deponi alanının yerleşim birimine uzaklığı,
- Tesisin büyüklüğü ve deponi alanı olarak seçilen yerin genişliği,

- Deponi alanı ve yakın dolayının çevre jeolojisi, hidrojeolojisi ve çevre jeotekniğine ilişkin temel bilgiler,
- Yasal açıdan uygunluk,
- Yerin proje özelinde zonlara ayrılması.

Bu konular, genellikle tesisin sorumlusu ile birlikte değerlendirilir. Çünkü bu konuların değerlendirilmesi teknik ekibin görevi değildir. Bu konuların bilinmesi, daha sonra potansiyel sorunlarla karşılaşmamamızı sağlar.

ABD'de bir çevre kuruluşu olan EPA, tehlikeli atık uzaklaştırma tesislerinin yeri ile ilgili bir yönetmelik hazırlamıştır. Gerekli ayrıntılar bu yönetmelikte yer almaktadır. Buna göre aşağıda tanımlanan konulara özen gösterilmelidir (US Environmental Protection Agency, 1991).

Yer seçimi

Bir atık deponi alanının ya da tesisinin yer seçiminde jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer çevresel faktörlerin birlikte değerlendirilmesi ve bunun sonucunda en uygun ve ekonomik alanın seçilmesi önemlidir. Ülkemizde de deponi alanlarının yer seçimine dair çalışmalar (Yılmaz ve Atmaca, 2006; Şimşek ve diğerleri, 2012) giderek gelişmektedir.

Örneğin İzmir ili 4 milyon dolayında nüfusa sahip ve önemli sorunlar yaşayan bir metropol alanıdır. Böylesine büyük bir metropol için bir deponi alanının belirlenmesi de zordur. Ancak, Şimşek ve diğerleri (2012) tarafından Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniği yardımı ile jeolojik, hidrojeolojik ve çevresel açıdan önemli olan 14 parametre kullanılarak İzmir metropol alanı için yeni bir katı atık depolama sahası yer seçimi yapılmıştır. Yapılan analizde baraj havzaları, tarım alanları, yerleşim alanları, sit alanları, askeri alanlar, hava alanları ve 200m üzerindeki yüksek kodlu alanlar değerlendirme dışı tutulmuştur. Ayrıca, uzun ömürlü olması için yer seçiminde 100 ha ve üzerindeki uygun alanlar tercih edilmiştir.

Sonuç olarak deponi alanı için üç farklı seçenek oluşturulmuş ve halkın bilgisine sunulmuştur. Bilimsel olarak seçilen tüm alternatif sahalar, ele alınan seçim kriterlerini sağlasalar dahi bölgede yaşayan insanların tepkisi olduğu sürece hayata geçirilememektedir. Dolayısıyla deponi alanları yer seçiminde öncelikle halkın tepkisinin azaltılmasına yönelik sosyolojik çalışmaların yapılmasında yarar vardır (Şimşek ve diğerleri, 2012).

Deponi alanları için en azından bazı sınırlamaların yapılması zorunludur. Örneğin, tesis için seçilen yerin en azından doğal yer süreçlerinden etkilenmeyen bir konumda olması gerekir. Örneğin, tehlikeli atık tesisleri diri fayların olduğu yerlerden en az 61 m (200 ft) uzakta olmalıdır. Diri faylar, Holosen'de yani son 10.000 yıl içerisinde devinmiş yapılardır.

Deponi yerleri genellikle 100 yılda bir olan taşkınların sınırları dışında planlanmaktadır. Böylece atıklar, herhangi bir şekilde taşkınlardan etkilenmeyecek ya da taşkınların olumsuz çevre etkilerinden zarar görmeyecek biçimde güvence altına alınmalıdır. Bu çerçevede yere özgü diğer doğal risklerin de değerlendirilmesinde yarar vardır. Ayrıca tehlikeli atıkların maden ocaklarına ya da tuz mağaralarına gelişi güzel atılmaması gerekmektedir.

Yeraltı suyunu koruma ölçütleri

Deponi alanı ve yakın dolayına yeraltı suyunun kalitesini denetlemek üzere gözlem kuyuları açılmalıdır. Bu kuyuların, tesisin hem alt tarafında hem de üst tarafında yerleştirilmiş olması gerekir. Akiferin üst kesimindeki yeraltı suyunun akışı tesisin yetkilileri tarafından yıllık olarak ölçülmelidir. Çizelge 3'de sunulan sınırlar aşıldığında yeraltı suyunun kirlendiği düşünülür. Eğer yeraltı suyunu etkileyen tehlikeli atık bileşimlerinde önemli bir artış olursa yeni gözlemlere gereksinim olacaktır. Yani tüm gözlem kuyularında, tüm atık bileşenleri gözetilerek ölçümler yapılmalıdır. Genel olarak su kalitesi

denetimi yönetmeliklerinde, bileşenlerin en yüksek değerleri ile bunların analiz yöntemlerine ilişkin bilgiler sunulmaktadır.

Çizelge 3. Yeraltı suyu kalite ölçütleri (CFR, 1990'dan uyarlanmıştır.)

Bileşenler	En yüksek sınır (mg/L)
Arsenik	0.05
Baryum	1.0
Kadminyum	0.01
Krom	0.05
Kurşun	0.05
Civa	0.002
Selenyum	0.01
Gümüş	0.05
Endrin	0.0002
Lindane	0.004
Methoxychlor	0.1
Toxaphane	0.005
2,4-D	0.1
2,4,5-TP-Silvex	0.01

Diğer tasarım gereksinimleri

Güvenli bir deponi alanı aşağıda sunulan tasarımla ilgili gereksinimleri karşılamalıdır (CFR, 1990):

- Güvenli bir deponi alanına iki ya da daha çok sayıda örtü serilmelidir. En altta yer alan örtü en azından 91 cm kalınlıkta olmalı ve böyle bir yerdeki geçirimlilik ise en azından $\geq 1x\ 10^{-7}$ cm/s olmalıdır.
- Sızıntı toplama sisteminin yer aldığı zeminin geçirimliliği en azından $\geq 1x10^{-2}$ cm/s olmalıdır.
- Örtünün kalınlığı en azından 0,3 m olmalıdır.
- En üstteki örtünün geçirgenliği altta yer alan örtünün geçirgenliğine eşit ya da ondan daha az bir geçirgenliğe sahip olmalıdır.
- Tesis, 25 yılda bir oluşan en yüksek düzeydeki yağıştan ve böyle bir yağıştan meydana gelecek taşkınlardan etkilenmeyecek bir düzeyde olmalıdır.
- Yamaç duyarsızlığına ya da çeşitli oturmalara yol açan kırık sistemlerine karşı önlemler alınmalıdır.
- Yere özgü diğer yer süreçleri de değerlendirmeye alınmalıdır.

TERKEDİLEN TEHLİKELİ ATIK YERLERİ

Terkedilen tehlikeli atık yerlerine özgü özel bilgiler ve topografya gibi genel konuların yanı sıra, yerel jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerin son derece ayrıntılı ortaya koymak gerekmektedir. Bu veriler sağlanmadan, ortaya çıkması olası bir çevresel sorunu denetlemek mümkün değildir.

Genel konular

Çevre ile ilgili yasaların düzenlenmesinden önce tehlikeli atıklar gelişi güzel araziye boşaltılmaktaydı. Bu atıkların büyük bir bölümü olduğu biçimiyle doğrudan çevreye atılmaktaydı. Ancak bu tür faaliyetlerin ortaya çıkan olumsuz etkileri çevrede ciddi bir tehdit oluşturmuştur.

Terk edilen tehlikeli atık yerlerine ilişkin sorunlar ulusal düzeyde bazı yasaların yapılmasını, çeşitli fonların ayrılmasını ve bu sorunları çözmek üzere çeşitli mekanizmaların ortaya konulmasını gerektirmiştir. Çevre yasaları da bu gereksinimin sonucu olarak düzenlenmiştir. Bu durumda, öngörülen çalışmaları sürdürebilmek için çeşitli fonlara da gereksinim olmaktadır. Terk edilen tehlikeli atık yerleri ile ilgili veri bankası, ABD'de EPA tarafından ortaya konulmuştur. Ülkemizde ise çevre ile ilgili düzenlemeler, Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yapılmaktadır.

Özel bilgiler

Terk edilen tehlikeli atık yerleri ile ilgili araştırmalar birbiri ile ilişkili 3 önemli konuda yoğunlaşmaktadır:

1. Kirleticilerin türü, bileşimi ve derişimini içeren doğası ile ilgili değerlendirme.
2. Kirliliğin yayılımı ile ilgili değerlendirme. Bu değerlendirme kirliliğin sadece yüzeyde değil aynı zamanda yeraltında da 3 boyutlu bir çerçevede araştırılmasını kapsar.
3. İnsanlara, diğer canlılara ve çevreye yönelik olan riskin boyutlarının ortaya konulması.

Bu bilgiler terk edilen tehlikeli atık yerleri ile ilgili değerlendirme programlarında bir temel oluşturmaktadır. Çünkü en uygun yöntemin seçimi de bu bilgilere bağlı olarak yapılmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmaların başarı derecesi birinci ve ikinci maddede sunulan bilgilerin doğruluğuna bağlıdır. Hidrolojik verilerin yanı sıra topoğrafik ve jeolojik haritalarda çok yararlı bilgiler sağlarlar. Araştırmaların geliştirilmesinde ve en uygun planın hazırlanmasında gerekli olan temel bilgilerin sağlanması gerekmektedir.

Topoğrafya

Topoğrafyanın şekli deponi alanı için önemlidir. Topografya ve egemen süreksizlikler gözetilerek terk edilen tehlikeli atıklara ait kirliliğin yayılma yönü belirlenebilir. Taşkınlar, sulak alanlar, akiferler ve ortaya çıkan kirlilik gibi sorunlar topoğrafyaya bağlı olarak değerlendirilmektedir.

Jeoloji ve hidrojeoloji

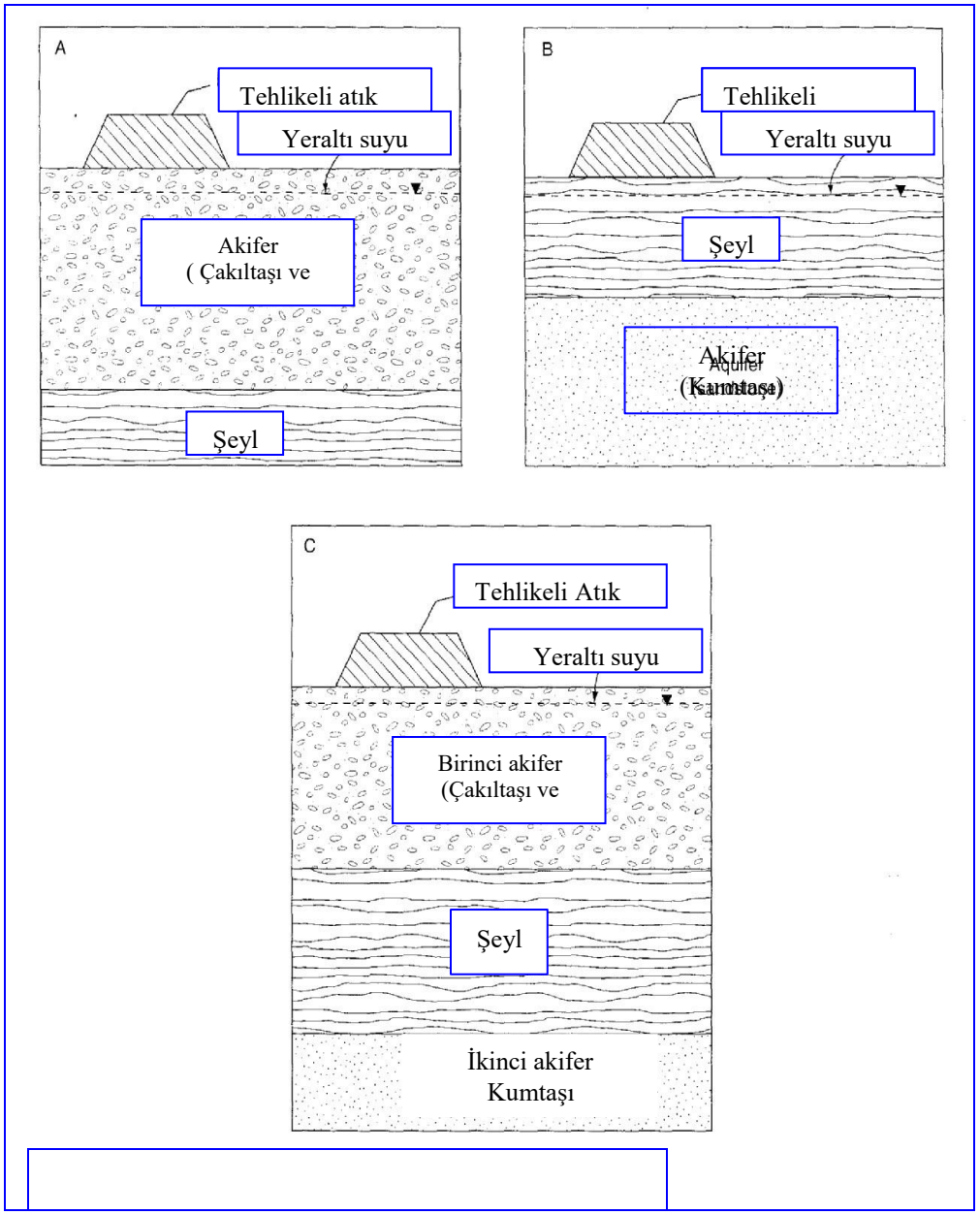
Yeri oluşturan kayaların özellikleri kirliliğin yayılma yönü konusunda temel bilgiler sağlar. Genellikle gevşek yapılı gözenekli ve geçirimli kayalar sıvıların göreceli olarak kolay hareket etmesine izin verirler. Pekişmiş çökeller ve geçirimsiz kayalar ise sıvıların hareketini engellerler. Ancak bu kayalarda ikincil gözeneklilik oluşmuşsa ya da oluşan ikincil kırıklar nedeniyle kayaların geçirgenliği artmış ise sıvı atıklar bu kaya birimlerinde kolay hareket edebilirler. Jeolojik birimler ve akiferin kirlenmesi arasındaki ilişkiler Şekil 4'de görülmektedir.

Yeraltı su tablasına göre geçirimli ve geçirimsiz katmanların yeri ve konumu akiferin kirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Örneğin, Şekil 4A'da görüldüğü gibi, tehlikeli bileşenler yeraltı suyuna doğru daha hızlı hareket ederler ve kirleticilerin dikey yayılımının sonucu olarak yeraltı su tablasını kirletirler. Şekil 4B'de, asıl akifer şeylin altında olup, korunmakta ve böyle bir durumda kirliliğin yayılımı yanal olarak gerçekleşmektedir. Şekil 4C'de ise birinci akifer, kirliliğin dikey yayılımı sonucu kirlenecektir. Fakat ikinci akifer kirlenmeden korunabilir. Dolayısıyla kirliliğin taşınması ile akiferlerin konumu arasındaki ilişki açıkça görülmektedir.

Tehlikeli atıkların yayılma biçimleri aşağıda sunulmuştur:

- Kirleticilerin doğasına bağlı olarak yeraltı suyu ile taşınması. Bu da kirleticilerin yeraltı suyunu doğrudan kirletip kirletmemesine bağlı olarak değişir.
- Kirlenmiş gereçlerin yüzeydeki yağışla birlikte akışı.
- Rüzgâr etkisi ile kirleticilerin toprağın hafif partikülleri ile beraber akışı.
- Kuşlar, kemiriciler ve diğer hayvanlar arasında besin zinciri yoluyla kirliliğin yayılması.
- Canlıların taşınması ya da göç yoluyla kirliliğin yayılması.



Şekil 4. Jeolojik birimler ve akiferin kirlenmesi arasındaki ilişkiler (Hasan, 1996).

Maylon (1991) çeşitli faaliyetlerin yanı sıra, tehlikeli atık yerlerinin değerlendirilmesiyle ilgili çalışmalarda jeoloji ile ilgili bilgilerin önemini ortaya koymuştur. Çizelge 4'te bu bilgilerin bir özeti görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi yere özgü, jeokimyasal, jeoteknik ve hidrojeolojik verilerin proje türüne göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Projenin türü gözetildiğinde ön görülen verilerin bir bölümü gerekmeyebilir. Ancak, ön planlama evresi ve hazırlık evresi dâhil olmak üzere, inşaat, işletme ve bakım evrelerinde de jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilere gereksinim vardır.

Çizelge 4. Çeşitli projelere ilişkin planlama verileri (Maylon, 1991'den kısmen değiştirilerek hazırlanmıştır. 1, Ön planlama evresi; 2, Hazırlık evresi; 3, İnşaat evresi; 4, İşletme ve bakım evresinde alınması gereken veri türlerini göstermektedir).

Veriler / Projeler		Kuyular	Kanallar	İnşaat duvarları	İnşaatın temel atma katmanı	Başlıklar	Kimyasal dengeleme	Yeraltı suyu arıtma	Deponi alanları	Termal tesisler	Tarım	Çukur açma	Deniz dibi tarama çalışmaları	Tesis buhar çıkışı
Yere özgü veriler	Topografik araştırmalar	1	1,3	1,3	1,3	1,3		1	1,3	1	1	1,3	1,3,4	1
	Kullanım hazırlığı	1	1	1				1		1	1			1
	Arazinin satın alınmasının hazırlığı		2	2		1			1					
	Ulaşım şebekesi			1		1		1	1					1
Jeokim-yasal veriler	Örneklerin alındığı dönemler	1,3,4	1,4	1,4	1			1,3,4						1
	Anyon/katyon analizleri	1,3,4	1,4	1	1			1,3,4					1,3	
Jeoteknik veriler	Toprak nem içeriği		1	1,3	1	2,3	1,3		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3,4
	Atterberg limitleri	1	1,3	1,3	1,3	2,3	1,3		1,3	1	1	1	1	1
	Toprak dayanımlılık parametreleri		2	2		2,3		2	2	2	2	2,3	2	
	Sıralamalar	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1		2,3	1	1	1	1	1
	Kazılabilirlik		1	1	1		1			1	1	1	1	
	Deponi alanı yerleşme düzeni		1,3	1,3		1,3,4								
Hidro-jeolojik veriler	Çeşitli su düzeyleri	1,3,4	1,3	1,3,4	1,4	1	1,3		1,3,4	1	1	1,3		1,3,4
	Ayrıntılı stratigrafi	1	1,3	1	1,3		1		1			1,3	1	1
	2.cil Gözeneklilik yapıları	1,3	1,3	1,3	1,3				1,3			1,3		1

Kirleticilerin çevrede yayılması, özellikle hava, su, toprak, canlılar (flora ve fauna) gibi çeşitli yapılardan alınan örnekler yardımıyla belirlenir. Saha çalışmalarına başlamadan önce terk edilen tehlikeli atıklarla ilgili kayıtların gözden geçirilmesi gerekir. Bu kayıtlarla ilgili olarak dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıda sunulmuştur:

- Atık yerindeki işletmenin yapısı,
- Çeşitli süreçlerde kullanılan gereçler,
- Atıkların ya da yan ürünlerin doğası,
- Tehlikeli atıkların işlenmesi, depolanması, arıtılması ve uzaklaştırılmasına ilişkin bilgiler,
- Geçmişteki arazi kullanım biçimleri

Geçmişteki arazi kullanımı ile ilgili bilgiler belediyenin kayıtlarından sağlanabilir. Arazi kullanımı ile ilgili sorumluluğun kimlere ait olduğu bu kayıtlardan anlaşılabilir. Yörede oturanlarla yapılan kişisel görüşmeler yoluyla da çeşitli bilgiler sağlanabilir.

Tarihi haritalar ve hava fotoğrafları

Tarihi haritalar ve hava fotoğrafları, arazi kullanımı ile ilgili değişikliklerin belirlenmesinde son derece yararlıdır. Bir yerin hava fotoğraflarına ek olarak yöreye özgü tarihi haritalar verilen bir parselin geçmişteki kullanımı ile ilgili bilgilerin sağlanmasında yol göstericidir. Bu haritalar belediyelerin arşivlerinden belli bir ücret karşılığında sağlanabilir.

Aşağıdaki örnek çalışma (Hatheway, 1992) tehlikeli maddelerin depolanması, arıtılması ve uzaklaştırılması ile ilgili haritalara bir örnek olarak sunulmuştur.

Örnek: Sanborn haritaları. Şekil 5'de ABD'nin yaklaşık orta kesimlerinde yer alan büyük bir şehrin gaz çalışmalarına ait üç harita görülmektedir.

Bu üç harita, 93 yıllık bir zaman içinde bölgedeki tarihi değişimleri ve genişleme ile ilgili kayıtları göstermektedir. Çeşitli işletmeler 1856'da kuruldu. Şekil 5A bir gaz tankının yerini ve dolayındaki yapıları gösteren başlangıçtaki durumu göstermektedir. Şekil 5B bölgenin işletmeye açılmasında 44 yıl sonraki bir planı yansıtmaktadır. Nihayet 2 yıl önce yani 1952 yılında bazı işletmelerin kapanmasından önceki durum, Şekil 5C'de sunulmuştur. Bu son döneme ilişkin gaz (hidrokarbon) depolama yerleri ve bunlarla ilgili diğer yapılar görülmektedir.

Çoğu kimse böyle bir bölgede yapılan işleri içeren haritaları yeterince vurgulamayabilir. Hatheway (1992), bu haritaların önemini tanımlanmıştır. Bu haritalar, çeşitli eski sanayi tesisleri ve bunların yeraltı şebekelerinin yerlerini göstermektedir. Bu kayıtlardan yararlanılırsa tehlikeli atık yerlerini özenle belirlemek ve bunların ileride olası çevresel etkilerini değerlendirmek kolaylaşır.

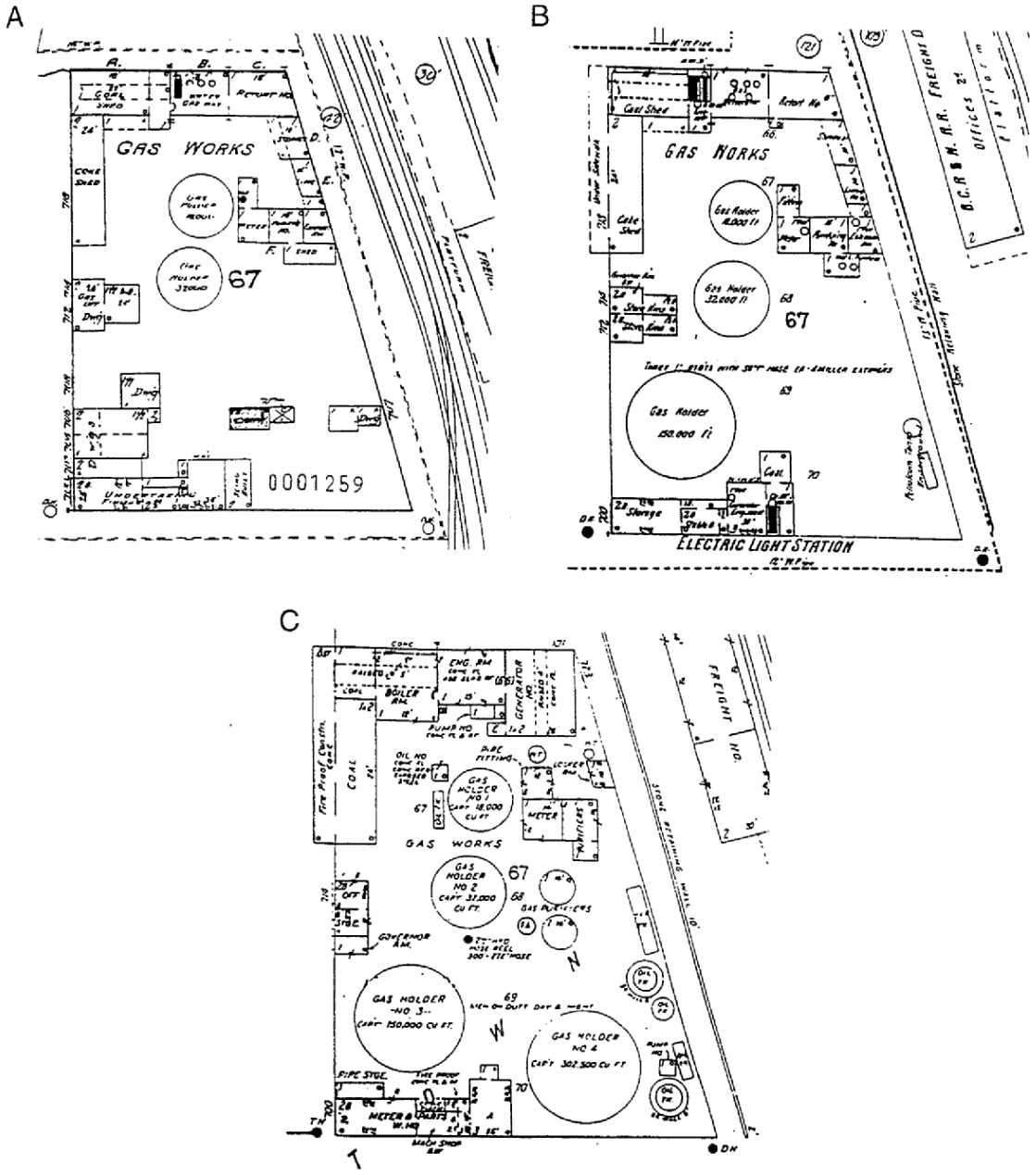
Tarihi kayıtlar genellikle aşağıdaki bilgileri kapsamalıdır:

- Sanayi hammaddelerinin nasıl, ne zaman ve nerede üretilip depolandığı,
- Atıkların nasıl, ne zaman ve nerede değerlendirildiği ve uzaklaştırıldığı

Elbette verilerin geçerliliği tarihi kayıtların yeterliliğine bağlıdır. Tarihi bilgilerin doğruluğuna bağlı olarak atıkların kimyasal bileşimlerini ortaya koymak üzere bir program başlatılabilir.

Örneğin, tarihi kayıtlar yöredeki terk edilmiş elektrik ağı ile ilgili sistemleri gösteriyorsa, bu sistemin yeraltındaki yerini belirlemek üzere bir program yapmak gereklidir.

Diğer taraftan eğer tarihi kayıtlar bölgenin sanayi atıklarının bertaraf edildiği bir deponi alanını işaret ediyorsa bir durumda çok daha iyi bir analitik programın uygulanması gerekir. Bu da yüzlerce kimyasal analizin yapılmasını, birçok su ve toprak örneklerinin toplanmasını gerektirir.



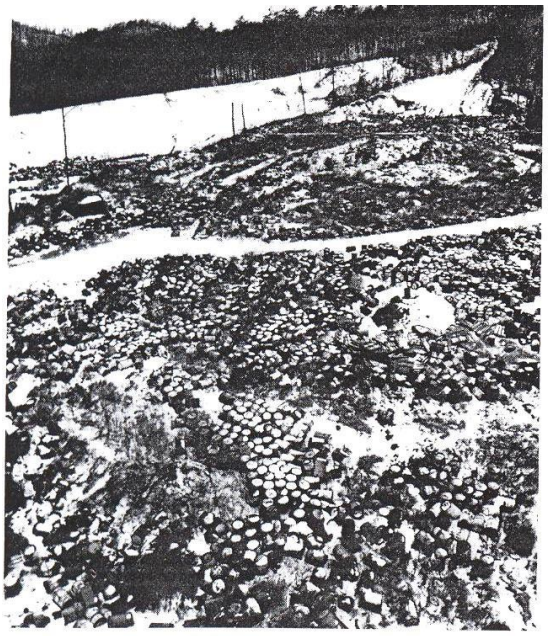
Şekil 5. ABD'nin orta kesimindeki bir yerleşim yerinde endüstriyel alanların tarihi gelişimini gösteren Sanborn haritaları (Hasan, 1996).

TEHLİKELİ ATIKLARI BERTARAF YÖNTEMLERİ

Geçmişte tehlikeli kimyasal atıkların denetlenemeyen arazilere boşaltılması, birçok yönleriyle toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açmıştır. Bu sorunlar, aşağıdaki nedenlerle ortaya çıkmaktadır:

- Kimyasal atıklar, çoğu kez varillerin içerisine doldurulup bir deponi alanına gömülerek uzaklaştırılmaktadır. Ancak variller, yüzey sularıyla ya da yeraltı suları vasıtasıyla kimyasal olarak çözünebilir ve böylece varillerin sızıntı suları toprağı ya da su kaynaklarını kirletmesi,
- Sıvı kimyasal atıklar, bazen bir göle boşaltılmaktadır. Ancak kirlenmiş göl sularının daha sonra dolayındaki toprağı, kayaları ve de yeraltı sularını kirletmesi,
- Sıvı kimyasal atıkları, kimi zaman yasa dışı olarak boş alanlara hatta yollara boşaltarak çevreyi çeşitli yönleriyle kirletmesi.

Araziye bırakılan atıklar, araziye düzenli bir şekilde yerleştirilirse ve arazide kimyasal atıktan kaynaklanacak sorunlar kısmen ortadan kaldırılabilir. Tehlikeli özelliğe sahip atıkların, Newyork-Kentucky'nin Lousville bölgesinin yakınlarında bulunan vadideki bir alana bırakılması (Şekil 6; Botkin ve Keller, 1995), alanda sızıntıdan kaynaklanan zehirli sıvıların yayılmasına yol açmıştır. Benzeri sorunlar, geçmişte İstanbul'un Tuzla'sında da yaşanmıştır.



Şekil 6. Sheperdsville de Kentucy'ye yakın bir yerde bulunan Drum Vadisi'nde tehlikeli kimyasal atık içeren binlerce varil gömülmüş ya da yüzeyde depolanmıştır. Bunlar toksik gereçlerin sızdığı varillerdir. Bu bölge 1980'lerin başında ve 1990'ların başında temizlenmiştir (Botkin ve Keller, 1995).

Variller ve buna benzer kapalı düzenekler arazide yaklaşık 10 yıl içinde çürümektedir. Bu düzeneklerin içerisindeki maddelerin sınıflandırılarak konulması, uygun koruyucu önlemlerin geliştirilmesi, atığın yakılması ya da kimyasal atıkların doğal ortama arıtılarak verilmesi hedeflenmelidir.

Eski sahaları olduğu gibi kendi haline bırakmak büyük bir sorumsuzluktur. Bu sahalar gözden geçirilirken, içme suyu amaçlı kullanılan yeraltı suyunun kirlenme riski olduğu alanlar öncelikle ele alınmalıdır. Tehlikeli gereçlerin güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi ve ortamın iyileştirilmesi için çaba

harcanmalıdır. Bunun için kirliliğin yayıldığı alanın jeolojisi, kirliliğin yayıldığı alanın ve kirliliğin nitelikleri ile boyutlarını belirlemek için çeşitli testlerin yapılmasında yarar vardır. Gerekirse alanı izole etmek, sürekli denetlemek ya da yeraltı suyunu arıtarak kullanma yönünde çeşitli seçenekler üretilebilir. Eğer toprak da kirlenmiş ise toprağın yerli yerinde (in-situ) ya da yerinden alınarak (ex-situ) başka bir alanda kimyasal ya da biyolojik yöntemlerle iyileştirilmesi gerekmektedir.

Geri kazanımda önemli olan, önceden kullanılmış ve başarıya ulaşmış yöntemlerle alanın temizlenmesine çaba gösterilmesi, arıtım için başta gelen seçeneklerden biridir. Geri dönüşümle amaçlanan kazanımlar milyarlarca dolardan fazladır. Ayrıca alanlara terkedilmiş atıkların alanlarda yok edilmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve basit tekniklerin üzerinde durularak yok etme yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak alanlara terk edildiği görülen atıkların oluşturduğu etkilerin yok edilmesi için biraz zaman gerekmektedir. Çizelge 5'de tehlikeli atıkların yok edilmesi ve arıtımdan geçirilmesi için kullanılan teknolojik yöntemler ile atıkların miktarlarındaki azalmalar karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 5. Tehlikeli atıkları azaltma teknolojilerinin karşılaştırılması (EPA, 1983).

	Uzaklaştırma		Arıtma		
	Düzenli depolama; ve göllerinde biriktirme	Derin enjeksiyon kuyuları	Yakma ve diğer ısı işlemleriyle yok etme	Yüksek ısıyla kimyasal ayrışma [a]	Kimyasal açıdan dengeleme
Etkililik: Tehlikeli maddeleri yok etme kapasitesi	Uçucu sıvı maddelerin düşük seviyelerde bulunması halinde laboratuar çalışmaları ve arazi incelemeleri temel alınır.	Yüksek değerler teoride temel oldu; müsait sınırlı sınırlı bir alan elde edilebilir	Yüksek değerler, arazi incelemelerine temel oldu; bileşenlere ait veriler çok azdır	Çok yüksek değerler, ticari ölçekli testlere temel oldu	Bir çok metal için yüksek değerlere sahiptir; laboratuvar testlerine temel oldu
Güvenlik konuları	İnşaat yapımı ve işletme Belirsizlikler: atığın hücreleri ve alandaki örtü malzemesinin uzun süreli bütünlüğü ve zehirli atığın yaşam süreci	Tarihi alanlar ve jeolojik derin kuyu İnşaat ve işletme	Atığın özelliğini inceleyip, atığı yüksek ısıya maruz bırakarak Yok etme ve Uzaklaştırma Verimliliği (DRE); Ürünün Tam Yanmaması (PICs) ve yakıp kül etme [b]	Deneyimlerin sınırlandırılması Hareketli üniteler; arazide arıtım risklerinden kaçınılmalı işletme kolaylıkları	Bazı inorganik maddeler devamlı olarak eriyebilir. Tehlikeli olduğuna şüphelenilen atıklar arıtımdan geçirilerek test edilir
En çok etkilenen ortam	Yüzey suları ve yeraltı suları	Yüzey suları ve yeraltı suları	Hava	Hava	Yeraltı suları
Uygun olmayan atıklar [c]	Gemilerin bıraktığı atıklar çok zehirli olup su da hareket eder ve kütleler devamlı olarak birikmektedir	Reaktif; korozif; çok zehirli, hareketli ve sürekli olarak devam eder	Çok zehirli ve düzensiz organik maddeler, yüksek konsantrasyonyonlarda ağır metaller	Birkaç organik madde	Organik maddeler
Göreceli harcamalar	Düşükten orta dereceye	Düşük derecede	Orta dereceden yükseğe	Orta dereceden yükseğe	Orta derecede
Kaynaktan geri kazanım potansiyeli	Hiçbir şekilde olmaz	Hiçbir şekilde olmaz	Enerji ve bazı metaller	Enerji ve bazı asitler	İnşaat gereçleri

[a] Erimiş tuzlar, yüksek sıcaklıklarda akışkan maddeye plazma boyunca arıtım uygulanır.

[b] DRE = Yok etme ve Uzaklaştırma Verimliliği; PIC = Ürünün tam yanmaması.

[c] Bu yöntem atıkların etkisini en aza indirgemesinden dolayı yöntemin teknolojisi diğerlerinden göreceli olarak farklıdır. Listelenen atıklar, ortak kullanımı kesin olarak ifade etmez.

Çevresel sorunlara neden olacak bütün teknolojiler bu çizelgede fark edilebilir. Deponi alanı olarak kullanılacak alanın tümünün atık yönetiminde bir çözüm yolu bulunmalı ya da uygun olan yöntemler tercih edilmelidir.

Tehlikeli kimyasal atık yönetimi doğrultusunda arazinin korunmasına yönelik başlıca yöntemler, düzenli depolama, geri kazanım, bakteriyolojik bozunma, atıkların kimyasal ayrıştırma havuzlarında zararsız hale getirilmesi, çöp fırınları ise atığa yüksek derecede ısı verilerek yakılmasıyla ve yok edilmesi ilkelerine dayanan yöntemlerdir. Zehirli atıkların yönetiminde, atıkların alanda yok edilmesine yönelik teknolojik gelişmeler dikkate alınmalıdır. Böylece bir alanın tahribata uğraması ile oluşacak maddi zarar, alanda kurulacak sürekli bir arıtma tesisinden çok daha pahalıya mal olabilecektir. Bununla birlikte, tehlikeli kimyasal atıkların tamamının alanda arıtımında arta kalan ve giderilemeyen atıklar olacaktır.

Tehlikeli atıkların bertarafı için öngörülen yöntemler diğer katı atıklar için öngörülen yöntemlere benzemektedir. Tehlikeli atıkların okyanuslara boşaltılması uygun görülmemekte olup yasaklanmıştır. Bunların uzayda bertaraf edilmeleri günümüzdeki teknolojiler gözetildiğinde oldukça pahalıdır. Dolayısıyla güvenli depolama başta olmak üzere, derin kuyu enjeksiyonu ya da doğal süreçlerle tehlikeli atıkların bozunmaya bırakılması birer seçenek olarak düşünülebilir.

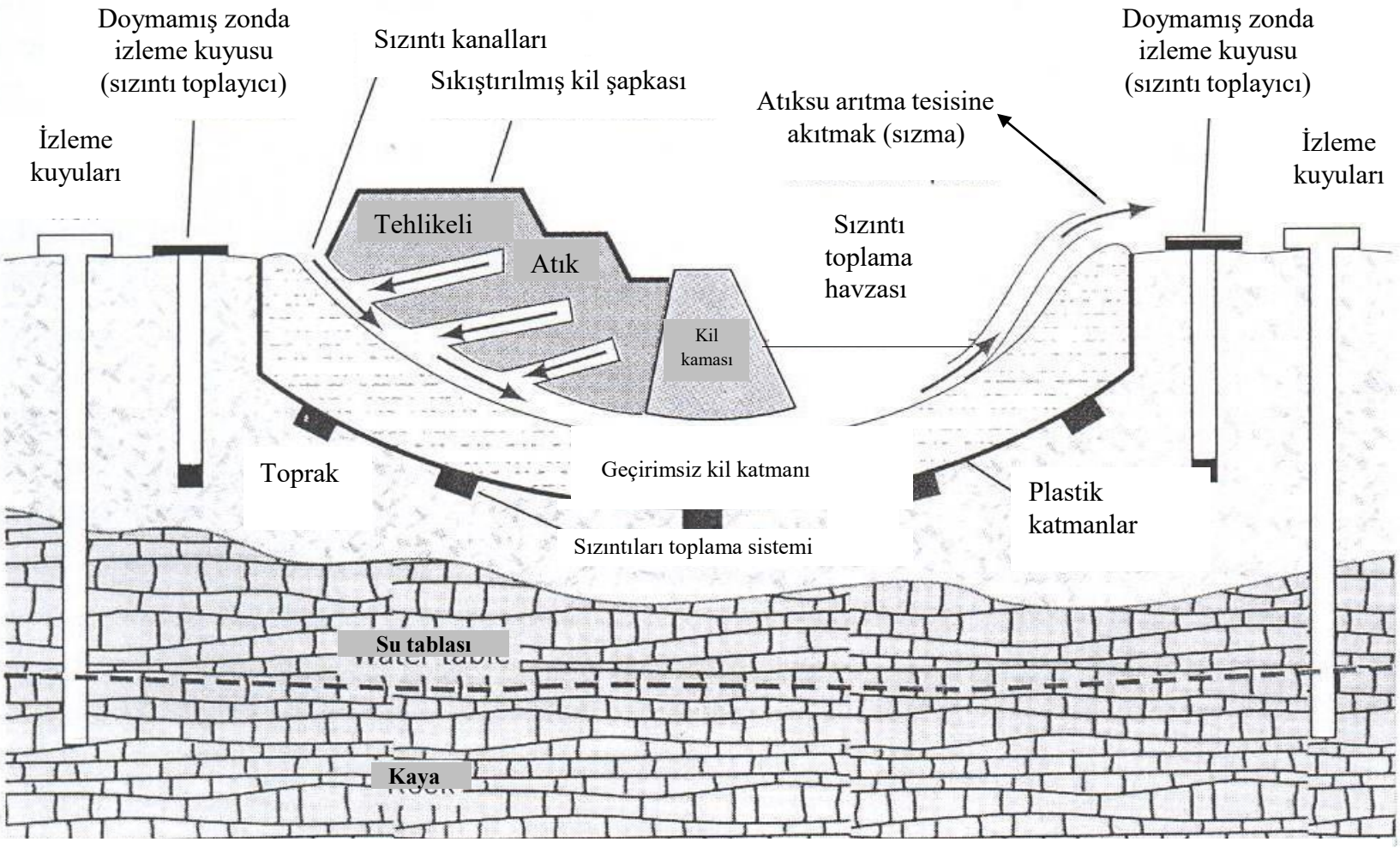
Güvenli ve düzenli depolama

Atıkların araziye belli bir amaçla bırakılması, ***arazi uygulaması*** olarak kabul edilir. Atıkların arazi uygulaması bazı sanayi atıklarının uzaklaştırılması için arzu edilen bir yöntemdir. Bu sanayi atıkları petrol ya da organik sanayi atıklarıdır. Arazi uygulamasının iyi bir yönü, atıkların özellikle biyolojik olarak uzun süre korunmalarıdır. Yani biyosferde bu gereçlerin uzun bir süre kalabilmesidir. Bu yöntemde atık toprak üzerine serilip, topraktaki mikroorganizmalar tarafından bozunmaya bırakılır. Ancak toprak üzerinde kimyasalların denetimi çok zordur. Arazi uygulaması, tuzlar ve ağır metaller olarak bilinen inorganik gereçler için de etkili bir arıtma yöntemi değildir.

Biyolojik olarak ayrışan atıklar toprağa katılırlar. Bu da atıkların kimyasal olarak ayrışmasına yol açan mikroorganizmalar (bakteri ve diğer organizmalar) tarafından kullanılmaktadır. Böylece toprak, mikrobiyolojik açıdan çiftliğe dönüşür. Yani, toprağın üst kısmında çok büyük bir oranda mikroorganizmalar gelişir. Böyle bir ortamda sürekli bir döngü içinde kirleticilerin diğer yaşayan organizmalar tarafından kullanıldığında bu kirleticilerin akışı gerçekleşir. Arazi uygulaması, toprağın en üstteki 15-20 cm'lik bölümüyle sınırlanır.

Tehlikeli atıkların, özellikleri belirlenmiş bir alanda güvenli depolanmasının sağlanması uygun görülen bir yöntemdir. Kentsel atıklar için çağdaş, sıhhi deponi alanlarının kullanılmasına gereksinim duyulmaktadır. Çünkü son yıllarda kentsel atıkların da tehlikeli sızıntı sularını içerdiği açıkça görülmektedir. Dolayısıyla tehlikeli maddelerin gömülerek depolanması ya da sıhhi depolama tasarımının yapılması öngörülmelidir.

Yönetimin sorumluluğu çerçevesinde öngörülen standartlara uygun olarak planlanmış güvenli bir deponi alanı tasarımı örneği Şekil 7'de sunulmuştur. Burada çeşitli unsurların birbirini nasıl etkileyebileceği ve bu unsurlar arasındaki ilişkileri bir arada görmek mümkündür. Burada örtü ile birlikte kil ya da diğer geçirimsiz plastik gereçlerden yapılı kama biçimli atıkları sınırlar. Bu sistem içinde, içte yer alan kanallar yoluyla sızıntılar önce bir toplama havuzunda birikir. Sonra, buradan atık su arıtma tesisine gönderilir. Çağdaş tasarımlarda geçirimsiz olan birkaç katman öngörülmektedir. Geçirimsiz katmanların işlevi, sızıntı sularının toprağı ve özellikle yeraltı sularını kirletmemesidir. Buna göre atıkları uzaklaştırmanın yanı sıra diğer deponi alanlarında olduğu gibi sızıntıların yeraltı sularını kirletip kirletmediği konusunda personeli uyarmak üzere, birkaç izleme kuyusu tasarlanmalıdır. Son zamanlarda, gerçekten güvenli bir depolama için bir ölçüde de olsa sızıntıların olabileceği tartışılmaktadır.



Şekil 7. Tehlikeli kimyasal atıkların güvenli bir depolama örneği. Geçirimsiz katmanlar, süzülme sistemleri ve sızıntı toplayıcıları sistemin ana bölümleri olup sızıntıların deponi alanından dışarıya süzülmemesini sağlarlar. Doymamış zondaki kil sızıntı depolayıcı izleme yerleri de önemlidir ve bu yerler, sızıntı suyunun periyodik olarak toplanmasını sağlarlar (Botkin ve Keller, 1995).

Bu geçirimsiz katmanların yeterli niteliklerde olmaması durumunda çeşitli sızıntılar kaçınılmaz olarak ortaya çıkar. Örneğin çeşitli kemirici hayvanlar, plastik katmanları ya da kil katmanlarını kemirerek zarar verebilir ve buradan da sızıntılar meydana gelebilir. Fakat dikkatli bir tasarımla bu tür sorunları en aza indirgemek olasıdır. Kalın kil tortuları ya da diğer doğal perdelerin kullanılması bir çözümdür. Ayrıca uygun özel kimyasalların kullanılması da tercih edilebilir.

Göllerde biriktirme

Tehlikeli sıvı atıkların hem doğal topografik çöküntülere, hem de insanların kazarak açtığı çukurlara bırakılmaması gerekmektedir. Göllerin yüzeyindeki birikmeler, suyun buharlaşmasından dolayı hava kirliliği sorununu da yaratmaktadır. Tehlikeli atıkların uzaklaştırılması için bu tür depolama ya da yok etme sistemlerinin kullanılması sorun çıkardığı için birkaç deponi alanı kapatılmıştır.

Bu sıvı atıkların içerisindeki plastik maddelerin bir araya getirilmesi için aslında toprak önceden hazırlanmalı ya da diğer yüzey gereçleri sistemli bir şekilde ayıklanmalıdır. Ne var ki atıkların göllerin yüzeyinde tutularak biriktirilmesine yönelik tasarımlar yapılmaktadır. Örneğin tehlikeli atıklar, derin çukurlar ve çanak biçimindeki göllerde (lagünlerde) bir ölçüde tutulabilir. Göllerin yüzeyinde özellikle sızıntıdan dolayı tehlikeli atık birikimi meydana geldiği için toprak ve su kirlenmesi oluşmaktadır.

Derin kuyu enjeksiyonu ile uzaklaştırma

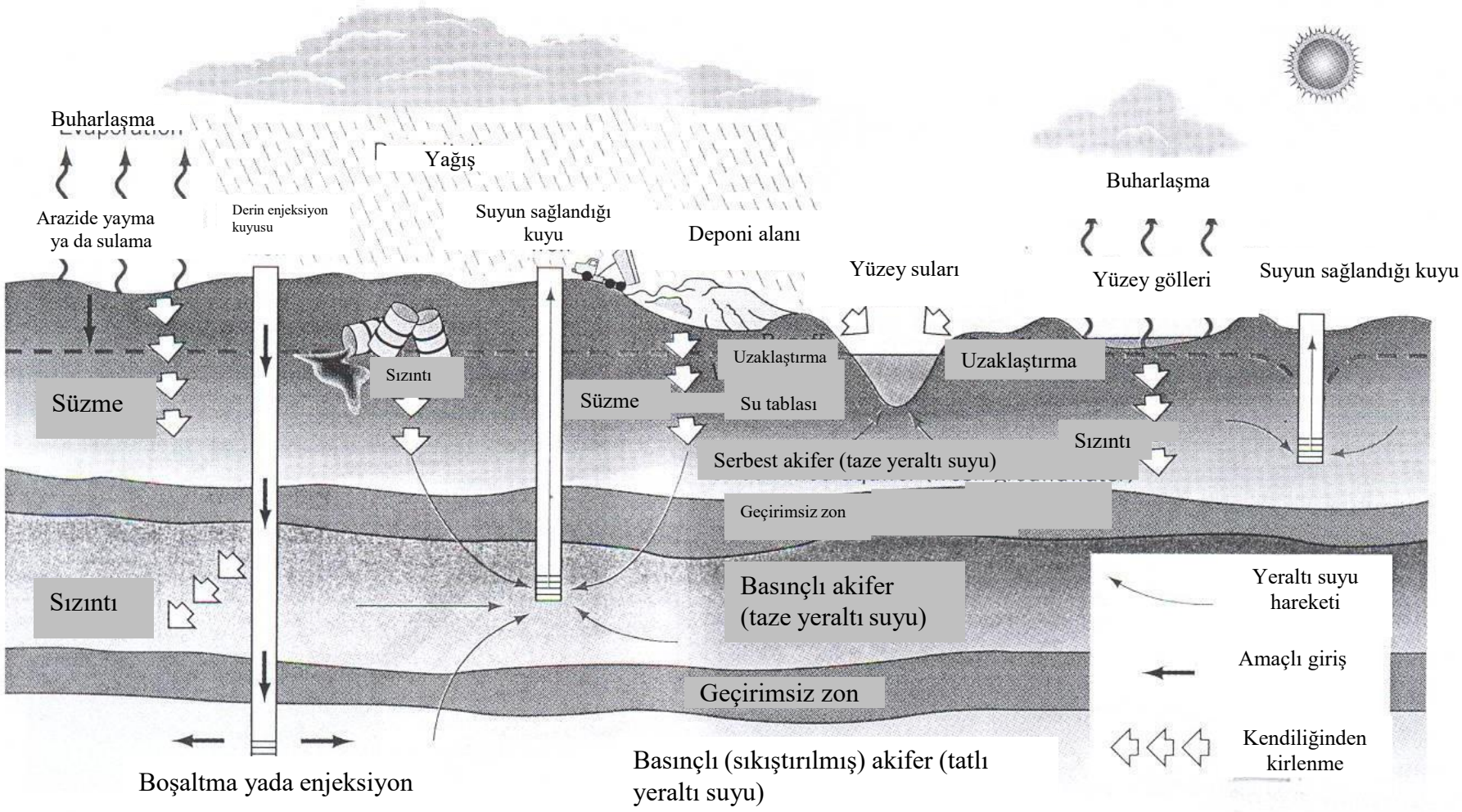
Derin kuyu ile uzaklaştırma, sorun yaratan diğer bir yöntem olup sondajla açılan kuyuların içerisine atık bırakılmasını gerektirmektedir. Böyle bir yöntemde derin kuyunun gereksinimi karşılaması ve akiferde tümüyle serbest olarak bulunan tatlı suyun kirlenmeye uğramaması gerekmektedir. Atıkların yüzeyden birkaç bin metre derinde olan geçirimli katmanlara enjekte edilmesi ve bu katmanların da şeyl ve tuz çökelleri gibi dayanımlı ve geçirimsiz olan katmanların altında bulunması gerekmektedir. Bunun için ayrıntılı jeolojik ve jeofizik çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Petrokimya sanayiinde derin kuyu enjeksiyonu kullanılmaktadır. Petrol sahalarının tuzlu sularının derin kuyu enjeksiyonu yıllarca su kirliliğinin denetiminde yararı olmuştur. Sıvı atıklar ise büyük ölçüde tekrar petrolün alındığı kaya birimlerine enjekte edilmektedir.

Endüstriyel atıklardan kaynaklanacak sorunların derin kuyu yöntemiyle uzaklaştırılması gelecekte mümkün olmayacaktır. Endüstriyel atıkların oluşturduğu sorunlara şu an için hızlı ve basit bir çözüm yolu düşünmek gerekmektedir. Jeolojik yapılar ve koşullar endüstriyel atığın derin kuyu ile uzaklaştırılmasına uygun ise sahada endüstriyel atıklar için belli bir hacme sahip alan ayrılarak, kuyuda sınırlı miktarda atığın uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Sonuç olarak tehlikeli atıkları yok etmek amacıyla gereksinim duyulan kuyuların yerleri, dikkatli incelemelerle belirlenmeli ve bu doğrultuda yok etme işlemine tabi tutulmalıdır.

Sonuç olarak tehlikeli atıkları arazide doğrudan uzaklaştırma yöntemi, sıkça kullanılan, seçeneklerin arasında en önemli olanı ve daha iyisinin olmadığı bir yöntemdir. Tehlikeli atıklara, engebesiz ve geniş koruma alanlarının içerisinde tesis tasarımı yapıldıktan sonraki aşamada genel bir fikir vardır ki; arazide uzaklaştırma seçeneklerinin gelecekte çevresel aksamaya neden olacak atıkları içermeyeceğine dair garanti vermemektedir. Arazide uzaklaştırma yöntemini tümüyle doğru bir şekilde içine alan seçenekler arasında; araziye düzenli depolama, göllerde biriktirme, derin kuyu enjeksiyonu gibi seçenekler vardır.

Arazide tehlikeli atıkları uzaklaştırma işlemi sırasında hava kirliliğine, toprak kirliliğine, yüzey ve yeraltı suyu kirliliğine neden olacak uygulamaların deponi alanında yapılmaması gerekmektedir. Şekil 8'de, tehlikeli atıkların uzaklaştırılmasında, çevre kirliliğinin denetimine yönelik bazı yöntemlerin arazideki konumları sunulmuştur. Burada, deponi alanlarından yüzey sularına ya da yeraltı sularına ulaşan sızıntılar görülmektedir. Tabanı düzenlenmiş göllerdeki sızıntılar ve diğer emisyonları, atıkların kırıklı olan yerlerde toprağa süzülmesi, derin kuyu enjeksiyonu ile diğer borulardaki sızıntılar, gömülü variller, tanklar veya konteynırlardan boşalan sızıntılar izlenmektedir.



Şekil 8. Tehlikeli atıkların uzaklaştırılmasında araziye gelişigüzel boşaltmanın çevreyi nasıl kirletebileceğini gösteren bir tasarım (Cox, 1985).

Tehlikeli atıkların arazide uzaklaştırılmasına karşı seçenekler

Kimyasal atığın işletilme yöntemlerinin çok yönlü olması gerekmektedir. Buna ek olarak, bu uzaklaştırma yöntemleri üzerinde yakın zamanda tartışılmış olan kimyasal atık yönetiminin, yakma, yeniden kazanım ve kaynakları geliştirme gibi uygulamaları kapsadığı belirlenmiştir. Son zamanlarda tehlikeli atıklar için arazide uzaklaştırma seçeneklerinin tümünün kullanılmayacağı tartışma konusu olmuştur. Atıkların hacmi, azalabilir ve artakalan atıklar arıtma tesislerinin çökellerdeki arazi uzaklaştırmada önceden belirlenmiş şekillerde arıtılır ya da geri döndürülebilir (Botkin ve Keller, 1995). Kaynak azalması, geri dönüşüm, arıtma ve yakmayı da kapsayan avantajlar aşağıda verilmiştir:

- Atıklar olabildiğince azaltılmalıdır.
- Atıkların arıtılması atıkları daha az zehirli etki yapan bir düzeye indirgeyebilir ve bundan dolayı da deponi alanlarında daha az soruna yol açabilirler.
- Tehlikeli atıkların azaltılması ve sonunda da uzaklaştırılması, atık uzaklaştırma yerlerinin kapasitesi üzerine daha az baskı yapmaktadır. Bu tekniklerin bazıları, Bütünsel Atık Yönetiminin (BAY) bir bölümü olarak tartışılmışsa da her tekniğin özel güçlükleri de vardır.

Kaynakta azaltma

Kaynakta azaltmanın amacı, tehlikeli atıklardan yeni ürünler üreterek, tehlikeli atığın miktarını azaltmak ya da diğer yöntemlerden yararlanmaktır. Örneğin zehirli atıklardan yeni ürünler üretmek için kimyasal yöntemlere gereksinim duyulmakla birlikte, uygun gereçlerin kullanılması yada bakım koşullarının sağlanması da gerekmektedir (Botkin ve Keller, 1995).

Yeniden kazanım ve kaynakları geliştirme

Tehlikeli kimyasal atıklarda gereçlerin yeniden kazanımı, atığın gelecekte yeniden kullanılmasını sağlayacaktır. Örneğin asitler ve kimyasal çözücülük özelliğine sahip kirleticiler için gerekli üretim yöntemleri kullanılır. Bu asitler ve kimyasal çözücüler içerisindeki zehirli kirleticiler çıkarılırsa aynı ya da farklı kimyasal arıtma yöntemleri kullanılabilir (Botkin ve Keller, 1995).

Arıtım

Tehlikeli kimyasal atıkların yok edilmesine yönelik farklı bir yöntem olan arıtmanın yardımıyla fiziksel ya da kimyasal atık oluşumu azaltılabilir. Örneğin sıvı atık ve tehlikeli kimyasal bileşikler oksidasyona girerek bir bölümü bozunur ve böylece ağır metallerin ayrılması sağlanabilir.

Yakma

Tehlikeli kimyasal atıkları uzaklaştırmada gözetilen yöntemlerden birisi de atığın yüksek ısı ile yakılmasıdır. Atıkların yakılmasından dolayı ortamda kül kalacağından, arıtım sistemine dikkat edilmesi gerekmektedir. Tehlikeli atıklar kıyıdan uzakta, gemilerde de yakılmakla beraber yakma işlemi, deniz ve çevresinde potansiyel hava kirliliğine neden olurken, küllerin uzaklaştırılması da ayrı bir sorun oluşturmaktadır. Yakma işleminde kullanılan teknoloji, atığın yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla hızla değişerek bozulması ya da yok edilmesi esasına dayanmaktadır.

Sıvı, katı veya sulu çamur içeren atıklar, özelliklerine uygun yanma odalarında yapılan yakma işlemi uygulanır. Devamlı olarak tekrarlanan yanma sürecinde küller su tankının tabanında toplanırken, gazlar ikincil yanma odalarında tutulmaktadır. Gazlar, Gaz Temizleme Sistemi'nde asitlerle tepkimeye girerek, içinde yer aldığı atıklarla sistemden ayrılmaktadır. Sistemden karbondioksit, su ve hava çıkmaktadır

Atıkların yakma ve ısı yoluyla bozulmasına yönelik daha ileri teknikler geliştirilmiştir. Atığın içindeki organik maddeleri yok etmek amacıyla atığa eriyik tuzun eklenmesi yararlı olacaktır. Sonunda alanda ya da denizde kurulan diğer bir yakma işlemi de akışkan yataklı sistemlerdir. Hangi yakma yönteminin kullanılacağı atığın özel durumuna bağlı olup, atığı yok etmede gerekli olan sıcaklığı seçmek için atığın bileşimi belirlenmelidir.

RADYOAKTİF ATIKLAR

Tehlikeli atıkların bir türü de radyoaktif atıklardır. Bunlar iyonize radyasyon yaymaktadır. Radyasyon, ağır izotopların bozunması sonucunda oluşan bir enerji türüdür. Bu radyasyon insan sağlığı için tehlikeli boyutlara varmaktadır. Dolayısıyla radyoaktif atıklar için yeni bir ana başlığın açılmasında yarar görülmüştür.

İyonize radyasyon uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementlerin bozunmasıyla ortaya çıkar. Bozunan izotoplara radyoizotoplar denir. Bu bozunma ile açığa çıkan enerji elementin elektronlarını koparacak ya da kimyasal bağlarını değiştirecek düzeyde ise buna iyonize radyasyon denir. Dört tür iyonize radyasyon vardır. Bunlar başlıca alfa, beta, gama ve X-ışınlarıdır.

Alfa parçacıkları iki proton ve iki nötron içerir. Bu da helyum elementi ile eşdeğerdir. Beta parçacığı alfa parçacığından daha küçük olup canlı dokuların içine geçebilir. Ancak 1 cm kalınlığındaki bir malzeme beta parçacıklarına karşı kalkan oluşturabilir. Gama radyasyonu alfa ve beta radyasyonlarına eşlik eder. X-ışınları, elektronların daha yüksek bir enerji düzeyinden daha düşük bir düzeye geçerken yayınladıkları enerjidir. Gama ve X-ışınları, daha çok enerjiye nüfuz edebilme gücüne sahiptir. Onun için bu ışınların etkilerinden korunmak için kurşun ya da betondan yapılı bir kalkana ihtiyaç vardır. Tüm radyoaktif izotoplar zamanla bozunarak, sonunda kararlı enerji düzeylerine ulaşır.

İyonize radyasyonunun riskleri çeşitli araştırmalara yeni bir konu oluşturmaktadır. Radyasyonun hem insan sağlığını olumsuz etkilediği hem de çeşitli sağlık sorunlarının çözümünde kullanıldığı bilinmektedir. İnsan dokularının iyonize radyasyonla etkileşimi, dokuların türüne göre değişmektedir. Ayrıca farklı radyoaktivite türleri farklı etkiler yaratabilir. Örneğin, ***röntgen*** iyonlaşma hızını tanımlayan tümüyle fiziksel bir yapıdır. Bu yapının radyasyonun emilimi ve etkileriyle doğrudan bir ilişkisi yoktur. Dolayısıyla ***rem*** (***röntgen eşdeğeri birimleri)*** tanımlanmıştır. Rem, radyasyonun biyolojik etkileri için bir ölçü birimidir. Bu çerçevede soğurulan bir maddenin kilosu başına iyonize radyasyonun bir jul enerjisinin miktarı olarak tanımlanan gray (Gy) ve sievert (Sv) gibi birimler de tanımlanmıştır. Bir Sv, bir Gy'lik gama ya da X-ışını radyasyonuyla dokuya aynı derecede zarar veren soğurulmuş radyasyon miktarıdır. Bie Sv 100 rem'e eşittir (Vesilind ve diğerleri, 2012).

Radyasyonun etkileri akut ya da kronik olabilir. Düşük dozda da olsa uzun bir süre içinde radyasyona maruz kalındığında kanser ve mutasyonlar kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. İnsanlar tarafından maruz kalınan radyasyonlar arka plan radyasyonu, istemli ya da istemsiz radyasyon ve kaza nedenli istemsiz radyasyon olmak üzere sınıflandırılabilirler.

Arka plan radyasyonu daha çok uzaydan gelen kozmik radyasyondur. Binaların içine de yayılan radon kaynaklı radyasyon da bu çerçevede kabul edilir. İstemli radyasyon sağlık ya da teşhis amacıyla kullanılan X-ışınlarından kaynaklanır. Bir dişçi tarafından çekilen bir röntgen (X-ışını) arka plan radyasyonun yüzlerce katı kadar radyasyona neden olmaktadır. Dolayısıyla sıkça röntgen çekilmesi sağlığı olumsuz etkileyeceği unutulmamalıdır. İstemsiz radyasyon nükleer enerji santralleri, silah tesisleri ve kimi sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. Kaza nedenli istemsiz radyasyon ise nükleer santrallerde gerçekleşen kazalar sonucu olarak meydana gelmektedir. Ayrıca insanların radyasyondan etkilenme oranları farklıdır.

Radyoaktif atıkların arıtımı ve bertarafında en önemli husus, yayılan radyasyonun miktarıdır. Bu miktar yüksek, orta ve düşük bir düzeyde olabilir. Yüksek düzeyde radyoaktif atıklar genellikle elektrik üretimi sırasında ortaya çıkarlar. Bunlar litre başına curie düzeyinde aktiviteler olarak tanımlanır. Orta düzeyde atıklar silah üretimi sırasında ortaya çıkar ve milicurie düzeyinde olsalar da uzun ömürlüdürler. Onun için bunlar da yüksek düzeyli atıklar gibi uzun süreli depolama gerektirir. Yüksek ve orta düzeyli atıkların depolanması günümüzde de tartışma konusudur.

Düşük düzeyli atıklar ise mikrocurie düzeyine sahip olup bunlar hastane ve araştırma laboratuvarlarda ortaya çıkarlar. Bunların aktiviteleri düşük olduğundan yakma ile hacim küçülmesini

sağlamak, güvenli ve düzenli depolama ile bertaraf etmek mümkündür. Ancak. radyoaktif atıklar için yer seçimi yapmak kolay değildir.

Diğer atıklar için öngörüldüğü gibi radyoaktif atıklar için önerilebilir biricik çözüm olabildiğince atıkların minimize edilmesidir. Hayal edilen dünya atığın olmayabileceği bir dünyanın gerçekleştirilmesidir. Bu da günümüzde imkânsızdır. Ancak, her şeyden önce gereksinim duyulan ürünlerin bakımı, onarımı ve geri dönüşümü düşünülerek tasarlanmalarında yarar vardır. Böylece daha az kaynağın kullanımı ve üretilen gereçlerin sistem içinde daha uzun süre kalması sağlanabilir. Öte yandan insan sağlığı ve çevre açısından zararlı olmayan kimyasalların üretilmesi, özünde kaynak kullanımının en aza indirilmesi ve kaynakların verimli kullanılması, yani tasarruf özendirilmelidir. Eğer çevreyi korumak üzere fonlar oluşturulacaksa, bu fonlar tasarrufu gözeterek yapılandırılmalıdır.

TEHLİKELİ ATIKLARI OKYANUSLARA BOŞALTMAYA DAİR SORUNLAR

Dünyanın yüzde % 70'inden fazlasını okyanuslar oluşturur. Okyanuslar, küresel çevremizin bir parçası olarak önemlidir. Örneğin küresel iklim değişikliğine neden olan karbondioksit döngüsünde de okyanuslar önemli bir işleve sahiptir. Okyanuslar, azot ve fosfor gibi yaşam için önemli olan birçok kimyasal elementin döngüsünde önemli işlevleri vardır. Öte yandan okyanuslarda yer alan besin ve mineral kaynaklarına gereksinim de giderek artmaktadır.

Atıkları, okyanuslara boşaltırken, atık kaynağının uygun görülen bir yerinde de arıtımın yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda okyanuslarda meydana gelen kirliliklerin denetimini de içeren bir planlama zorunludur. Okyanusların sahile yakın bölgelerinde, okyanuslara atıkların boşalımı devam ederse canlı popülasyonlarında değişimlerin olacağı gözetilmelidir.

Okyanusa boşaltılan atıklar aşağıdaki kirlilik türlerini içermektedir:

- Kirlenme, genellikle endüstri bölgeleri, gemi seferleri ve belediyelere ait atık su kanallarından kaynaklanmakla birlikte, katı gereç diye adlandırılan; okyanus dibinde kum, mil çamuru ve kaya kırıntılarının birikmesi.
- Endüstriyel atıklar ve bundan kaynaklanan asitler, rafineri atıkları, kâğıt atıkları, fabrika atıkları, ilaç atıkları ve çeşitli sıvı atıklar.
- Lağım suları, belediyeye ait arıtılmış atık sular, inşaat, cüruf, yıkıntı, sıva atıkları ve diğer gereçler.
- Katı atık, katı atığın geri dönüşümlü hali, çöp veya patlayıcı çöpler, radyoaktif atıklar ve arıtılmamış kentsel atık sular.

Atık suların okyanusa boşaltılması, okyanusta büyük sorunlara neden olmaktadır. Okyanus kirliliği denizel ortama ve çevresine zarar verirken, boşaltmanın denetim altına alınmaması da sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu çerçevede okyanusa kıyısı bulunan ülkelerde ticari amaçla çıkarılan kabuklu deniz ürünlerinin yataklarının bulunduğu alanların en az % 20'si avlanmaya kapatılmıştır. Çünkü bu yataklardan çıkarılan hayvanların bünyesinde hastalık üretici organizmalar bulunmuştur. Bu organizmaların da çocuk felci ve karaciğer iltihabı gibi hastalıklara neden olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla dinlenme alanı olarak kullanılan sahiller ve koylar kapatılmaktadır.

Denizde canlı hayatının olmadığı bölümler vardır. Ancak aşırı balık avlanması ve hastalık yapıcı organizmaların su ortamında oluşturduğu büyük değişimler, denizin tüm ekosistemini bozmaktadır. Okyanus yaşamını içine alacak şekilde, denizde meydana gelecek kirliliğin oluşturacağı etkiler ise aşağıda sunulmuştur:

- Zehirli kirletici maddeler, denizde yaşayan canlıların ölmesine yada yaşamsal üretkenliklerinin gelişmesine neden olacaktır.
- Organik atıkların sucul ortamda bozulmasıyla oksijen içeriği azalacağından denizde yaşayan canlıların oksijen gereksinimleri artacak ve biyokimyasal faaliyetlerin oksijen içeriğinin azaltılmasına izin verilmeyecektir.

- Avrupa'daki kıyıların, haliçlerin, körfezlerin sığ olması, besin değeri yüksek atıkların, bu bölgelerden verilmesi sonucu, atıklar kıta sahanlığına doğru giderek artacaktır. Bu da sığ denizel ortamda oksijenin azalmasına ve deniz yosunu oluşumuna neden olabilir.
- Atıklar denizel ekosistemde değişime neden olurken, bunların gelecekte yok edilmeleri ise pratikte zor olacaktır.

Avrupa kıyılarındaki deniz suları, özellikle Baltık ve Kuzey Denizleri, kentsel ve tarımdan ileri gelen kirleticilerin tehdidi altındadır. Bu kirleticiler deniz suyundaki besinlerin artmasında rol oynamaktadır. Zehirli alglerin yavaş ya da ani büyümesi ile ilgili sorunlar Kuzey Denizi ile Batlık Denizi'ni birleştiren boğazda 1988 yılında yaygın bir nitelik kazanmıştır.

Kirlilikte meydana gelen patlama, denizin yaklaşık 15 m (50 ft) derinliğinde hemen hemen tüm denizel yaşamın yok olmasında etkili olmuştur. Okyanuslardaki ekosistemlerin bazılarında gerçek bir ilgi vardır. Örneğin, mercan adaları, haliçler ve tropikal kuşaktaki bataklıklar başlıca okyanus kirliliğini oluşturmaktadır. Dünya'daki okyanuslar çok geniş yer kaplamasına karşın, büyük kara parçaları da olup, bunlarda yer alan sucul ortamın bazı bölümleri aşırı kırılgan bir yapıya bürünmüştür.

Son zamanlardaki çalışmalar, tüm sucul ekosistemler kadar okyanus tabanlarını da zararlı gereçlerin tehdit ettiğini belirtmektedir. Okyanus tabanının 3 mm kalınlığındaki bölümümde bol miktarda planktonik canlı vardır. Bunlar sucul besin zincirinin de temelini oluşturmaktadır. Balık ve genç kabuklu deniz ürünleri, aynı zamanda yaşamlarının ilk bölümlerinde suyun birkaç milimetre kalınlığında ki kısmında kesin olarak oluşmaktadır. Çalışmalardan birinde okyanus tabanının 3 mm kalınlığında çinko, bakır ve kurşun içeren ağır metallerin derişimleri daha derin sulara göre 10 ile 1000 kat daha yüksek olduğu rapor edilmektedir. Bu ince katmanın yaratacağı kirlilik korkutucu düzeylerdedir. Gelecekte özellikle sucul organizmalar üzerinde kirliliğin ciddi etkileri olacaktır.

Sucul kirlenme, aynı zamanda insan ve toplum üzerinde temel sorunlara neden olabilmektedir. Kirlenmiş sucul organizmalar, elementler yada hastalıklar bunlarla beslenen insanlara besin zinciri yoluyla geçebilir. Sahiller ve limanlar; katı atıklar, yağ ve diğer gereçler tarafından kirlendiğinde estetik yönden özelliğini de yitirmektedirler. Ekonomik kayıplarda göz önünde bulundurulabilir. Sadece ABD'nde, kirliliklerden kaynaklanan kabuklu deniz ürünlerinin kaybı değil, aynı zamanda sahil alanlarının da katı atık, sıvı atık ve diğer kirleticileri yok etmek için her yıl milyonlarca dolar para harcanmaktadır.

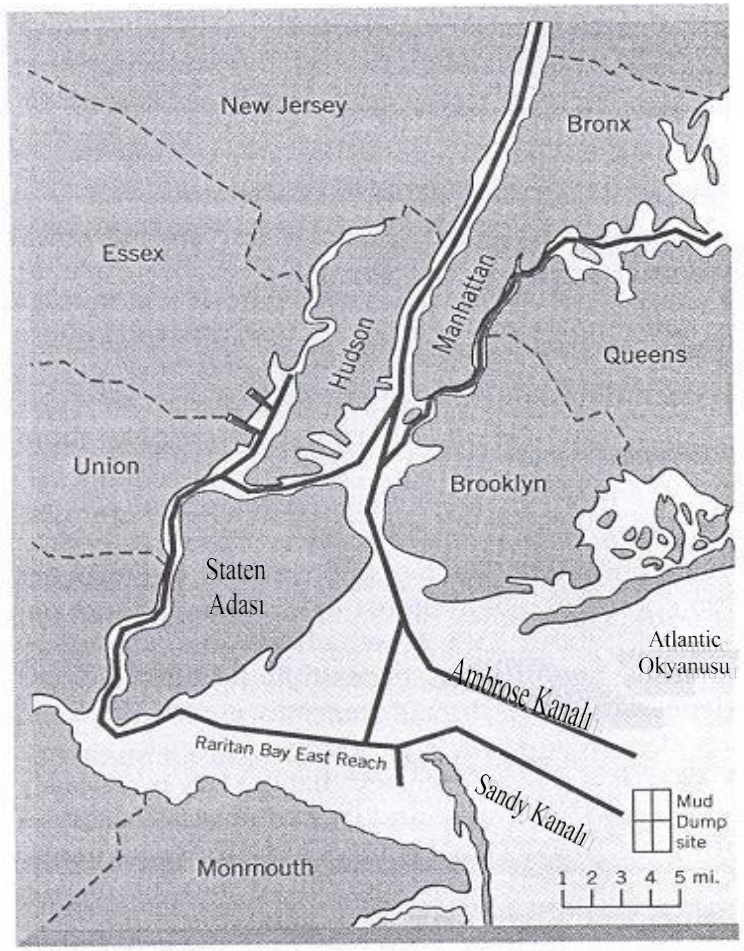
Okyanusa boşaltmada sorunlar: Ne yazık ki sahile yakın okyanus alanlarının balıkçılık açısından kullanımı arzu edilmesine karşın, bu bölgelere daha çok atığın boşaltılmasına maruz kaldığı görülmektedir. Kıyıya yakın suların kirlenmesinin tipik örneği Los Angeles bölgesinde görülmektedir (US Army Corps of Engineering, 1989).

30 yıldan daha fazla bir süredir atık sular ve atık çamurlar, Santa Monica Körfezi'nin birkaç mil ötesine boşaltılmaktadır. Son yıllarda akım hızı günde yaklaşık 1,5 milyar/L'dir. Yalnızca alıcı ortama deşarj edilen suyun yaklaşık % 25'i ikincil arıtım sonrası ortama verilmektedir. Tüm bu atık sular için Los Angeles ikincil arıtım sisteminin oluşturulması sayesinde kirleticiler ile başarılı bir şekilde mücadele edilmiştir. Ayrıca federal düzenlemeler oluşturulmuştur.

Petrol rafinerisi atıkları, siyanürler ve PCBs'ler denizel ortama katıldığında özellikle 1940'lı yıllarda körfezin, kanalizasyon ve atık uzaklaştırma nedeniyle ciddi bir şekilde kirlendiği bilinmektedir. Potansiyel tüm sağlık sorunlarıyla ilgili olarak atıkların tümünü ikincil arıtım ile alıcı ortamlara boşaltılması (deşarjı) hususunda çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Los Angeles eyalet konseyi uzun mücadeleler sonucunda ikincil arıtım için ek olarak 172 milyon $ harcama yapmaya karar vermiştir.

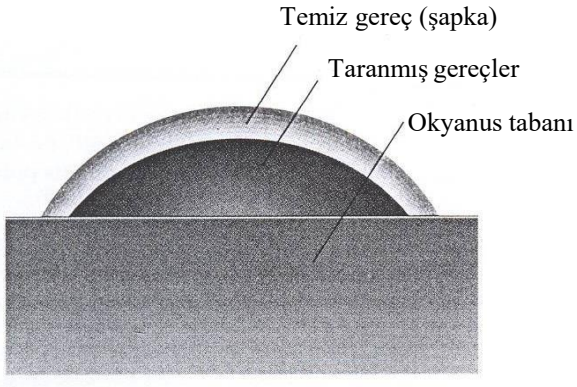
Atıkları okyanuslarda uzaklaştırmaya ilişkin bir örnek de New Jersey'de yaşanan deneyimdir. Long Island'ın açığında yer alan New York, Bight ve New Jersey kıyılarını içeren Newark koyu, önemli

ticari gemi limanlarına sahiptir. Bu koyda deniz deşarjlarına dair kanal sisteminin uzantıları Şekil 9'da görülmektedir. Bu sistem, sanayi atıklarından korunmak yapılandırılmıştır. Ayrıca, limanda büyük gemilere yer açmak için deniz dibinde minimum 12,8 m derinlikte birikmiş olan çökellere, periyodik olarak dip taraması yapılarak denetlenmektedir. 1976'dan beri dip taraması ile toplanan çökellerin yılda 5,3 milyon m^3'ü Mud Dump alanında boşaltılmaktaydı. Kıyıdan yaklaşık 9,6 km uzunluğunda bir bölgede çökeller bulunduğu yerden ortalama 22 m derinde bulunan yerlere de boşaltılmıştır. Bu bölge, balıkçılığın yaygın bir şekilde yapıldığı bir yer olup, çeşitli balık türlerinin avlandığı ve sanayiye yılda 100 milyon dolar katkı yapan bir alandır.



Şekil 9. ABD Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nca New York ve New Jersey limanlarında yapılan kanal çalışmalarının bulduru haritası (US Army Corps of Engineers, 1989).

Hudson, Passaic ve Raritan ırmaklarından gelen çökellerin çoğu körfezde birikmektedir. Ayrıca ırmak boyunca kimi sanayi tesislerinden organik atıklar ve metalik atıklar gelmektedir (US Army Corps of Engineering, 1989). En tehlikeli atıklardan biri de ***dioksin***dir. Dioksinin yayılım biçimine dair bir görüntü Şekil 10'da görülmektedir. İlk olarak bu ürün Agent Orange Ajansı'nın üretim çalışmalarında kullanılmış, birçok endüstriyel süreçlerde ve kâğıt yapımında dioksinin meydana geldiği belirlenmiştir. Bu ürün, Vietnam savaşı sırasında insanlara zararlı etkileri olan böceklere karşı da kullanılmıştır. Çünkü hayvanlarda yapılan incelemelerde, dioksinin hayvanların bağışıklık sistemini bozup, kansere neden olabileceği anlaşılmıştır. 1990'lı yılların başında tartışma konusu olan zehirli dioksin çökellerinin, sağlık üzerinde birçok zararlı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 10. Dioksinin yayılımı (US Army Corps of Engineers, 1989).

New York'un Port Authority bölgesinde bulunan Mud Dump yerleşim alanının insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri tartışma konusu olurken, 383.000 m^3 hacminde zehirli çökel bu alana bırakılmıştır. Okyanusa boşaltılan zehirli atıklar okyanusa yayılarak ortamı kaplamakta ve daha sonra bu atıklar ortamdan uzaklaştırılamamaktadır. Dolayısıyla önemli çevresel risklere neden olan zehirli gereçlerin okyanusa boşaltılması uygun görülmemektedir.

Dioksinin uzaklaştırılmasında okyanus dibinin temizlenerek bu gereçlerin belli orandaki derişimlerinin giderilmesi sağlanmıştır. 4 pptr (kuru ağırlık değeri trilyonda 4) den daha yüksek derişimlerin okyanusa verilmesine yasak getirilmesi gereksinimi duyulmuş ve 25 pptr kadarki derişim değerlerinin okyanusa boşaltılmasının yasak olduğu vurgulanmıştır. Konuyla ilgilenen bazı araştırmacılar bu sınırlamaların gereğinden fazla olduğunu belirtmiştir. Ancak Avrupa ve Kanada da bulunan diğer araştırmacılar ise daha yüksek düzeylerin kabul edilebileceğini ileri sürmektedir.

Dioksinin zararlı etkileriyle ilgilenen araştırmacılar, 1991 yılında bir araya gelerek dioksinin denizel canlılar üzerinde zararlı etki yapacak atıkların, okyanusa boşaltılmadan önce güvenli bir şekilde sorunun halledilmesini kabul etmişlerdir. Bu araştırmacılar, dioksin üzerinde yeni çalışmalar yaparken, diğerleri de dioksinin deniz organizmaları üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Newark Koyu'ndaki farklı yerler için ortalama dioksin derişimlerinin 39.4 pptr ile 110.6 pptr arasında değiştiğini göstermişlerdir. Mud Dump bölgesindeki çökeller için ortalama derişimi de 27 pptr'dir. Dioksinin dokularda birikmesi ve çözünmesi hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Sahilde yaşayan hayvanlar ve diğer deniz organizmaları birbirlerinden beslenerek gereksinimlerini karşılarken, beslendikleri canlılardan aldıkları zehirli gereçlerin etkisinin 1000 yıldan daha fazla olabileceği sonucuna varılmıştır. Aynı besin zinciri döngüsünün, okyanusa giren atık sulardan balıkların dokusuna geçmesi mümkündür. Bu etkilerin 1000 yıl kadar sürebileceği tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak tehlikeli atıkların okyanuslara boşaltılması uygun görülmemektedir ve uluslararası çerçevede yasaklanmıştır.

Üzerinde tartışılan bazı konular:

1. Denize yapılan deşarjlarda çalışmalarda, denemeler yoluyla iyi sonuçlara ulaşılabileceği anlaşılmıştır. Mud Dump bölgesinde 1980 yılında yapılan bir çalışma ile 900.000 m^3 'lük bir bölge inceleme altına alınmış, 383.000 m^3'lük bölümünde kirletici özelliğe sahip çökel gereçlerin biriktiği belirlenmiştir. Alanda altı yıl sonra yapılan çalışmada ise 612.000 m^3 'lük bir alan incelenmiş ve kirletici çökelti malzemelerinin 99.000 m^3 'lük bir alanı kapsadığı belirlenmiştir. Yapılan tüm ölçümlerin doğru olduğunu varsayalım, buradaki çelişkiler nasıl açıklanabilir? Yani okyanuslarda boşaltma sorunu yeterince aydınlatılamamıştır.

2. Ekolojik etkiler Çizelge 6'da sunulmuştur. Seçeneklerin her biri değerlendirilip en uygun seçeneğin seçilmesi nedenleriyle birlikte açıklanmalıdır. Yukarıdaki araştırma sonuçlarına göre, belirlenen kirleticilerin ekolojik ortama etkisi sağlıklı olarak değerlendirilmelidir.

Çizelge 6. Ekolojik etkiler ve getirdiği maliyetler (US Army Corps of Engineers, 1989). [a]MCY=Milyon Yard Küp'tür.

Seçenekler	Her yarda küpün tahmini maliyeti	Tahmin edilen kapasite (MCY)[a]
Çamurun okyanusal alana boşaltılarak uzaklaştırılması	5.00$	Geniş yayılım
Araziye boşaltma	5.60-13.20	2.6-8.5
500 dönümlük özel bir sahanın oluşturulması	10.90-36.10	6.6-28.2

3. Çevre kirliliği sorunlarının yaşandığı bölgede, halkın rahatsız olduğu konular, örneğin kirletici maddelerin okyanusa boşaltıldığı halka açıklanmalıdır. Bu konularda ortak bir uyum sağlama konusunda çaba harcanmalıdır.

4. Atıkların yer seçimi ve yönetiminde yapay zekâ ile ilgili çeşitli seçenekler ve yöntemler de gelişme eğilimindedir (Liu ve diğerleri, 2014). Bu konudaki çalışmalar yerel yönetimler tarafından desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

Alpaslan, M. N., 2005. Katı Atıkların Yönetimi. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir.

Benson, R.C., ve La Fountain, L., 1984. Evaluation of subsidence or collapse potential due to subsurface cavities, in B.F. Beck, ed., Proceedings of the First Multidisciplinary Conference on Sinkholes, Rotterdam/Boston, A. Balkema, Publishers, Orlando, Florida, s. 201-215.

Benson, R.C., Turner, M., Turner, P., ve Vogelsan, W., 1988. In-situ time-series measurements for long-term ground-water monitoring, in A.G. Collins, and A.I. Johnson, eds., Ground Water Contamination: Field Methods, American Society for Testing and Materials, ASTM STP-963, Philadelphia, s. 58-72.

Botkin, D.B. ve Keller, E.A., 1995. Enviromental Science, Earth As a Living Planet: Chapter 27, Waste Management, John Willey and Sons Inc., Newyork, s.550-571, 627s.

CFR, 1990, Code of Federal Regulations No-40, Appendix IX: Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, Part 264, s. 302-308.

Colten, C.C., 1991. The Illinois Sanborn Geographic Information System, Proceedings, 34th Annual Meeting, Association of Engineering Geologists, Chicago, s. 287-295.

Cox, C.B., 1985. The Buried Threat, California Senate Office of Research, No. 115-5, USA.

EPA, 1983. Interim Report on Data and Methods for Assessment of 2, 3, 7, 8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin Risk to Aquatic Life and Associated Wildlife, Duluth, Minn.: US Environmental Protection Agency (EPA), Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development.

Fenner, T.J., ve Vendi, M.A., 1992. Ground penetrating radar for hazardous waste site investigations, University of Edinburgh, Proceedings: Polluted and Marginal Lands Conference, UK, s. 107-114.

Hasan, S.E., 1994. Use of soil survey reports in geotecnical projects: Bulletin of the Association of Enginering Geologists, vol. 32, no. 2, s. 367-376.

Hasan, S.E., Moberly, R.L. ve Caoile, J.A., 1988. Geology of Greater Kansas City, Missouri and Kansas, United States of America: Bulletion of the Associaation of Engineering Geologists, vol. 25, no. 3, s. 322-323.

Hatheway, A.W., 1992. Perspectives Number 13, Don't Forget the Sanborn Maps, carefully and artfully-compiled historic plat maps of America's cities, 1867-1992: AEG News, v. 35, no. 4, s. 25-27.

Kiper, A. B. ve Buldağ, T. Ö., 2016, Ulusal Sondaj Veri Tabanı Projesi. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016-ODTÜ, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s. 49-50.

Liu, H-C., You, J-X., Chen, Y-Z., Fan, X-Z., 2014. Site selection in municipal solid waste management with extended Victor Method under fuzzy environment. Environ. Earth Sci., 72: 4179-4189.

Lyon, J.G., 1982. Use of aerial photograpy and remote sensing in the management of hazardous wastes, in T.L. Sweeney, H.G. Bhatt, R.M. Sykes, and O.J. Sproul, eds., Hazardous Waste Management for the 80s: Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science, s. 163-171.

Mc Kinney, M.L., Schoch, R.M. ve Yonnavjak, L., 2007, Environmental Science, Systems and Solutions, Forth Edition, Jones and Bartlett Publishers, Boston, USA, 642 s. Municipal Solid Waste and Hazardous Waste, Section 4 and Chapter 18, s.500- 535.

Moylan, J.E., 1991. Site characterization data needs for effective RD and RA: Proceedings, Conference on Desing and Constuction Issues at Hazardous Waste Sites, TX: US EPA Report No. EPA/540/8-91/012, Dallas, s. 1103-1109.

Özel, S., 2017. Bir Deponi Alanı Sızıntı Sularının Çevresel Etkilerinin Jeofizik ve Su Kimyası Yöntemleriyle İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), s. 113-124.

Schneider, W.J., 1970. Hydraulic Implications of Solid-Waste Disposal, US Geologial Survey Circular 601F, USA.

Simms, J.J., 1975. A study of the bedrock valleys of the Kansas and Missouri Rivers in the vicinity of Kansas City: Unpublished M.S. thesis: Department of Geology, University of Kansas, Lawrence, Kansas, 78 s.

Strum, C. 1993. US Suspends Dredging Permit for Newark Bay, New York Times, s.B1, B4.

---------- 1993, From Port to 17 Fathoms, Views on Dredging Differ, New York Times, s.23-27.

---------- 1993, Limited Dredging Allowed in Newark Bay, New York Times, s.24.

Şimşek, C., Karagüzel, R., Çelenk, A., Şener, Ş. ve Taşkın, N., 2017. Çevre Jeolojisi Çalıştayı, '3. Konu: Atık yönetiminde, deponi alanlarının yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri' çalışma grubu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, s. 87-117.

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 25.01.2017 tarih ve 29959 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Ujhara A.M. ve Gough, M., 1989. Managing Ash from Municipal Waste Incinerators in Resources for the Future, Center for Risk Managament.

US Army Corps of Engineers, 1989. Managing Dredged Material, New York District, New York: Author.

US Environmental Protection Agency, 1987. Second Record of Decision: CCC Superfund site; Washington, D.C., 88 s.

US Environmental Protection Agency, 1991. Land disposal restrictions, summary of requirements; Report No. OSWER 9934.0-1A, Plus Appendices, Washington, D.C., 26 s.

Vesilind, P. A., Morgan, S. M. ve Heine, L. G., 2012, Introduction to Environmental Engineering (Çeviri Editörü, İsmail Toröz; Çevre Mühendisliğine Giriş), Nobel yayınları, Ankara, 606 s.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Yılmaz, A. ve Atmaca, E., 2006, Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: A case study in Sivas, Turkey, Environmental Geology, 50, 677-689.

Bölüm 14. BÜTÜNSEL (BÜTÜNCÜL) ATIK YÖNETİMİ

GENEL BİLGİLER

Atık yönetimi, çok disiplinli bir ilgi alanıdır. Bu bölümde jeolojik açıdan atık yönetimi irdelenecektir.

Önceleri atık yönetiminde **seyreltmek** ve **yaymak** kavramları kullanılırken, artık daha yeni kavramlar olan **içerik** ve **derişim** olarak tanımlanan yeni kavramlar bütünsel atık yönetiminde yol gösterici olmaktadır. Bu bölüm, aşağıdaki konulara açıklık getirecektir.

- Bütünsel atık yönetimini oluşturan temel unsurlar ve atık yönetiminde öngörülen yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönleri,
- Bir deponi alanının uygunluğu açısından bölgenin jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer özellikleri,
- Deponi alanları için çeşitli sınırlamalar ve deponi alanlarının denetimi,
- Bir atık uzaklaştırma alanında tehlikeli atıklardan kaynaklanan kirleticilerin çevreye yayılma biçimleri,
- Atıkların okyanuslara boşaltılmasıyla ilgili sorunlar ve bu sorunların nedenleri,

Düzenli depolama alanlarının yer seçiminde yaşanan sorunlar

Düzenli deponi alanlarının denetimi ve izleme ölçütleri ortaya koyulacaktır.

Love Kanalı olayı

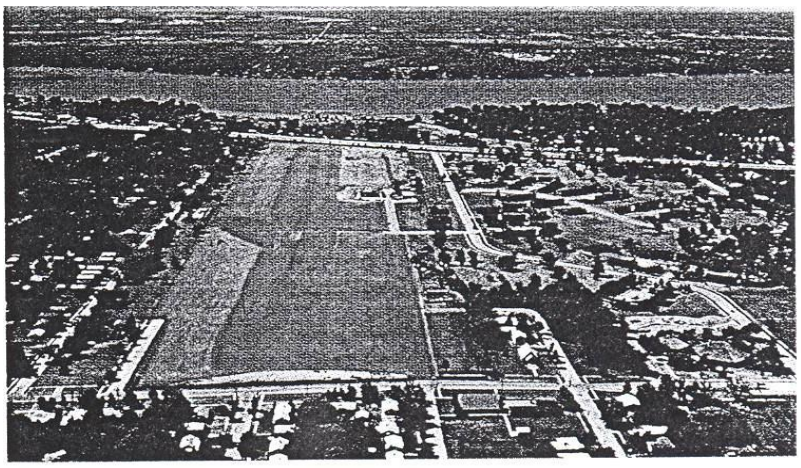
Atık yönetimi konusuna başlamadan önce, yaşanmış olumsuz bir deneyimi ve bu deneyimin çevre üzerindeki etkilerini ele almakta yarar vardır: New York'un, Niagara Şelalesi yakınındaki bir yerleşim bölgesinde, Love Kanalı diye anılan yerde, 1976 yılında ağaçlar ve bahçelerdeki bitkiler solmaya başladı. Çocuklar tenis ayakkabılarının tabanlarını ve bisiklet lastiklerini parçalanmış halde buldular. Bir deponi alanının çevresinde yaşayan köpeklerde iyileşmeyen yaralar oluştu. Zehirli su birikintileri ve zararlı maddeler toprağın içinden yüzeye çıkmaya başladılar. Deponi alanının üzerinde içinde kimyasal maddelerin bulunduğu bir göl oluştu (Botkin ve Keller, 1995).

Yapılan incelemeye göre, yerleşim yerinin, eskiden kimyasal atıkların boşaltıldığı bir bölgenin üzerine kurulduğu anlaşılmıştır. Bu yerleşim yeri ve sanayi merkezleri Love Kanalı'nın bir bölümü üzerinde 1892 yılında inşa edilmişti. Ayrıca kanal, on yıllarca atıklar için uygun bir yer olarak kullanılmıştı. Sonunda, 1953 yılında bölgenin sahibi olan ve atıkları buraya boşaltan şirket, Niagara Şelalesi'ni bulunduğu yer için büyük bir bağışta bulundu. Bunun sonucu birkaç yüz ev ve bir ilköğretim okulu, bölgenin yakınına ve eski çöp alanının üzerine kuruldu. Ancak 1976-1977 yılındaki şiddetli yağmurlar ve kar yağışları sonucunda patlak veren bu olay, Love Kanalı'ın her gün hatırlatılan bir yer haline gelmesine neden oldu.

Bölgede yapılan bir ön çalışmada, benzen, dioksin, dikloroetilen ve kloroform içeren ve kanserojen olmasından kuşku duyulan veya kanserojen olduğu bilinen birtakım maddelerin varlığını ortaya koydu. Her ne kadar yetkililer, bölgedeki bu kimyasalların etkileri hakkında çok az şey bildiklerini kabul etseler de bölgede yaşayan halk için ciddi endişeler vardı. Sonuçta, kan ve karaciğerde görülen bozukluklar, ölü doğumlar ve genlerin değişime uğraması gibi kaygılar giderek arttı. New York'taki sağlık uzmanlarının bir çalışmasında yöredeki kimyasalların sağlık üzerindeki etkileri belirlendi. Love Kanalı'nın bu acıklı öyküsü böyle devam edemezdi.

Love Kanalı'nın temizlenmesine ilişkin bir proje hazırlandı. Proje, tehlikeli atıkların arıtılması için ileri teknolojiye sahip bir arıtımın zorunluluğunu öngörmekte idi. Öngörülen bu projede hedef bölgedeki atığı denetlemeyi, yeraltı su sistemine atıkların girişini önlemeyi ve uzaklaştırmayı, kirlenmiş toprağı ve akarsu yatakları ile kanalizasyon sisteminde çökelmiş maddeleri uzaklaştırmayı kapsamaktaydı. Suyun daha ileri düzeyde kirlenmesini önlemek için yüzey sularının sızmasını azaltmak gerekmektedir. Bu amaçla, yoğun kil ve polietilen örtünün 1 m (3,3 ft) kalınlığında ve bir tabaka halinde deponi alanının zeminine ve üzerine serilmesi gerekmektedir. Özel olarak tasarlanmış perdeler yardımıyla yakın bölgelerden suyun sahaya sızmasının engellenmesi öngörülmüştür. Bu yöntemler, çoğunlukla suyun bölgeden sızmasını azaltmakta ve sızan suyun ise toplanarak arıtılmasını sağlamaktadır.

1990'a kadar, Love Kanalı'nın temizlenmesi ve yerleşim yerinin değiştirilmesi projeleri için 275 milyon $ harcandı. Kanalın yakınındaki bir bölgede yer alan evler, devlet tarafından boşaltılıp istimlak edildi. Yaklaşık olarak 200 ev ve bir okul yıktırıldı. 1990 yılında ABD'nin Çevre Koruma Kurulu (EPA), bölgenin temizleneceğini açıklayıp kalan evlerin satış bedelinin yaklaşık olarak % 20 daha düşük bir fiyatla satılması için bölgedeki emlakçıları harekete geçirdi. Daha sonra kasabanın yerleşim yeri değiştirilerek yeniden inşa edildi (Şekil 1). Bölge son 15 yılda eskisine göre daha cazip hale getirildi. Ama büyük bedeller ödenerek…



Şekil 1. Love Kanalı'nın, yeniden planlanmasından 10 yıl sonra, 1988 Temmuz'unda havadan çekilmiş bir görüntüsü (Botkin, ve Keller, 1995).

Love Kanalı'nın bir hayalet kasaba haline gelmesinde yanlış giden şey neydi? İleride böyle felaketlerin ortaya çıkması nasıl önlenebilir? Belki de Love Kanal için asıl kötü olan tek örnek olmamasıdır. Ülkenin her tarafında, birçok gizli Love Kanal'lar ve her an patlaması beklenen bombalar bulunmaktadır.

Love Kanal öyküsü, atık yönetiminde, gelecek kuşaklara olabildiğince temiz bir çevre bırakmayı sağlayacak planlamanın önemli olduğunu açıklar. Planlamada da yer seçimi belirleyicidir. Yer seçiminde de jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerin katkısı önemlidir. Ayrıca ekonomik, sosyal ve politik katkıların önemi göz ardı edilemez.

ATIKLARIN UZAKLAŞTIRILMASINDA İLK KAVRAMLAR

Sanayi Devrimi'nin ilk yüzyılında, atık oluşumu göreli olarak azdı. Bu dönemde ***seyreltme*** ve ***yayma*** yöntemleri geçerliydi. Fabrikalar, malzemelerin botlarla kolayca taşınması, soğutma suyunun sağlanması ve atıkların akarsularda kolayca uzaklaştırılabilmesi gibi olanaklar nedeni ile akarsuların yakınlarına kuruluyordu. Birkaç fabrika ve yoğun olmayan yerleşim yerlerinden kaynaklanan kirlilik, hafifletme ve yayma süreçleriyle çevreden uzaklaştırılması yeterli gibi görünüyordu.

Ne yazık ki endüstriyel ve kentsel bölgeler genişledikçe, hafifletme ve yayma kavramları yetersiz kaldı ve bunların yerine ***içerik*** ve ***derişim*** olarak bilinen yeni kavramlar daha sık kullanılır oldu. Bununla birlikte, kirlenmenin gerçekleştiği fakat bunun sürekli olmadığı görülmüş oldu. Doğal ya da yapay olsun tüm konteynırlar kırılmaları ya da sızıntı yapmaları nedeniyle kirliliğin yayılmasına yol açarlar. Atıkların uzaklaştırılmasına ilişkin tehlikeler, halkın hükümete ve sanayiye güveninin azaldığı ve halk sağlığının korunmadığı günümüzdeki duruma yol açmaktadır.

Eğer toplumda sürekli bir faaliyet söz konusu ise atık oluşumu ve atık uzaklaştırma alanlarının gerekliliği de kaçınılmaz olacaktır. Bununla birlikte, hiç kimse bir atık uzaklaştırma alanı yakınında yaşamayı istemez. Kentsel atıklar için sağlıklı bir deponi alanı, kentsel atıkları yakan bir yakma tesisi ya da tehlikeli atıklar için bir tehlikeli atık uzaklaştırma tesisi gereklidir.

Olasılıkla Dünya'nın en büyük atık uzaklaştırma alanı, New York, Staten Island'da 1500 ha büyüklüğünde bir alan üzerinde bulunmaktadır. Fresh Kills olarak bilinen bu deponi alanı (Şekil 2), yaklaşık olarak New York'ta toplanan kentsel ve ticari olmak üzere günlük 15000 ton atığı kabul eder.

Şekil 2. Olasılıkla, Dünya'daki deponi alanlarının en büyüğü olan Fresh Kill deponi alanı, günlük olarak New York kentinin kentsel ve endüstriyel atıklarının yaklaşık 15000 tonunu alır. Ancak bu miktar, şehrin toplam atığının yaklaşık olarak yalnızca yarısıdır (Botkin, ve Keller, 1995).

Ne var ki, bu deponi alanına günlük 20000 tonun üzerinde atığın boşaltıldığı tahmin edilmektedir. Bu sahada deniz seviyesinden önce onlarca metre yüksekliğinde ve daha sonra çöp yığını deniz seviyesinden 150- 200 m yüksekliğinde bir tepe oluşturacak biçimde birikmiştir. Bu çöp yığını, dikey durumda Özgürlük Heykeli'nin üzerini tamamen örtecek düzeydedir. Ancak, öykü burada sona ermiyor. Çünkü New York kenti diğer birçok kente benziyor ve bu şehirlerde atıkların uzaklaştırılacağı yerler giderek daralmaktadır. Önümüzdeki 10 yıl içinde Fresh Kills kadar büyük olan deponi alanları tamamen dolmuş olacaktır (Botkin ve Keller, 1995).

New York'ta atıklardan kurtulma sorunu biricik sorun değildir. Dünya'nın birçok bölgesinde olduğu gibi ABD'de insanlar ciddi olarak katı atıkların uzaklaştırılması sorunu ile karşı karşıyadır. Sorun çok fazla atık üretmemizden ve bu atıklardan sürekli olarak kurtulmak için çok az uygun alan bulunmasından kaynaklanmaktadır. Önümüzdeki birkaç yıl içerisinde, ABD'deki şehirlerin yarısında deponi alanlarının yetersiz kalacağı tahmin edilmektedir.

Diğer çok önemli sınırlayıcı bir etken ise uzaklaştırmanın maliyetidir. 10 yıl önce 1 ton kentsel atıktan kurtulmanın maliyeti yaklaşık olarak 5 ila 10 $'dan fazla değildi. Günümüzde maliyet 20 ila 50 $'dan daha fazladır. Philadelphia gibi birkaç şehirde 1 ton atığı uzaklaştırmak için 75 $ kadar bir bedel ödenir. Bu bedel, toplam atık yönetiminin yalnızca küçük bir bölümünü oluşturur. Sıvı ya da katı atıkları uzaklaştırmanın veya arıtmanın maliyeti yıllık 20 milyar $'dır. Bu da en yüksek çevresel giderlerimizden biridir.

ÇAĞDAŞ YÖNELİMLER: BÜTÜNSEL ATIK YÖNETİMİ

Birçok insana göre atıkları uzaklaştırmak için sınırsız miktarda atığı kabul edecek düzeyde ve insanın çevresinin dışında yer alan bir sistemin en uygun teknoloji olması gerekmektedir. Buna karşın, birçok atık uzaklaştırma projelerinin tasarlanması yakın gelecekte gerçekleşecek gibi gözükmektedir. Diğer taraftan birçok çevreciye göre bu durum hiç olası görünmemektedir. Çevrecilerin hayali, atık diye bir kavramın olmadığı bir dönemin gelmesidir. Buna göre, ilk önce atık üretilmeyecek ya da üretiliyorsa tekrar kullanılacak bir kaynak olacaktır.

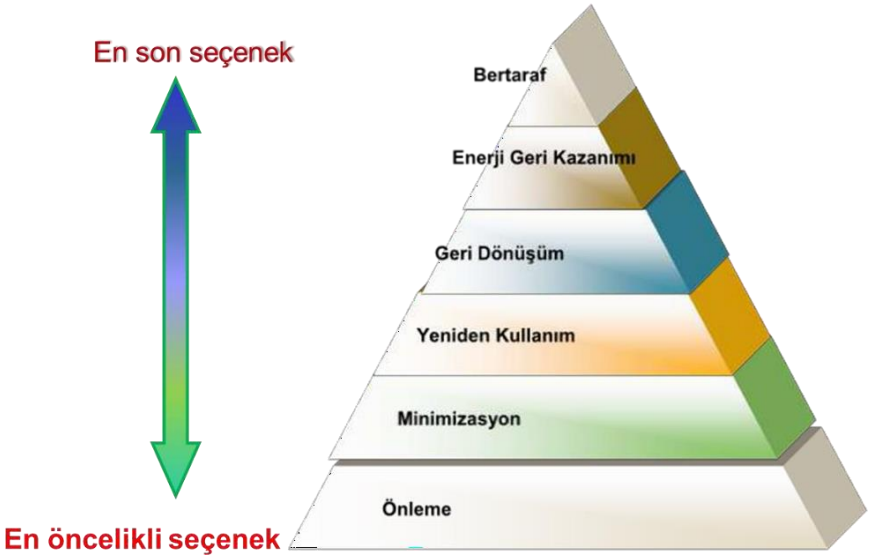
Sanayileşme ve kentleşmeden başka toplumların üretim atıklarının tüm çeşitlerinin giderek artması atık yönetimi sorunlarını daha karmaşık hale getirmiştir. Kentsel, endüstriyel ve zirai kaynaklardan ortaya çıkan çok büyük miktardaki sıvı ve katı atıklar toplanmakta, geri kazanılmakta, arıtılmakta ya da uzaklaştırılmaktadır.

İlerici ve çevreci güvenilir bir yaklaşım, bölgenin dışında atıkların mali bir kaynak olabileceğini göz önünde bulundurmaktadır. Tüm atıkları, yeniden kazanma veya dönüştürmedeki güçlüklerin yanı sıra doğal kaynakların, enerjinin, taşımacılığın ve arazinin giderek artan maliyeti açıkça görülmektedir. Sonuçta mümkün olduğunca daha çok kaynak yeniden kazanılacak veya dönüştürülecektir. Bu hedefe doğru gidiş, aslında sadece kaynakların var olduğu, atık gibi nesnelerin olmadığı, hayali bir görünümdeki gidişe benzer.

Atıkları sadece bir yerden başka bir yere taşımaktan ibaret olan, aslında bir atık yönetimi olmayan, atık yönetim programlarının çoğunun özel bir önemi olduğunun giderek daha çok farkına varılmaktadır. Örneğin, kentsel bölgelerden kaynaklanan atıklar, deponi alanlarına kabul edilebilmektedir. Ancak, bu atıklardan metan gazı ve tehlikeli sıvılardan oluşur ve çevreye yayılırsa, bu durum yeni sorunlara yol açar. Bununla birlikte uygun bir yönetimle deponi alanlarında üretilen metan gazı petrol gibi yakılabilmektedir.

Atıkların oluşumundan uzaklaştırılmasına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetilmesine de atık yönetimi denir. ***2008/98/AT sayılı Atık Çerçeve Direktifi***'nde verilen atık yönetim piramidinde düzenli depolama sahalarında güvenli şekilde bertaraf edilmesi atık yönetimi hiyerarşisinde en son seçeneği oluşturmaktadır (Şekil 3).

Atık Yönetim Piramidi: Atık Yönetim Piramidi'nde, üst basamaktan alt basamaklara doğru değerlendirme öngörülür. Yani ilk aşama atığın oluşmasının önlenmesi, eğer bu sağlanamıyorsa atığın minimizasyonu, diğer bir deyişle atığın en aza indirilmesi amaçlanır. Daha sonra atığın Yeniden kullanımı, eğer bu da mümkün olmuyorsa önce geri dönüşüm ve daha sonra enerji geri kazanımı amaçlanır. Bu uygulanan yöntemlerden sonra elimizde kalan atığa ya da bu yöntemleri uygulayamadığımız atığa yapılacak en son işlem, düzenli depolama ya da yakmadır.



Şekil 3. Atık yönetim piramidi (Şimsek ve diğerleri, 2014).

Artan nüfus, enerji tasarrufu, ekonomik gerekçeler ve azalan arazi bulma sorunları nedeniyle, geleneksel atık hiyerarşisi yerine, 2020'li yıllarda büyük oranda geri kazanım ve önleme tedbirlerinin öngörüldüğü bir hiyerarşi hedeflenmektedir (Şekil 4).

Şekil 4. Günümüz ve hedeflenen atık stratejisi (Şimsek ve diğerleri, 2014).

Atık uzaklaştırma alanları önemli çevre kirliliği sorunlarına da yol açar. Merkezi ve yerel yönetim yardımı alan kentsel atık su arıtma tesislerinin bazılarında kanserojen olan hava kirleticileri ortaya çıkmaktadır. Halkın, atık yönetiminden uzun bir sürede endişe duyacağı açıktır. Atık yönetiminde, halk sağlığını tehlikeye atmayacak, başka bir soruna ya da çevre için adeta saatli bir bombaya yol açmayacak yeni modeller geliştirilebilecektir.

Halkın zarar gördüğü çevresel sorunlarla birlikte, bu sorunların çözüm yöntemlerindeki artış, atıkların uzaklaştırılmasında yeni atık yönetim planlarının gelişmesi ile sonuçlanmıştır. Günümüzde ortaya konulan kavram ***Bütünsel (ya da Bütüncül) Atık Yönetimi*** (BAY) olarak bilinmektedir.

BAY, atıkların tanımlanması ve türleri, toplanması ve taşınması, sınıflandırılması, yer seçimi ve düzenli depolama başta olmak üzere, atıkları kaynağında azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım, kompostlaştırma ve yakma gibi yöntemleri de içeren birbiri ile entegre bir dizi süreci tanımlamaktadır.

Ancak hiçbir atığın ortaya çıkmadığı kapalı döngü modeli hedeflenmelidir. Doğada gelişen temel döngülerden yararlanarak BAY' ı geliştirmeliyiz. Günümüzdeki sorun üretim teknikleri ile ilgilidir. Bu teknikler, kapalı döngü sistemlerinde değerlendirme olanağı olan gereçleri ayırmayı ve tekrar kullanmayı güçleştirmektedir.

Atıkların tanımlanması ve türleri

Atık insanın bir tür icadıdır. Yani insan kararı ile bir nesne atık olmaktadır. Sahibi olduğumuz nesnenin varlığına son verme gereksinimi doğmuşsa, bu nesneye genel olarak çöp diyoruz. Hurda sözcüğünü madeni nesneler ve arabalar için kullanırız. Sonuç olarak atık, çöpün yeni adıdır. Bu tanıma göre atık yararsız ve kurtulmak istediğimiz bir nesne konumundadır. Bir nesne kişiye, yaşadığımız çağa, kültüre ve kullanılan süreye bağlı olarak atık konumuna gelmektedir. Dolayısıyla atık göreceli bir kavramdır. Kimi araştırmacılar için çöp sahası da büyük bir servettir. Çünkü çöpe atılan birçok nesne de bazen değerlendirilebilir. Geri kazanım ya da yeniden değerlendirme yolu ile çöpe atılan gereçlerin bir bölümü yeniden hammadde olarak bir değere sahip olabilir.

Yani, atık bir ürünü, günümüz dünyasında yeniden tanımlamak durumundayız. ***Atık,*** üretilmiş bir gerecin tüketilmesi, yıpranması, eskimesi ya da kullanımdan düşmesi sonucu değerini kaybetmiş, insan ve çevre sağlığına zarar vermeden kimi diğer kullanımlar için hammadde/girdi (ikincil hammadde) oluşturmak amacıyla farklı ve yeniden değer kazanan gereçlerin genel adıdır. Atık ürünün değeri ilk değerine eşit olamaz.

Atık türleri, atık ürünlerin değişik açılardan sınıflandırılmasına dayanır. Örneğin, evsel/sanayi atıkları, ambalaj atıkları, tehlikeli/tehlikesiz atıklar; geri kazanılan/kazanılamayan atıklar (Kâğıt/radyoaktif atıklar); katı/sıvı/gaz atıklar; organik/organik olmayan atıklar; geri kazanılabilir atıklar/nihai atıklar. Nihai atıklar, günümüz koşullarında işlenemeyen-geri kazanılamayan atık türü olup çöplüklerde bertaraf edilen atıklardır. Ayrıca kentsel katı atıklar, evlerden ve ticari kuruluşlardan kaynaklanır. Evsel atık, çöp kutusuna atılan tüm gereçlerdir. Yani kişisel açıdan bakıldığında atık türleri için pek çok terim üretilebilir.

Atık yönetimine dair çalışmalarda atıklar beş temel gruba ayrılmaktadır. Bunlar da sıra ile 1- Evsel atıklar, 2- Ambalaj atıkları, 3- Tehlikeli atıklar, 4- Tıbbi atıklar, 5- Özel atıklar (radyoaktif atıklar gibi…) biçiminde sıralanabilir. Evsel atıklar, idari ve teknik birimlerin büro, oturma odaları, atölyeler, mutfak ve bahçe gibi bölümlerinden kaynaklanan kirlenmemiş atıklardır. Her türlü yiyecek, çimen yaprak ve bitki döküntüleri bu sınıfta yer alır. Ambalaj atıkları ise ürünlerin tüketiciye sunumu için kullanılan ve ürünün kullanılmasından sonra ortaya çıkan kullanım ömrü dolmuş tüm atıkları içermektedir.

Katı atıkların toplanması ve taşınması

Katı atıklar belediyeler tarafından toplanmaktadır. Atıkların toplanması genellikle toplama araçlarıyla ve belediye personeli tarafından yapılmaktadır. En azından aracın bir sürücüsü ve bir yüklenici gerekmektedir. Bu çalışanlar, atığı çöp kutularından alır, atık toplama aracına boşaltır ve geçici ya da nihai depolama alanına götürüp boşaltırlar. Tüm işlemlerin verimli ve güvenli bir şekilde yapılması gerekir. Özellikle, çevrenin ve katı atık toplama personelinin güvenliği son derece önemlidir.

Katı atıkların taşınmasının iyi bir şekilde planlanması gerekir. Örneğin uygun bir güzergâh seçimi bile taşıcıya önemli oranda bir kazanç sağlar. Bunun için gerekli olan, aracın güzergâh boyunca her caddeden bir kez geçişini sağlayacak şekilde bir planlamanın yapılmasıdır. Atıkları toplama aracının donanımı eksiksiz olmalıdır. Günümüzde toplama araçları, konteynerleri araca boşaltmak için hidrolik bir kaldıraç ya da mekanik bir kol ile donatılmıştır. Sonuç olarak BAY, atıkların tanımlanıp, toplanmasından taşınmasına değin tüm evrelerde etkin bir biçimde gerçekleştirilmelidir.

Atıkların sınıflandırılması

ABD'nin yasal çevre örgütü EPA (2015) tarafından atıkların listesi yayınlanmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre, atıklar 20 sınıfa ayrılmış, her sınıf alt sınıflara ayrılmış, alt sınıflar da atık türleri özelinde tanımlanmıştır. Atıkların ana sınıfları aşağıda görülmektedir:

01. Arama, madencilik, taş ocakçılığı, minerallerin fiziksel ve kimyasal arıtılmasından kaynaklanan atıklar,
02. Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda ürünlerinin hazırlık ve işlemesinden kaynaklanan atıklar,
03. Ağaç işlenmesinden elde edilen atıklar ve panel ve mobilya üretimi, kâğıt hamuru, kâğıt ve karton atıkları,
04. Deri, kürk ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar,
05. Petrol üretimi, doğal gaz arıtımı ve pirolitik işlemlerin yanı sıra kömürden kaynaklanan atıklar,
06. İnorganik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
07. Organik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
08. Kaplamaların üretimi, düzenlenmesi, temini ve kullanımı (MFSU) atıkları (boyalar, vernikler ve camsı emayeler), yapıştırıcılar, sızdırmazlık malzemeleri ve baskı mürekkepleri,
09 Fotoğraf sanayi atıkları,
10. Termal kaynaklardan ve süreçlerden ortaya çıkan atıklar,
11. Metallerin ve diğer gereçlerin yanı sıra metalürjiden kaynaklanan atıklar,
12. Metallerin ve plastiklerin kullanımından ileri gelen atıklar,
13. Petrol ve sıvı yakıtların atıkları (yenilenebilir yakıtlar hariç; 05 ve 12 dışında),
14. Organik çözücü atıklar, soğutucu akışkanlar ve iticiler (07 ve 08 dışında),
15. Atık ambalajı; aksisi belirtilmedikçe emiciler, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler
16. Listede aksisi belirtilmeyen atıklar,
17 İnşaat ve yıkım atıkları (kirlenmiş alanlardan kazılan topraklar dâhil),
18 İnsan veya hayvan sağlığı hizmetlerinden ya da ilgili araştırmalardan elde edilen atıklar (mutfak ve acil sağlık hizmetlerinden kaynaklanmayan restoran atıkları),
19 Atık yönetim tesislerinden, saha dışı atık su arıtma tesislerinden ve endüstriyel kullanım için insan tüketimi ve su için amaçlanan suyun hazırlanmasından kaynaklanan atıklar,
20 Belediye atıkları (evsel atık ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal) atıklar) ayrı toplanan fraksiyonlar dahil.

Atıkları doğru olarak sınıflandırılması, toplama, taşıma ve depolama için bir temel oluşturur. Ayrıca, böyle bir çaba, atıkların işlenmesi ve çevre için koruma sağlayan bir şekilde bertarafı için gerekli olup, insan sağlığı ve yasal gerekliliklere uygundur. Bu atık sınıflandırma sistemi Avrupa Birliği (AB) genelinde geçerli olup, tüm ulusal ve uluslararası atık raporlama yükümlülüklerini içerir. Yani EPA'nın (2015) yönetmeliği atıkların nasıl takip edileceğine dair bir rehberlik sağlamaktadır. Ayrıca, bu belge, 2002 Avrupa Atık Kataloğu ve Tehlikeli Atık Listesinin ve Tehlikeli Atık Sınıflandırma

çerçevelerinin yerini almaktadır. Bu çerçevede, öncelikle tehlikeli olmayan, tehlikeli (yıldız işareti ile işaretlenmiş) ve tehlikeli ya da tehlikesiz atıkların ayırt edilmesi gerekmektedir.

Yönetmelik, Avrupa ülkelerinde daha kapsamlı değişikliklerin öngörülmesi halinde, güncellenecektir. Genel sistemin akış şeması ve tehlikeli olup olmadıklarına dair gerekli adımlar tanımlanmıştır. Gerekli adımlara dair akış şeması da özetlenmiştir (EPA, 2015).

Yer seçimi

Deponi alanları yer seçiminde gözetilmesi gereken faktörler tanımlanmıştır (Şimşek ve diğerleri, 2017). Bu çerçevede, katı atık yönetimi bazı temel aşamalardan oluşmaktadır: (I) Atık envanterine dair çalışmanın yapılması, (II) Alternatif depolama yerlerinin seçimi, (III) En uygun yer seçiminin belirlenmesi, (IV) Depolama yeri ayrıntılı jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi, (V) Depolama tekniği ve projelendirilmesinin yapılması, (VI) Uygulama sırasında denetim ve danışmanlık, (VII) İşletme sırasında denetim ve danışmanlık. Bu temel aşamalarda izlenecek ayrıntılar ise aşağıda sunulmuştur:

I. Atık envanteri
   a) Atıkların geri kazanımının teşvik edilmesi
   b) Depolanacak atıkların özelliklerinin belirlenmesi (evsel, endüstriyel)
   c) Atık miktarının belirlenmesi
   d) Bertaraf yöntemleri (yakma, düzenli depolama vb.)

II. Alternatif depolama yerlerinin seçimi
   a) Jeoloji
   b) Hidrojeoloji
   c) Koruma alanları
   d) Yerleşim alanlarına uzaklık
   e) Morfoloji
   f) Taşkın, heyelan ve çığ alanları

   Sonuç: Uygun bölgelerde alternatif alanların belirlenmesi

III. En uygun yer seçiminin belirlenmesi
   a) Kayatürü özellikleri
   b) Tektonik özellikler
   c) Hidrojeolojik özellikler
   d) Jeoteknik özellikler
   e) Tesis suyu
   f) Ulaşım
   g) Toprak sınıfı ve sahanın mevcut kullanımı
   h) Görünüm ve toplumsal kabul

   Sonuç: En uygun depolama yerinin seçilmesi

IV. Depolama yeri ayrıntılı jeoteknik özellikleri

   Arazi çalışmaları

      Mühendislik jeolojisi harita ve kesitleri (1:500-1:000)
      a) Sondaj
      b) Jeofizik
      c) Geçirimlilik (Permeabilite) deneyleri
      d) Taşıma gücü hesabı

   Laboratuvar Çalışmaları
      a) Tane boyu dağılımı
      b) Geçirimlilik deneyleri
      c) Sıkışma (Kompaksiyon) deneyleri

   Denetim Sistemlerinin Yerleştirilmesi
      a) Yeraltı suyu akım yönü yönünde gözlem kuyuları
      b) Suların kimyasal analizleri

c) Su bilançosu

Sonuç:

a) Doğal geçirimsizlik yeterli
b) Yapay geçirimsizlik elementleri gerekli

V. Depolama tekniği ve projelendirilmesi

a) Depolama tekniği (yeraltı, yerüstü)
b) Deponi suyu (sızıntı suyu)
c) Deponi gazı
d) Kontrol sistemi

VI. Uygulama sırasında denetim ve danışmanlık

VII. İşletme sırasında denetim ve danışmanlık

Yukarıda da görüldüğü gibi alternatif alanların depolama tesisi inşasına uygunluğunu belirlemek için gözetilmesi gereken pek çok faktörler vardır (Karagüzel vd, 2003; Karagüzel ve Mutlutürk, 2005; Sener ve diğerleri, 2006; Sener ve diğerleri, 2009). Bu faktörlerin bazılarının tekrar vurgulanmasında yarar vardır:

-Arazi kotu, en yakın yerleşim yerine uzaklık, kent merkezine uzaklık, kullanılacak yolun kamyon taşımacılığına uygunluğu,

-Şehir imar planı ile ilişkisi, sahanın çevreden görünümü, trafik durumu, sahanın mevcut kullanım şekli ve sahibi, toprak sınıfı depolama kapasitesi,

-Taşkın tehlikesi, heyelan riski, çığ riski, işletme ve kamyon temizliği için gereken su gereksinimi, yüzey sularının (kaynak, dere) kirlenme riski,

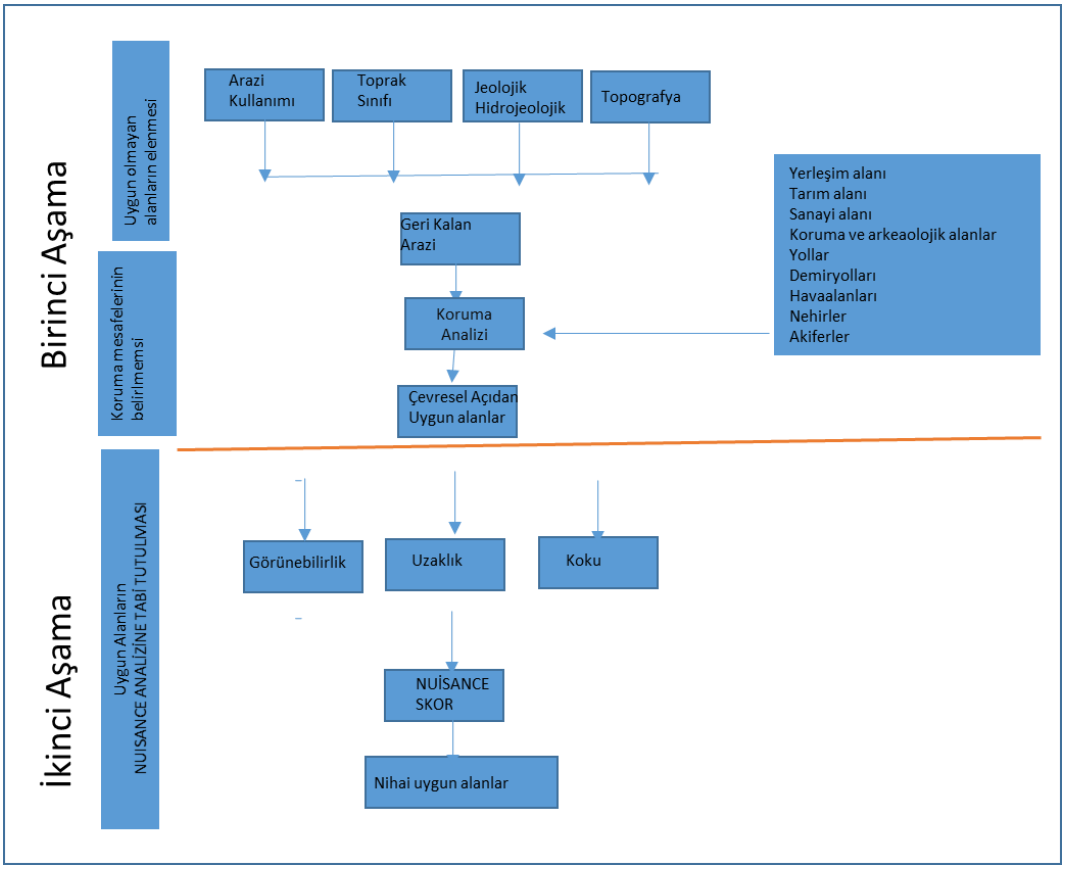
-Jeolojik yapı, hidrojeolojik durum, yüzey ve yeraltı suyu hareket yönü, sahanın çevre koruma alanları ile ilgisi,

-Temel kaya/zemin doğal geçirimsizliğin yeterliliği, doğal geçirimsizliğin yetersiz olması durumunda, geçirimsiz kil malzemenin nereden temin edileceği, kilin rezervi ve uzaklığı,

-Sızıntı suyu drenajı, arazi eğimi, sızıntı suyu bertarafı, arıtma yöntemi, gaz drenajı ve bertaraf yöntemi, deponi örtü malzemesi temini (kil, bitkisel toprak), denetim sistemleri, toprak, hava kirliliği gözlemleri.

Yukarıda sunulan faktörler doğrultusunda yer seçimi yapılan aday sahalara NIMBY sendromu denilen ***'halk tepki analizi'***nin de yapılması gerekmektedir. Bu konuda Şimsek ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada, yukarıda belirtilen ölçütlere göre seçilen aday sahalar NIMBY sendromu analizine tabi tutulmuştur. Burada, insan tepkisini çeken ve çevreye atık sahasından koku, görünebilirlik ve uzaklık ölçütleri kullanılarak insan tepkisinin az olacağı nihai yer seçimi süreci uygulanmıştır.

Şekil 5'de yer seçimi süreci akım şeması görülmektedir. Ülkemiz genelinde yer seçim ölçütlerine göre aday sahaların insan tepkisi nedeni ile uygulamaya geçilememesi durumunu ortadan kaldırmak için, aday sahalara insan tepki analizinin de uygulanmasıyla zaman kazanmak ve uygulama süresinin kısalması mümkündür.



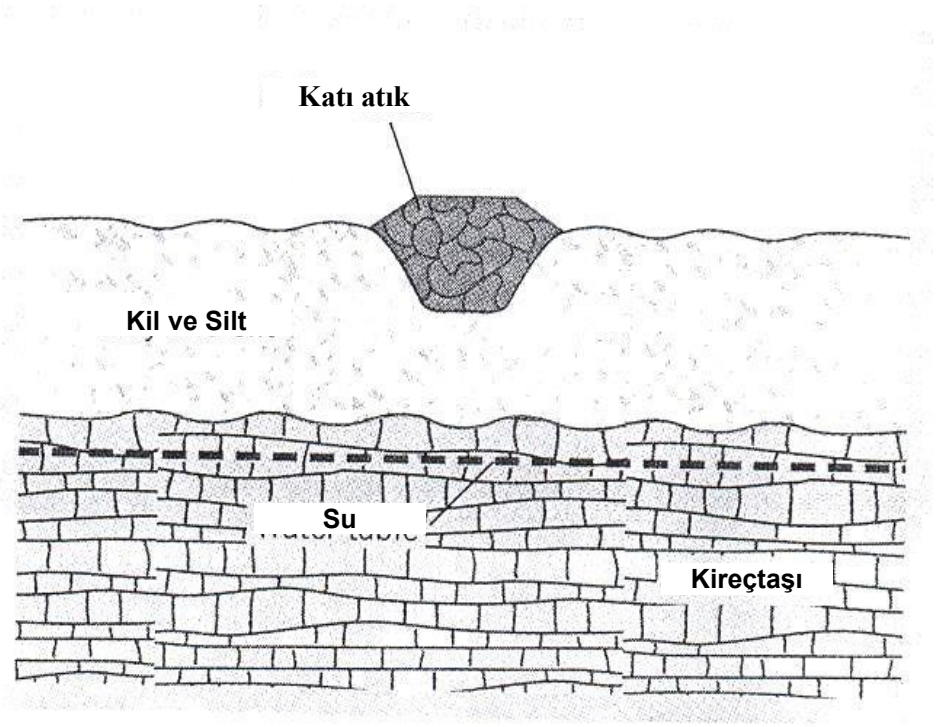
Şekil 5. Yer seçimi süreci akım şeması (Şimsek ve diğerleri, 2014).

Yer seçimi ölçütleri, bir deponi alanının yerinin belirlenmesinde çok önemlidir. Deponi alanının yerinin belirlenmesinde en önemli unsurlar, jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer fiziksel unsurlardır. Bu unsurlar değerlendirilirken özellikle topoğrafik yapı, kayatürü, stratigrafik ve tektonik özellikler, yeraltı suyu düzeyi, yüzey ve yeraltı suyu akış sisteminin konumu, yağış miktarı ile jeoteknik değişkenlerin gözetilmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi, atıkların ve atıklardan kaynaklanan sızıntı suyunun denetimiyle ilgili çalışmalara da katkı sağlar.

En iyi deponi alanları, az miktarda sızıntı suyunun oluştuğu, uzaklaştırma koşullarını kısmen güvenli olduğu kuru bölgelerdir. Nemli bir ortamda her zaman biraz sızıntı suyu oluşur. Bu nedenle uygun bir sızıntı suyu oluşumu için uygun bölgelere deponi alanları kurulur. Yerel su kullanımı, yerel koşullar ile birlikte kabul edilebilir değişikliklerin ne olduğu ve doğal hidrolojik sistemlerin sızıntı sularını zararsız hale getiren bileşenlere ayırır.

Nemli bir iklimde en uygun bölgenin bazı öğeleri Şekil 6'da sunulmuştur. Geçirimsiz olan killi ve siltli topraklar, yeraltı suyu düzeyinin üst kısmında örtü olarak kullanılır. Deponi alanındaki sızıntılar, kil ile sızıntı suyu arasındaki doğal süzülme (filtrasyon) ve kimyasal reaksiyonlar yoluyla azaltılır. Bu da genellikle nemli bölgelerde yüksek su düzeyi koşulları için geçirimsiz gereçlerle sağlanır.

Özetle, düzenli deponi alanlarının yer seçiminde aşağıdaki temel unsurların da dikkate alınmasında yarar vardır:



Şekil 6. Nemli bir bölgede en çok tercih edilen deponi alanının konumu. Atıkların su tablasının üzerinde göreceli olarak geçirimsiz olan bir örtünün üzerine yer alması öngörülür (Schneider, 1970).

- Kireçtaşları ya da son derece kırıklı ve eklemli kayaların yer aldığı taş ocakları, kumtaşı ve çakıltaşının yaygın olduğu maden ocakları, deponi alanları için uygun değildir. Çünkü bu kayatürleri suyun iyi süzülebildiği akiferlerdir.
- Bataklık bölgeler de suyun akaçlaması iyi yapılmazsa, deponi alanları için uygun yerler haline getirilemez.
- Kuru kalması sağlanabilirse kil ocakları uygun alanlardır.
- Düz ve yüksek arazilerde, deponi alanının altına yada herhangi bir akiferin üzerine serilen kil gibi geçirimsiz bir örtü malzemesi ile uygun deponi alanları haline getirilebilir.
- Yüzey sularıyla belirli aralıklarla taşkına uğrayan taşkın ovaları atıkları uzaklaştırmak için uygun alanlar değildir.
- Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu ve geçirimli bir zemin, deponi alanı için uygun bir yer değildir.
- Engebeli topoğrafyada en uygun alanlar, yüzey sularının en az olduğu çukurların üst kesimleridir.

Bir deponi alanı seçildikten sonra, olası sorunları gözeterek, örneğin üzeri örtülmüş çöpten sızıntı suyunun hareketini öngörerek ve örneklemek amacıyla acil bir eylem planı hazırlanmalıdır.

Düzenli depolama

Düzenli depolama, katı atıkların nihai bertarafında en önemli seçenektir. Dolayısıyla bu seçeneğin geliştirilmesi zorunludur. Düzenli depolama genel olarak katı atıkları karada bir araziye boşaltarak ya da okyanusa dökerek yapılmaktadır. Her iki durumda da yer seçimi belirleyicidir. Dolayısıyla bir düzenli deponi alanının, ekolojik çevre ile birlikte halk sağlığı ve güvenliği açısından bir soruna veya tehlikeye yol açamayacak biçimde atıkları uzaklaştırmak üzere yer seçimi, tasarım ve planlama yapılmalıdır.

Planlama, atıkları uygulanabilir en küçük bölgede tutmayı, uygulanabilir en küçük hacme indirgemeyi ve karada ise işletmenin her günü sonunda ya da gerekirse daha sık olarak sıkıştırılmış toprak örtü ile üzerine örtmeyi gerektirmektedir. Sıkıştırılmış örtü, böceklerin, kemiricilerin ve martı gibi hayvanların atıklara yaklaşmasını önler. Yüzey suların kirlenmesini ve gaz sızıntılarını önlemek amacıyla çöpün üzeri örtülmelidir.

Düzenli depolama sahaları, ÇED yönetmeliği çerçevesinde yer seçimi ile tasarımı yapılan ve işletilen mühendislik yapılarıdır. Yeraltı suyunun kirlenmesini önlemek için tabanında geçirimsiz katmanların olduğu bir yer seçilmelidir. Bu tür yerleri bulmak kimi zaman güçtür. Dolayısıyla çoğu zaman seçilen yerin ÇED koşullarını karşılayacak şekilde tasarımı yapma gereksinimi vardır. Atığı tasarımı yapılmış olan lotlara (hücrelere) dökmek ve günlük olarak ağır iş makinaları ile sıkıştırıp üstünü örtü toprağı ile örtmek gerekir.

Deponi sahalarına döküm için alınan ücretler çöpün ağırlığına ya da kimi durumlarda hacmine göre belirlenir. Yeraltına gömülen organik gereçler önce aerobik, daha sonra da anaerobik olarak ayrışırlar. Anaerobik ayrışma sırasında metan, CO_2 gibi gazlar ve sızıntı suları ortaya çıkar. Bu gazların da sera etkisi oluşturan gazlar olduğu unutulmamalıdır.

Düzenli deponi alanlarının tasarımı

Düzenli deponi alanı, sadece zemin geçirimsizlik sisteminin yapılmasından ibaret değil, ek üniteler ile desteklenmesi gereken bir yapıdır. Ayrıca deponi alanı, değişen teknoloji ile uyumlu olmalıdır. O halde düzenli depolama alanında verimli bir işletme yapılabilmesi için öngörülen bazı üniteler (Çizelge 1 ve Şekil 7) yapım aşamasında kurulmalı, işletme ve sonraki aşamalarda da düzenli denetlenmelidir (TBB, 2014).

Çizelge 1. Düzenli depolama alanında olması gereken birimler ve üniteler (TBB, 2014).

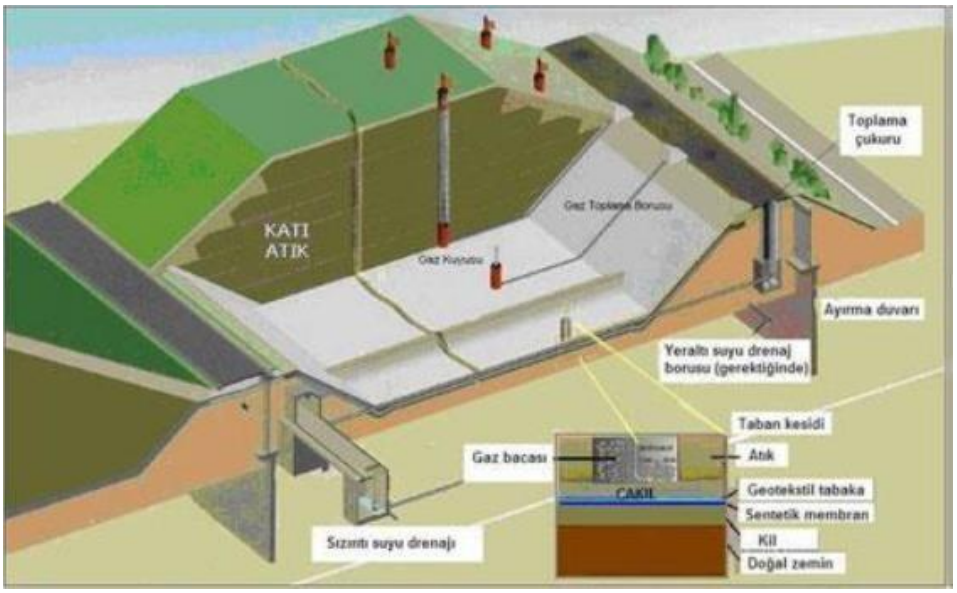
1. Sahaya giriş çıkışların kontrol edildiği bekçi kontrol noktası 2. Sahaya gelen tüm atıkların tartılması amacıyla kantar ve personeli için kantar binası	12. Otopark 13. Tüm sahayı çevreleyen tel çit
3. Sahada çalışacak personelin yemek, temizlik ve barınma ihtiyacı için sosyal tesis 4. İdari bina	14. Tüm sahayı çevreleyen yüzey suyu toplama kanalları 15. Yer altı suyu kirliliğini kontrol etmek amacıyla en az üç adet gözlem kuyusu
5. Sahaya girip çıkan araçların temizlenmesi için tekerlek yıkama ünitesi	16. Depolama alanı
5. Araç tamir ve bakım atölyesi	17. Sızıntı suyu toplama drenaj sistemi
7. Jeneratör binası 8. Yangın ve kullanma suyu deposu	18. Sızıntı suyunun toplandığı lagünler
9. Ambalaj atıkları toplama ve ayırma tesisi	19. Sızıntı suyu arıtma tesisi
10. Sahaya giren çıkan araçların kullanacağı Yollar	20. Gaz toplama sistemi bacalar, menholler, manifoldlar,
11. Atıkların sıkıştırılmasında kullanacak araçların kullanacağı yollar	21. Enerji üretim veya gaz yakma sistemi

Yukarıda sunulan ünitelerden bazıları işletme başladıktan sonra da yapılabilir olmasına rağmen diğer bertaraf yöntemleri ile kıyaslama yapıldığında tüm üniteler yapılacakmış gibi düşünmek maliyeti doğru değerlendirmek açısından yararlı olacaktır.

Katı Atık Düzenli Depolama Alanı Zemin Geçirimsizliği

Düzenli depolama alanlarının zemin geçirimsizlik sisteminin yapılması önemlidir. Bu sistem, atıkların kabulünden başlamak üzere, lotun ömrü boyunca pek çok veriyi içermektedir. Bu nedenle

kaynak testleri başta olmak üzere hemen her aşamada geçirimsizlik denetlenmeli, raporlanmalı, yazılı ve elektronik olarak mutlaka kayıt altına alınmalıdır. Geçirimsizlik sisteminin nasıl yapılması gerektiği, mekânın kendine özgü yapısıyla ilişkilidir.



Şekil 7. Bir deponi alanının yapay tasarımına dair bir görünüm (TBB, 2014).

Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarının İşletilmesi

Düzenli depolama alanının işletilmesinin sağlıklı yürütülmesi, atık yönetiminin etkinliğinde ve verimliliğinde çok önemlidir. Dolayısıyla, işletme aşamasının hazırlık evresinde, iyi bir planlama göz ardı edilmemelidir. Öncelikle, işletmenin belediyenin kendi imkânlarıyla mı yapılacağına ya da hizmet alımı şeklinde mi yapılacağına karar verilmelidir.

Genel kabul, işletmenin taşeron eliyle yürütülüp belediyelerin denetim ve izleme sürecini yürütmesi şeklindedir. Böylelikle depolama alanı başta Belediye denetim ekibi, İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü ve belirli dönemlerde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı taraflarınca denetlenerek daha sağlıklı bir yönetim sağlanmalıdır. Hizmet kalitesi artırılarak projelendirilme aşamasında varsayılan geri kazanımların sağlanması ve kaynakların etkin yönetimi gerçekleştirilmelidir.

Sızıntı suyu

Bir düzenli deponi alanından kaynaklanan en önemli tehlike, yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenmesidir. Eğer bir düzenli deponi alanında üzeri toprakla örtülmüş atık, yüzeyden aşağı süzülen su ya da çöpün içinden geçen yeraltı suyu ile temas ederse tehlikeli ve mineralce zengin olan sızıntı suyu bakteriyel kirliliğe neden olur. Örneğin 1930'lu, 1949'lu yıllarda New York, Long Island'da deponi alanından kilometrelerce uzağa taşınan, birkaç yüz metre uzunluğunda yüzeyin altında sızıntı kanalları oluşmasına neden olmuştur.

Bir deponi alanında, ortaya çıkan sızıntı suyunun etkileri, atığın bileşimine, süzülen ya da atık içinde hareket eden suyun miktarına ve süzülen suyun çöple temas süresine bağlı olarak değişmektedir.

Kirliliğin izlenmesi

Düzenli bir deponi alanı için yer belirlendiğinde işletmeye başlamadan önce, yeraltı suyunun hareketi izlenmeye alınmalıdır. Bu izleme, özel olarak tasarlanmış kuyulardan belirli aralıklarla alınan su ve gaz örneklerinin incelenmesi ile yapılmaktadır. Sızıntı suyu ve gaz hareketinin izlenmesi, herhangi bir kirlilik kalmayana kadar sürdürülür. Bu denetim, özellikle saha tümüyle dolduktan sonra da önemlidir. Deponi alanları dolduktan sonra da izlemenin devam etmesi gereklidir. Küçük çöküntülerde yüzey suyu toplanabilir, süzülebilir ve sızıntı suyu oluşabilir. Terk edilmiş bir deponi alanının özel olarak bakımı ve izlenmesi onun kirlilik oranını azaltır.

Kirleticilerin çevreye yayılması

Bir katı atık uzaklaştırma alanından tehlikeli atıklar çevreye altı yolla yayılmaktadır.

1. Metan, amonyak, hidrojen sülfür ve azot oksit gibi çeşitli gazlar topraktan ve atıktan ortaya çıkabilir ve atmosfere yayılabilir.
2. Kurşun, kadmiyum ve demir gibi ağır metaller toprakta birikebilir.
3. Klorür, nitrat ve sülfat gibi su da çözünebilen gereçler atığın ve toprağın içinden kolayca yeraltı suyu sistemine geçebilir.
4. Sızıntı suyu yüzeyden akıp gidebilir, derelere ve nehirlere taşınabilir.
5. Atık uzaklaştırma alanında yetişen bazı bitkiler, insan ve hayvanların onları yiyecek olarak kullanması sonucu besin zinciri yoluyla geçebilen ağır metalleri ve diğer zehirli maddeleri seçimli olarak bünyelerine alabilirler.
6. Tarlada ekinlerden artan bitkiler, zehirli maddeler içeriyorsa, bu gereçler toprağa geri dönebilir.

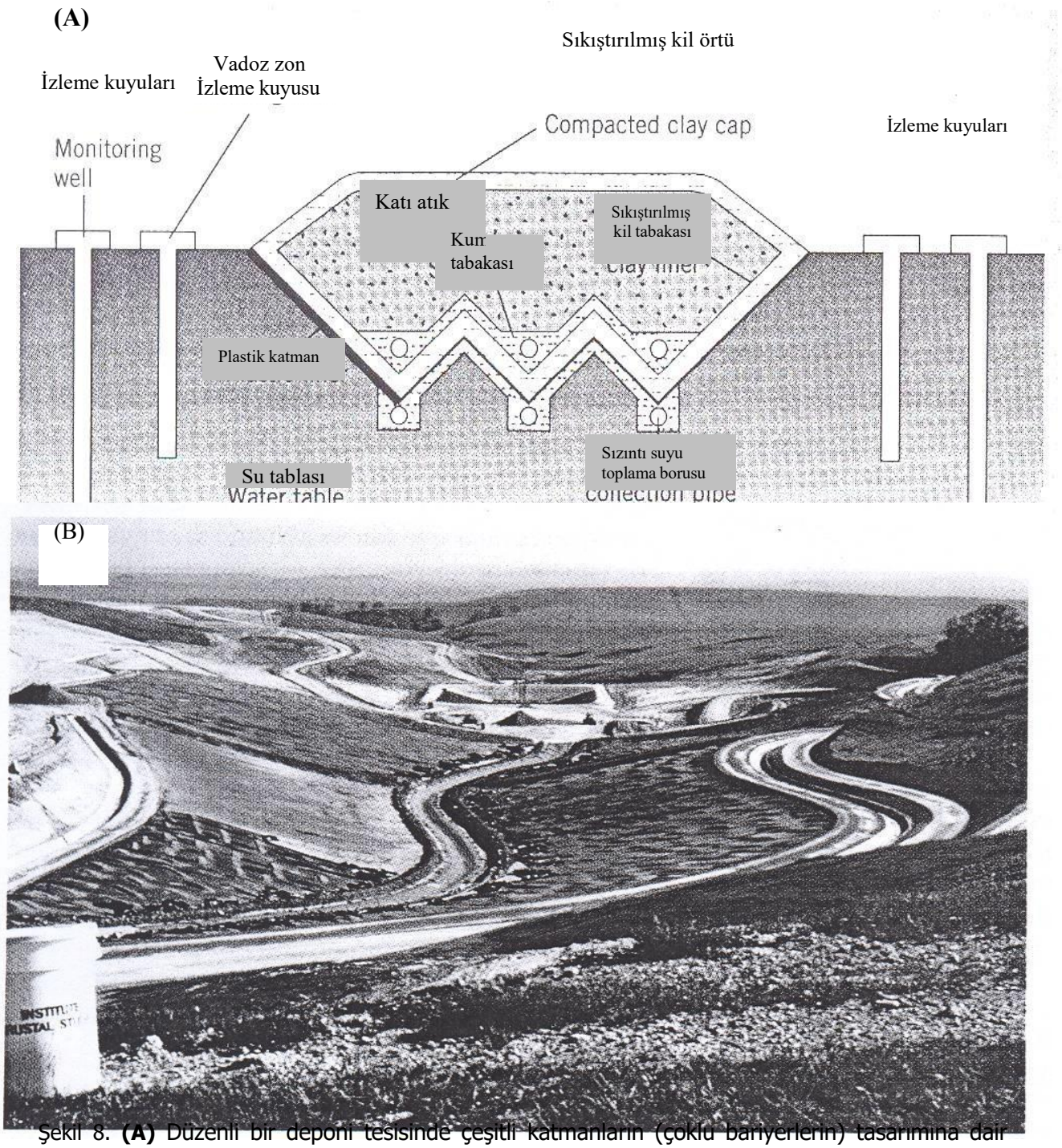
Çağdaş ve sağlıklı deponi alanları sızıntı suyunun hareketini sınırlayacak kil ve yapay bariyerler, sızıntı suyunu toplayacak yüzey ve yeraltı suyu drenaj sistemlerini, atık ayrışırken oluşan metan gazını toplama sistemlerini ve deponi alanının yakınında ve altında sızıntı suyu akışını denetleyecek yer altı suyu sistemlerini içerecek biçimde projelendirilmelidir. Şekil 8'de örnek bir tasarıma dair yapılar görülmektedir (Botkin ve Keller, 1995).

Şekil 8 (A)'da düzenli bir deponi tesisinin enine kesiti ve çeşitli katmanların (çoklu bariyerlerin) tasarımına ve izleme sistemi ile sızıntı suyu toplama sistemine dair yapılar görülmektedir.

Şekil 8 (B)'de ise California, Calaveras Conty, Rock Grek deponi alanının inşaat döneminden bir görünüm sunulmuştur. Bu dönemde, yani çağdaş bir deponi alanının inşaat aşamasında çeşitli çoklu bariyerler (engeller) hazırlanmalıdır. Bu kentsel katı atık deponi alanının tabanı, sıkıştırılmış bir kil tabakası ile örtülmüştür (Fotoğrafın sol üst kısmında gösterilen ortadaki açık renkli eğimli alan). Açık renkli eğimli kısımlar, sıkıştırılmış kil tabakasının üzerine serilen çakıllı malzemelerdir. Burada kildeki nemi tutmak üzere tasarlanmış çeşitli bariyerler de vardır. Bu bariyerler, kil tabakasında çatlaklar oluşmasını önlemeye katkı sağlar. Kıvrımlı kül rengi olan bölüm, yapay malzemeleri temsil etmektedir.

Deponi alanları için perdeler sızıntı suyu toplama sisteminin bir parçasıdır. Kazılmış havuzlar (fotoğrafın üst kısmı) inşaat aşamasında sızıntı suyunu buharlaştıran havuzdur. Deponi alanı, sızıntı suyu toplama sisteminin alt kısmındaki vadoz zonu izleyen bir sistemle donatılır (Botkin ve Keller, 1995).

Kirleticilerin çevreye yayılmasında etkin olan süreçleri izleme programı, başından sonuna kadar yapılandırılmalıdır. Uygulamada tüm yöntemlerin denetlenmesi mümkün değildir. Özellikle potansiyel kirlilik sorunlarının yeraltı suyuna ulaşması ve temas etmesinden önce belirlenmesi ve vadoz zonda bulunan suyun izlenmesi önemlidir. Çünkü vadoz zonda oluşan kirliliğin giderilmesinin maliyeti çok yüksektir.



Şekil 8. **(A)** Düzenli bir deponi tesisinde çeşitli katmanların (çoklu bariyerlerin) tasarımına dair görünüm, **(B)** California, Calaveras Conty, Rock Grek deponi alanının inşaat dönemi.

Atıkların kaynağında azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım

Bütünsel atık yönetiminin önemli terimleri, kaynağında azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanımdır. Bu kavramların temel hedefi, deponi alanlarında, yakma tesislerinde ve diğer atık yönetim tesislerinde zararsız hale getirilmesi gereken kentsel ve diğer atıkların miktarını olabildiğine azaltmaktır. Bu amaçla ***Katı Atıkların Yeniden Kazanım (KAYK)*** projeleri oluşturulmuştur. İşte bu projelerin ete-kemiğe bürünmesi zorunludur.

Kaynağında azaltma ya da kaynağında uzaklaştırmada, kullandığımız ve sonunda atmak zorunda kalacağımız şeyleri dikkatlice seçmek öncelikli bir adımdır. Örneğin alışveriş merkezlerinde zorunluluk olmadıkça poşet istememek de iyi bir alışkanlıktır. İlk bakışta böyle bir etkinliğin kişisel bir yararı yoktur. Ancak böyle bir alışkanlık tekrarlanırsa ve toplumsal bir etkinliğe dönüşürse yararı tartışılamaz. Posta ile ve zarfla aldığımız birçok bilgiyi e-posta ile almak günümüzde mümkündür. Bu işlemlerin de büyük oranda kâğıt tüketimini azalttığına kuşku yoktur. Keza uzun ömürlü araç lastiğini almanın da tüketimi azaltacağını söyleyebiliriz.

Kentsel bölgelerde yaygın bir uzaklaştırma yöntemi, mutfak yiyeceği atıklarının mekanik öğütücülerde öğütülmesidir. Çöp yok etme makineleri, mutfak lavabolarının atık su kanal sistemlerine yerleştirilir ve çöp kanalizasyon sisteminde öğütülerek basınçlı su ile temizlenir. Bu yöntem, elle işlenen atığı etkin bir şekilde azaltır ve atık yiyecekler kısmen de olsa ortadan kaldırılır. Nihai uzaklaştırma, kalan katıların evsel arıtma sistemlerine taşınmasıyla gerçekleştirilir. Kaynakta yok etmede başka bir yöntem de küçük ölçekte yakmadır. Bu yöntem, özel işletmelerde ve hastane gibi kuruluşlarda kullanılabilir. Bunun dışında zehirli olabilen kül ve diğer kalıntılar periyodik olarak ortadan kaldırılmalı ve nihai uzaklaştırma bölgesine gönderilmelidir.

Tekrar kullanım, katı atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmaksızın, ekonomik ömrü tamamlanıncaya kadar defalarca kullanılmasını ifade eder. Örneğin, plastik bir bidonun değişik amaçlarla kullanılması böyle bir işlemdir.

Geri dönüşüm, katı atıkların fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulması işlemidir. Bu süreç atıkları toplama, taşıma, işleme ve söz konusu atığı kullanan bir sanayi koluna satışını kapsamaktadır. Örneğin, gazete kâğıtlarının toplanması, taşınması, işlenmesi ve yeniden değerlendirilebilir bir biçime getirilmesi bir geri dönüşüm uygulamasıdır. Ancak böyle bir uygulamanın, kâğıdı ağaçlardan elde etmekten daha maliyetli olmaması beklenir.

Geri kazanım ise, tekrar kullanım ve geri dönüşümü kapsayan katı atıklara ait bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle başka ürünlere ya da enerjiye dönüştürülerek birden fazla kullanılması işlemidir. Örneğin, hayvanlara ait organik atıkların (gübrelerin) biyogaza dönüştürülmesi ve ortaya çıkan katı atıkların da gübre olarak kullanılması tipik bir geri kazanım sürecidir.

Geri kazanım ürünleri için pazarlar: Geri dönüşümü başarıyla başlatan bazı toplumlarda yeniden kazanım ürünleri için pazarlar kuruldu. Yeniden kazanılan gereçler piyasaya sürüldü. Eğer geri dönüşüm başarılı olursa (pazarlardaki faaliyetlerin ve atıkları belirli bir işleme tabi tutan kuruluşların yardımıyla) BAY güvenilir bir girişim olan geri kazanım ile ilgili çabaları geliştirmek zorunda kalacaktır.

Bütünsel Atık Yönetimi sayesinde kentsel atıkların en az % 50, belki de % 70'e varan oranlarda azaltılabileceği öngörülmektedir. Kentsel atıkların azaltılması aşağıda belirtilen önlemlerle kolaylaştırılabilir.

- Kaynağında azaltmanın bir yolu, atığı azaltmak için daha iyi tasarlanmış bir paketleme modelinin geliştirilmesi (% 10 azaltama), yani atığı toplama sisteminin geliştirilmesi
- Geri kazanım tesislerini işler hale getirmek (% 30 azaltma)
- Büyük ölçekli kompostlaştırma programlarını devreye koymak (% 10 azaltma)

Bu liste, bize kentsel atık akışındaki azaltmada en temel etkenin geri kazanım olduğu izlenimini vermektedir.

Gerçekte, geri kazanım, atık akışında en azından % 30 azalmaya neden olabilir mi? Son günlerde yapılan bir çalışma, % 30 hedefinin uygun bir oran olduğunu ve ABD'nin yakın bir gelecekte, bu orana ulaşılabileceği izlenimini uyandırmıştır. İlgi çekici olan, geri kazanım için yukarıda belirtilen oranda düşük olmasıdır. Yoğun geri kazanım olarak bilinen uygulama sayesinde, ABD atık akışının % 80-90 kadar yeniden değerlendirilebileceği tahmin edilmektedir. New York'un bir mahallesinde 100 aileyi kapsayan pilot bir çalışmada geri kazanım % 84 düzeyine ulaştı.

Birçok topluluk için daha gerçekçi olan hedef, cam, alüminyum, organik maddeler ve gazete, dergi gibi bir dizi gereci kısmen geri kazanmaktır. Kısmi geri kazanım ile % 30 azaltma sağlanabilir. Örneğin 1989'a kadar Seattle şehri, ülkedeki büyük şehirlerin hiçbirinde ulaşılamayan en üst düzeye (% 37 oranına) ulaşmıştır. Seattle kentinin başarı öyküsü, şehrin tek deponi alanının kapanması ile karşı karşıya kalındığı ve kent konseyinin büyük bir yakma tesisinin inşa edilmesini önerdiği 1988 yılında başladı.

Kent sakinlerinin şiddetli direnişi, kaynakta azaltma olarak da bilinen yaygın bir atık azaltmanın başlaması ve geri dönüşüm programları ile sonuçlandı. Yaygın hedef 1988 yılına kadar deponi alanı gereksinimi olan atık miktarını % 60'a kadar azaltmaktır. Berkeley, California gibi diğer kentlerde geri kazanım için hedef % 50 olarak belirlendi.

Kompostlaştırma

Kompostlaştırma çim gibi bahçe atıkları ve mutfak atıkları olan organik atıkları toprağa dönüştüren biyokimyasal bir yöntem olup, aerobik organizmalarca organik katı atıkların hızlı bir biçimde kısmen ayrıştırılmasını sağlar. Bununla birlikte, bir atık yönetimi olarak bahçelerdeki kompost yığınları akla gelir.

Seçilen büyük ölçekli kompostlaştırma işlemi, genellikle mekanik, ağzı kapalı, özel ünitelerde denetimli bir çevrede gerçekleştirilir. Kompostlaştırıma, Avrupa ve Asya'da son günlerde çok ilgi gören bir tekniktir. Kompostlaştırmanın en önemli dezavantajı, organik atıkları diğer atıklardan ayırmanın zorluğudur. Bu nedenle, belki de organik atıkların diğer atıklardan ayrı olarak toplandığı durumlarda ekonomik açıdan uygun olmaktadır. Buna karşın, bütünsel atık yönetime önemli bir katkı sağlamaktadır ve bu katkı ileride kuşkusuz artacaktır.

Yakma

Bir yakma biriminde, yanabilir atıklar ve atık içerisindeki yanabilir gereçlerin tümünden kurtulmak için yeteri kadar yüksek sıcaklıkta (900- 1000 ^{0}C veya 1650-1830 ^{0}C) yakma gerçekleştirilir. Yakma sonucunda, kalan kül ve yanmayan maddeler bir deponi alanına gönderilir. Uygun koşullar altında yakma, atık hacmini % 75'den % 90'a kadar azaltabilir.

Bununla birlikte hacimdeki gerçek düşüş, yakma ile ilgili sorunların yanı sıra, bakım ve işletme sorunları nedeni ile % 50'ye kadar ancak sağlanabilir. Ayrıca, çok büyük hacimdeki yanabilir bir atığı çok daha küçük bir kül hacmine dönüştürür ve diğer yakıtlara ek olarak yakma sistemlerinde enerji üretiminde de kullanılabilir.

Kentsel atıkların yakılması elbette kesin bir çözüm değildir. Yakma hava kirliliği ve zehirli küllerin oluşmasına neden olur. Yakma tesislerinden duman, asit yağmurlarına yol açan azot oksitler ve kükürt oksitler, kurşun, kadmiyum ve cıva gibi ağır metallerin yanı sıra küresel ısınma ile ilişkilendirilen CO_2'ler çevreye yayılabilir. Atıkların geleneksel yakma tesislerinde bertaraf edilmesi yerine çimento fırınlarında yakılması CO_2 ve diğer gazların salınımını azaltmaktadır.

Çağdaş yakma tesislerinde ortaya çıkan emisyonlar, özel cihazlarla belki zararsız hale getirilebilir. Ancak bunun maliyeti oldukça yüksektir. Yakma tesislerinin maliyetleri çok yüksek olduğundan, hükümet desteğine de gereksinim duyulabilmektedir. Bununla birlikte bir değerlendirmeye göre kaynağında azaltma, geri dönüşüm ve kompostlaştırmada kentsel atık akışının % 75'inin deponi alanlarına yönlendirilmesi ile sonuçlandırılabilir.

Sonuç olarak, yakma tesislerinin ekonomik olarak uygulanabilirliği atıkların yakılması yoluyla üretilen enerjinin satışından elde edilen gelire bağlıdır. Geri kazanım ve kompostlaştırma arttırılırken, atık akışı içindeki kompostlaştırma ve geri dönüşüm oranı, yakma ile rekabet edecek, yakmadan ise kâr elde edilmeyecektir. Bütünsel atık yönetiminden çıkarılan asıl sonuç, geri dönüşüm, geri kazanım ve kompostlaştırmanın en az yakma yöntemi kadar bir deponi alanına gidecek atıkların hacmini azaltabilmesidir.

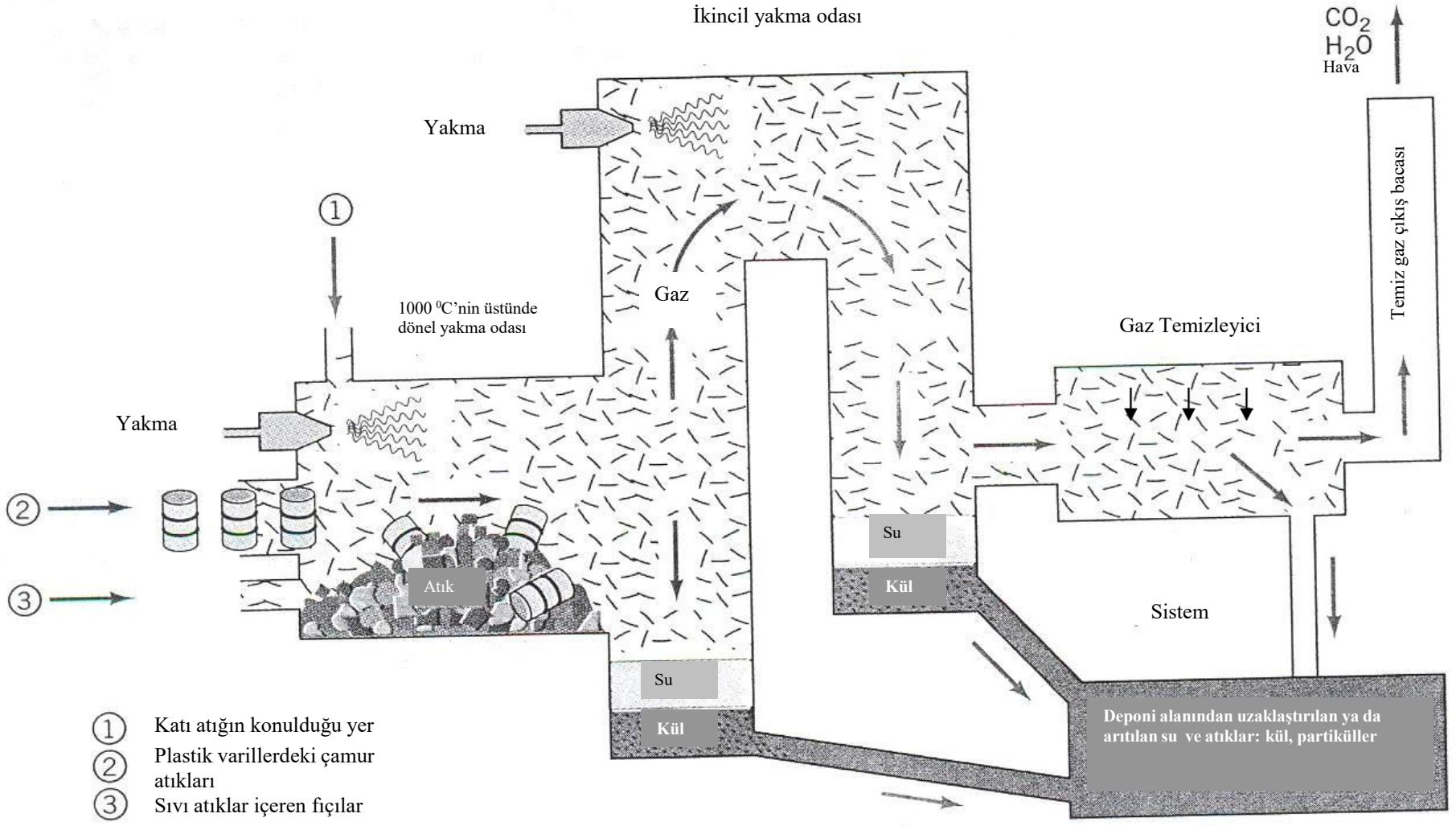
Bazı uzmanlar, atıkların yakılması sırasında dioksinin ortaya çıktığını ileri sürmektedir. Dioksinin tüm bileşiklerinin zehirli olduğu bilinmektedir. Atık enerji tesislerinin de dioksin yaydığı kanıtlanmıştır. Dolayısıyla yakma yöntemlerinin köklü bir şekilde gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Atıkların yakılmasından dolayı ortamda kül kalacağından, arıtım sistemine dikkat edilmesi gerekmektedir. Tehlikeli atıklar kıyıdan uzakta, gemilerde de yakılmakla beraber yakma işlemi, deniz ve çevresinde potansiyel hava kirliliğine neden olurken, küllerin uzaklaştırılması da ayrı bir sorun oluşturmaktadır. Yakma işleminde kullanılan teknoloji, atığın yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla hızla değişerek bozulması ya da yok edilmesi esasına dayanmaktadır.

Şekil 9'de zehirli atıkların özellikle PCBs'leri yüksek sıcaklıkta yakma işlemine tabi tutulabileceği genel bir yakma sisteminin tasarımı sunulmuştur. Sıvı, katı veya sulu çamur içeren atıklar, özelliklerine uygun yanma odalarında yapılan yakma işlemi uygulanır. Devamlı olarak tekrarlanan yanma sürecinde küller su tankının tabanında toplanırken, gazlar ikincil yanma odalarında tutulmaktadır.

Sonuç olarak gazlar, ***Gaz Temizleme Sistemi***'nde asitlerle tepkimeye girerek, içinde yer aldığı atıklarla sistemden ayrılmaktadır. Sistemden karbondioksit, su ve hava çıkmaktadır. Düzenli deponi alanından yakma sürecinden arta kalan atık su, kül ve partiküller ortaya çıkmaktadır (Botkin ve Keller, 1995).

Atıkların yakma ve ısı yoluyla bozulmasına yönelik daha ileri teknikler geliştirilmiştir. Atığın içindeki organik maddeleri yok etmek amacıyla atığa eriyik tuzun eklenmesi yararlı olacaktır. Sonunda alanda ya da denizde kurulan diğer bir yakma işlemi de akışkan yataklı sistemlerdir. Hangi yakma yönteminin kullanılacağı atığın özel durumuna bağlı olup, atığı yok etmede gerekli olan sıcaklığı seçmek için atığın bileşimi belirlenmelidir.



Şekil 9. Yüksek sıcaklıkta çalışan bir yakma sistemi (Botkin ve Keller, 1995).

DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARININ YER SEÇİMİNDE YAŞANAN SORUNLAR

Ülkemizde 2017 yılında yapılan ***'Çevre Jeolojisi Çalıştayı'***nda 'Atık yönetiminde, deponi alanlarının yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri' çalışma grubu yaşanan sorunları ve önerileri ortaya koymuştur (Şimşek ve diğerleri). Bu sorunlar ve öneriler aşağıda sıra ile sunulmuştur:

Düzenli depolama alanlarının yer seçimine dair sorunlar

- Atıkların miktarlarının azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılmaması, büyük oranda atık miktarının depolama alanlarının kısa sürede dolması,
- Yer seçim ön çalışmalarının ulusal ve uluslararası ölçütlere uygun hazırlanmamış olması, bölge halkını tatmin edecek düzeyde olmaması,
- ÇED raporunda alternatif sahaların ortaya konulmaması sadece tek bir saha üzerinden gidilip kullanılabilecek daha uygun sahaların yer almaması,
- Belirlenen alanların büyük bölümü halk tepkisi nedeni ile faaliyete geçirilememesi,
- Jeolojik, hidrojeolojik ve çevresel kriterlere uygun sahaların bulunamaması, bulunması halinde ise farklı arazi kullanımı nedeniyle deponi alanı olarak seçilmesinin kısıtlanması,
- Kamulaştırma sorunu nedeniyle yerel yönetimlerin kamu arazilerini tercih etmesi yoluna gidilmesi
- Yapılan deponi alanı yer seçimi uygulamaları sırasında istenilen tüm kriterlerin tek bir alanda bulunmasının mümkün olmaması
- Büyükşehirlerde büyük miktarda atık miktarları için deponi alanı bulunamaması
- Yer seçiminde Çevre ve Orman Bakanlığının 2010 yılında yayınladığı "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik"nde geçen "II. Sınıf depolama tesisi için yerleşim alanlarından uzaklık 250 m. olmalı" ifadesinin uygun olmaması ve halkın tepkisini çekmesi nedeniyle sahanın faaliyete geçirilememesi,
- Yer seçim sürecinde yerel halkın katılımının sağlanmaması,

Yukarıdaki nedenlerden dolayı ülkemizde düzenli depolama tesislerinin kurulması gecikmektedir. Bu durum vahşi depolama yönteminin halen sürdürülmesine neden olmaktadır.

Düzenli depolama alanlarının yer seçimine dair öneriler

- Bölge halkının projenin ön çalışması, ÇED, proje aşaması, uygulama aşaması ve denetleme aşamasında katılımının mutlaka sağlanması,
- ÇED raporlarının ve ÇED raporlarında verilen taahhütlerin bağımsız kuruluşlar tarafından yapılması, izleme raporlarının değerlendirilmesi,
- Yeni atık sahaları mutlaka yerel yönetimlerle birlikte çözüme ulaştırılması,
- Seçilecek veya alternatif alanların arasından halk tepkisini çekmeyecek alanların ortaya konulması,
- Düzenli depolama tesisi yapılacak bölgedeki halkın projenin tüm aşamasında bilgilendirilmesi varsa örneklerinin yöre halkına gezdirilmesi ve tanıtılması
- Belirlenen alanlara ve halen kullanılmakta olan alanlara yakın imar izinleri verilmemeli ve yerleşime açılmamalı (Şu an birçok atık sahası ve çevresi yerleşim alanları 1000 m koşulu aranmadan imara açılarak kuşatılmış durumdadır).
- Yer belirlendikten sonra bazı jeolojik kaynaklı problemler mühendislik önlemleri ile uygun hale getirilebilir.
- ÇED raporlarındaki yetersiz çalışmalardan dolayı sürecin uzaması nedeniyle, sahanın jeolojik özelliklerine göre yapılması gerekli olan ayrıntılı jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik çalışmaların boyutlandırılması

  Bunun için jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik çalışma formatının oluşturulması. Uluslararası geçerliliği olan metod ve yaklaşımlar ile birlikte CBS, hidrolojik ve hidrojeolojik model çalışmaları mutlaka yapılmalıdır (Yapılacak kapsamlı çalışmalarda senaryo analizleri ve modelleme çalışmaları olmalıdır).

- II. Sınıf Atık sahalarının yönetmelikte belirtildiği gibi yerleşim yerine 250m uzaklıkta yapılma koşulu atık sahalarının koku, gürültü, haşere vb problemler nedeniyle yöre halkının tepkisine neden olmakta ve bu nedenle bu mesafenin 1000m nin altına düşürülmemesi önerilmektedir.
- Okullarda sosyal tanıtım projeleri ile atık yönetimi ve bertarafları konusunda bilgilendirilmelerin yapılması
- Kurumlarda çalışan mühendislerin dönemsel olarak hizmet içi eğitime alınması ve yeni yönetmelikler hakkında bilgi verilmesi
- Üniversite belediye işbirliği ile bu tür sahalara ortak projelerin üretilmesi
- Yerel belediyeler ile büyükşehir belediyeleri ve Ankara ile yeterli işbirliğinin sağlanması

DÜZENLİ DEPONİ ALANLARININ DENETİMİ VE İZLEME ÖLÇÜTLERİ

Şimşek ve diğerleri (2017) düzenli deponi alanlarının denetimine ve izlenmesine dair ölçütleri de sorgulamıştır. Buna göre, en azından, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" de öngörülen atık kabul ölçütlerine göre depolama yapılıp yapılmadığı denetlenmelidir. Kabul ölçütlerinde As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn, Cl, Fl, sülfat miktarı, toplam çözünen katı miktarı, fenol indeksi, toplam organik karbon ve çözünmüş organik karbon içeriği, benzen, tolüen, etilbenzen, ksilen, mineral yağlar, pH ve yanma kaybı gibi parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerin çoğu belli miktarlarda artırılabilir ancak çözünmüş organik karbon sabit kalmak zorundadır.

Sızıntı sularından ve yağış sularından dolayı tesiste olabilecek olumsuzlukları engellemek amacıyla gerekli önlemleri almak için meteorolojik verilerin takip edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla depolama sırasında günlük olarak yağış hacmi, en düşük-en yüksek ve yerel saatle saat 14:00 da sıcaklık, rüzgar yönü ve hızı, buharlaşma değerleri ve bağıl nem parametreleri ölçülmektedir. Kapatma sonrası ise rüzgâr yönü ve hızı, bağıl nem dışındaki parametreler aylık ortalama sıklığı ile kontrol edilmektedir. Bu veriler sızıntı suyu oluşumuna ilişkin hesaplamalarda kullanılmaktadır. İşletme aşamasında sızıntı suyu hacmi ve gaz emisyonları (CH_4, CO_2, H_2S, O_2 ve H_2) aylık olarak, sızıntı suyu kompozisyonu üç ayda bir olmak üzere izlenmelidir. Kapatma sonrasında bu parametreler her altı ayda bir kontrol edilmelidir.

Depolanacak atığın yeraltı suyuna etkilerini belirlemek amacıyla ölçümler yeraltı suyunun memba tarafında en az bir noktada ve mansabında ise en az iki noktada yapılması gerekmektedir. Yeraltı suyu seviyesi her altı ayda bir ölçülmektedir. Özel hidrojeolojik durumlarda ise daha sık ölçüm alınmasını gerektirebilir.

Sızıntı suyundan ve mevcut olması halinde yüzeysel sulardan numune alma işlemleri temsil edici noktalarda yapılmalıdır. Yüzey sularının izlenmesi biri membada diğeri mansapta olmak şartıyla ve akıntı yönünü de dikkate alınarak en az iki ayrı noktada yapılmalıdır. I. sınıf ve II. sınıf düzenli depolama tesislerinin bulunduğu alanlar, depo hizmet süresini doldurduktan sonra en az otuz yıl süre ile izlenmekte ve denetlenmektedir.

Sivas deponi alanından çıkan sızıntı sularının yarattığı kirliliğin yayılımı jeofizik ve su kimyası yöntemleri ile incelenmiştir. Sızıntı suyunun akış yönü bölgede egemen olan jeolojik süreksizlikler ve jeomorfolojik yapılar tarafından denetlenmektedir. Buna göre, yüzeydeki sızıntı suyu da Haçin deresinden, yakınındaki Kızılırmak nehrine doğru akmaktadır. Bu çerçevede, Haçin deresinin iki tarafında yayılan sızıntı suyu kirliliğinin zemindeki yayılımı irdelenmiştir.

Kirliliğin varlığı ve yayılımı, elektromanyetik iletkenlik (EMC-Electromagnetic Conductivity) yöntemi ve alınan su örneklerinin su kimyası analizleri ile belirlenmiştir. EMC ölçümlerinden elde edilen görünür iletkenlik grafikleri, sızıntı suyunun yataydaki yayılım sınırlarını göstermiştir. Su kimyası analizleri ise sudaki kirliliğin sızıntı suyundan kaynaklandığını göstermiştir. Sonuç olarak yöredeki Kuvaterner yaştaki toprak örtünün yanı sıra yüzey ve yeraltı su kaynaklarının sızıntı suyundan ileri gelen kirliliğin tehdidi altında olduğu belirlenmiştir. Oluşan kirliliğin ise katı atık deponi alanının daha

uzun süre kullanılacağı gözetilerek, acilen ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) süreci çerçevesinde denetim altına alınması gerektiği ortaya konulmuştur (Özel, 2017).

Kalite Değerlendirme ve İzleme Çalışmaları

- ÇED sürecinde verilen taahütlerin ve tesis projesinin uygulama aşamasının bağımsız kuruluşların yanı sıra yatırımcının kendi kalite güvence birimi tarafından oluşturması ve denetlenmesi,
- Yapılan tesisin işletme aşamasında ve kapatılmasından sonra ilgili yönetmelikte verilen sürede periyodik olarak incelemesinin yapılması, ölçüm ve analizlerin değerlendirilmesi ve rapor edilmesi,
- Depolama tesislerinde acil yönetim planlarının belirlenmesi,
- İş sağlığı ve güvenliği önlem ve denetimlerinin yapılması,

YERALTI ARAŞTIRMALARI

Tehlikeli atıklara dair büro çalışmaları ve ilk saha çalışmaları tamamlandıktan sonra kirliliğin yayılımına dair boyutlarını ve yapısını belirlemek üzere yeraltı araştırmalarına ilişkin bir program yapılır. Bu çalışmalar sırasında yüzeyde tanımlanan jeolojik ayrıntıların yer altındaki uzanımları belirlenir. Hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları ile tanımlanan yüzey jeolojisiyle birlikte yeraltı araştırmaları, kirlenmiş olan bölgenin boyutlarını tanımlamaya yardım eder. Yeraltı araştırmaları genellikle 3 gruba ayrılmaktadır:

- Jeofizik araştırmaları
- Sondaj
- Örnekleme

Jeofizik araştırmaları

Jeofizik, yeraltındaki kirliliği ve yüzeyde gördüğümüz birimlerin yeraltında nasıl devam ettiğini yorumlamaya katkıda bulunan önemli bir ilgi alanıdır. Tehlikeli atık yönetiminde önemli olan başlıca fiziksel özellikler; elektrik iletkenliği (özdirenç), elektromanyetik özellikler, manyetizma ve sismik dalgaların yayılma hızıdır.

Tüm jeofizik yöntemler, hedeflenen bölgedeki ya da dolayındaki alanlarda ölçülebilir kirlilik değerlerinin boyutlarını ortaya koymaya yöneliktir. Bu yöntemlerde yerinde yapılmış ölçümler değerlendirilir. Araştırmalardan elde edilen sayısal verilerin yorumuna bağlı olarak kirliliğin boyutları da ortaya koyulur. Yeraltındaki kirlilikle ilgili veriler genellikle sondajlarla sağlanır. Sondajlarla alınan örnekler kirliliğin boyutları ile ilgili bilgiyi sağlamak üzere analiz edilir.

Jeofizik yöntemler kullanılarak doğrudan ölçüm yapılamayan durumlarda yeraltının doğası ile ilgili bilgi dolaylı olarak sağlanır. Jeofizik araştırmalar sonucunda yeraltındaki kirliğin doğası ve yayılımı ile ilgili genel bilgiler sağlanabilmektedir. Bu çalışmalar, ayrıca sondajların ve örneklerin yerini belirlemede yardımcı olur. Dolayısıyla, sondajları ve örneklemeleri yapmadan önce, jeofizik yöntemler ekonomik bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Tehlikeli atık yönetiminde kullanılan jeofizik yöntemler, aşağıda sunulan yöntemlerden birini ya da birkaçını içerir (Benson ve Yuhr, 1993).

- Elektrik rezistivite yöntemi: Elektrik özdirenç değerleri ölçülerek değerlendirme yapılır.
- Elektromanyetik yöntem: Elektrik iletkenliği esas alarak değerlendirme yapılır.
- Yer radarı yöntemi (GPR): Dielektrik sabitliği ve iletkenliği ölçülerek değerlendirme yapılır.
- Manyetik yöntem: Manyetik duyarlılık ölçümleri esas alınır.
- Sismik kırılma yöntemi: Sismik dalga hızı ölçülerek değerlendirme yapılır.

Bir jeofizik yönteminin başarısı aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

a) Tehlikeli gereçlerin yer aldığı derinlik,

b) Tehlikeli atıklarla onların dolayındaki birimlerin fiziksel farklılıklarının derecesi,

c) Yüksek sinyal ve meydana gelen gürültünün oranı arasındaki temel ilişki belirgin veriler oluşturur.

Jeofizik yöntemler;

- Gömülü ya da yeraltındaki kirliliğin yerini belirlemede,
- Derin yerlerdeki kirliliğin boyutlarını haritalamada,
- Bölgenin stratigrafik ve jeolojik yapılarının yeraltındaki konumunu belirlemede kullanılır.

Jeofizik yöntemlerin kısa bir özeti, uygulamaya yönelik yararları gözetilerek aşağıda sunulmuştur.

Elektrik resistivite yöntemi

Elektrik rezistivite yöntemi, iletkenliğin tersi olan özdirenci ölçmeye dayalı olarak uygulanmaktadır. Yer'i oluşturan birimlerin yapısı, kalınlığı, içerdiği sıvıların derişimi gibi değişkenler özdirenç değerlerini belirler. Jeolojik birimlerin gözenekliliği, geçirgenliği, su içeriği ve tuzluluğu (iyon içeriği) bu yöntemde önemlidir. Örneğin kuru kumlar, çakıllar ve katmansız günlenmemiş, kırılmaya uğramamış kayalar yüksek rezistivite değerlerine sahiptir. Yeraltı suyu içeren kayalar ise düşük rezistivite değerlerine sahiptir. Rezistivite araştırmaları elektrotları zemine yerleştirmeyi gerektirmekte ve bu elektrotlardan elektrik geçirerek iki elektrot arasında potansiyeli ölçmeye dayanmaktadır.

Elektromanyetik yöntemi (EM)

Yeraltındaki birimlerin elektrik iletkenliğini ölçmeye dayalı bir yöntemdir. İletkenlik, özdirencin tersi olduğundan, bu yöntemde de özdirenci etkileyen faktörler geçerlidir. Örneğin, düşük iletkenliğe sahip kayalar; kuru kum, çakıl ve katmansız günlenmemiş kayaları temsil etmektedir. Yüksek iletkenlik değerine sahip kayalar ise çeşitli killer, günlenmiş ve çeşitli kırıkların oluşturduğu kayalarla temsil edilir. Rezistivite yönteminin tersine elektromanyetik yöntem yüzeyde ölçüm yapmayı gerektirmektedir. Dolayısıyla veri toplamak pek kolay değildir. Bu yöntem, ancak büyük bölgelerde avantajlıdır. Hem rezistivite hem de EM yöntemi, kirlilik haritasını ortaya koymakta başarıyla kullanılmakta ve yüzey altındaki dikey ve yatay birimlerin konumlarını tahmin etmeye, yeraltı yapısını değerlendirmeye ve kirliliğin akıntı yönünü belirlemede kullanılmaktadır.

Yer radarı yöntemi

Bu yöntem, diğer yöntemlere göre daha yeni bir yöntem olup gömülü tehlikeli atıkların yerini belirlemede iyi sonuçlar vermektedir. Yöntemde yeraltı koşulları ile ilgili bilgi sağlamak amacıyla yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılır. Bu yöntemde ölçülen nitelikler dielektrik sabiti ve iletkenliktir. Bu da yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaları yüzeyden gönderip, yeraltındaki yansımalarını alıcı antenle kaydetme ilkesine dayanır. Gönderici ve alıcı antenlerin her ikisi bir aracın arkasına monte edilebilir ve veriler yüzeyde kaydedilebilir. Yer radarı araştırmaları yeraltının profilini yatay ve dikey yönde ortaya koymada yüksek derecede bir çözünürlüğe sahiptir. Tehlikeli atık alanlarında bu yöntemin uygulamaları iki bölüme ayrılabilir:

a) Yerin tanımlanması.
b) Yeraltı yapılarının doğrudan belirlenmesi.

Yerin tanımlanması çalışmalarında birimlerin yeraltındaki derinliği, uzanımı ve yeraltı su tablasının konumu gibi bilgiler verileri sağlanmaktadır. Buna göre yer radarı yöntemi tehlikeli atıkların ve gömülü nesnelerin de bulunmasında çokça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak tehlikeli atık içeren çeşitli tankların yeraltındaki konumu ve derinliğini haritalamak mümkündür. Ayrıca kaba taneli topraklarda kirliliğin dağılımını ya da yeraltı şebekelerinin yerini belirleme konusunda önemli bilgiler sağlanmaktadır (Fener ve Vendi, 1991; 1992). Öte yandan yer radarı yöntemi, metalik olmayan cam elyafı gibi gereçlerin de yeraltındaki konumunu belirlemede katkı sağlar. Bu yöntemin uygulanabilen 2 sistemi vardır:

1) Sürekli ölçüm sistemi.
2) İstasyon ölçüm sistemi.

Sürekli ölçüm sistemi ve sığ ortamlardaki yapılar sağlıklı bir şekilde belirlenir. Ayrıca yeraltı yapılarının bazı nitelikleri anlaşılabilir. İstasyon ölçüm sistemiyle daha derin yapılar ortaya konulabilir. Örneğin, 150 m'ye kadar derin yapılar bu sistemle belirlenebilir. Yukarıdaki sistemde ise en çok 30 m derinlikte yer alan yapılar belirlenebilir. Bu yöntemde karbonat kayalarındaki karstik yapılar başarıyla ortaya konulmaktadır.

Sismik kırılma yöntemi

Sismik kırılma yöntemi çeşitli cisimlerden geçen dinamik elastik (P) dalgaların hızını ölçmeye dayalı olarak uygulanmaktadır. Bu yöntem, sismik dalgaların yüzeydeki sismik enerji kaynağından çıkıp yeraltındaki çeşitli yüzeylerden kırılarak yansıyan sismik dalgaların kaydedilmesinde duyarlıdır. Çünkü P dalgaları (sismik dalgaların bir türü olan boyuna dalgalar), farklı jeolojik birimlerde farklı hızlarla yayılmaktadır. P dalgalarının yayılma zamanını belirleyerek yüzeydeki jeolojik yapıların yeraltına nasıl devam ettiği yorumlanabilir. Sismik dalga hızlarını denetleyen iki temel faktör jeolojik birimlerin yoğunluğu ve elastik özellikleridir. Sismik kırılma çalışmalarında sismik dalgalar yapay olarak üretilir ve yüzeydeki jeofonlar tarafından algılanır ve sismogramlar halinde kaydedilir. Tehlikeli atık sahalarında sismik kırılma yöntemi ana kayanın ve yeraltı su tablasının derinliğini çeşitli birimlerin kalınlığını ve gömülü atıkların yerini kestirmekte kullanılmaktadır.

Manyetik yöntem

Yerin manyetik alanı, demir içeren birimlerin (gereçlerin) varlığından etkilenmektedir. Manyetometre yerin manyetik alanının şiddetindeki değişimleri kaydetmekte kullanılır. Tehlikeli atık yönetiminde, manyetik yöntem yeraltındaki gömülü çeşitli tankların ya da kirlilik yaratan nesnelerin yerini belirlemekte kullanılır. Özellikle demir ya da çelikten yapılı tankların 6 ya da 20 m derinlikteki konumlarını belirlemede kullanılır (Gretsky ve diğerleri, 1990).

Jeofiziksel yöntemleri kullanılmadan önce kullanımla ilgili bazı sınırlamalar olduğu gözetilmelidir. Böylece birden çok yöntem birlikte kullanıldığında sonuçlar daha güvenilir olur. Çizelge 2'de tehlikeli atık yönetiminde kullanılan çeşitli jeofizik yöntemlerle ilgili avantajlar ve sınırlamalar özetlenmektedir.

Çizelge 2. Jeofizik yöntemlerin göreceli avantajları ve sınırlamaları (Benson ve Yuhr, 1993'den uyarlanmıştır).

Yöntemler	Ölçülen nitelikler	Çözümleme		Derinlik (m)	Sınırlamalar	
		Dikey	Yatay		Jeolojik	Kültürel
Elektromanyetik	İletkenlik	Kötü	Çok iyi	1.5- 61	Düşük iletkenliğe sahip birimler	Metalik nesneler yüzeyde ya da gömülü
Elektrik resistivite	Özdirenç	İyi	İyi	100	Düşük özdirence sahip birimler	Yüzeyde ve gömülü metaller
Manyetik	Manyetizma	-	Çok iyi	1.5-10	-	Manyetik nesneler
Yer radarı	Dielektrik sabiti ve iletkenlik	Çok iyi	Çok iyi	1.5- 15	Çökeller	Yüzeydeki nesneler, yol tuzları
Sismik	P dalgası hızı	İyi	İyi	<30	Çökellerin üzerinde yer alan katmanlar	Yüzeydeki titreşimler; şose, asfalt

Sondaj

Sondaj, çeşitli boy, tip ve kapasitedeki makinalarla Yer'in katmanlarını delme işlemidir. Yerkabuğunun derinliklerinde bulunan kaynakların daha somut verilerle saptanması ancak sondaj çalışmaları ile mümkündür. Tünel, baraj, karayolu, demiryolu, köprü, kentsel altyapı ve üst yapı gibi

mühendislik yapılarının plan ve projelerinin hazırlanması süreçlerinde gereksinim duyulan jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik bilgi ve verilerin daha görünür hale getirilmesinin en önemli olan araçlarının başında sondaj çalışmaları gelmektedir.

Sondaj yöntemlerini üçe ayırmak mümkündür. Bunlar darbeli sondajlar, döner (rotary) sondajlar ve bileşik sondajlar olarak sınıflandırılabilir. Bu sondaj türlerinden döner sondajlar, kendi ekseni etrafında dönerek çalışır; düz dolaşımlı ve ters dolaşımlı olmak üzere iki şekilde uygulanabilir.

Sondaj parametreleri, sondaj makinesinin hidrolik sisteminden basınç sensörleri ile alınan askı, baskı, çamur pompası ve genel sistem basıncı bilgileriyle çamur pompası ve takım devri verilerinden oluşmaktadır. Alınan karot örnekleri üzerinde kaya mekaniği ve delinebilirlik gibi testler de yapılabilir. Ayrıca yapılacak işin amacına uygun ayrıntıda jeoteknik loglama yapılır. Sondaj makinesine monte edilen sensörler aracılığı ile elde edilen verilerin saklanması ve analiz edilmesi mümkündür. Bu çerçevede, elde edilen verilerle sondaj kuyusunun veri tabanı oluşturulmaktadır. Günümüzdeki bilgi teknolojileriyle söz konusu verilere ulaşmak ve gerekirse yeniden değerlendirmek mümkündür.

Karot kalitesine etki eden birçok faktörler vardır. Bunlar arasında en çok dikkat çekenler başlıca sondaj ekipmanları, formasyonun nitelikleri ve sondajda kullanılan yöntemlerdir. Özellikle matkap seçimi belirleyicidir. Kullanılan kimyasallar da karotun kalitesini artırmaktadır. Karotun kalitesi bölgenin jeolojik olarak yorumlanması açısından önemlidir.

Sondajlar, yeraltındaki birimlerin ve kaynakların doğası ile ilgili bilgi toplamak amacı ile yapılır. Bu sırada alınan örnekler arazide ve laboratuvarda incelenir. Bu yöntemle,

a) Yeraltındaki katmanların stratigrafisi ve kalınlığı,
b) Kaya türlerinin özellikleri,
c) Yeraltı su tablasının düzeyi ile ilgili bilgiler sağlanmaktadır.

Her ne kadar sondajların yeri, aralığı ve derinliği yerel jeoloji, topografya ve önerilen projenin büyüklüğüne göre değişiyorsa Çizelge 3' de sunulan genel ilkeler bir sondaj programının tasarlanmasında yardımcı olmaktadır.

Çizelge 3. Sondajların planlanmasında gözetilmesi gereken genel ilkeler (en az sayı) (Hasan, 1996).

Tesisin büyüklüğü		**Sondajların sayısı (en az sayı)**	**Derin sondajların sayısı**
Hektar (ha)	**Ar (a)**		
<4.1	<10	4	1
4.1- 19.8	10- 49	8	2
20.3- 40.1	50- 99	14	4
40.5- 81	100- 200	20	5
>81	>200	24, her ek 10 ar için 1 ekle	6, her ek 140 ar için 1 ekle

Sondajın pahalı olması nedeniyle özellikle büyük alanlar için jeofizik yöntemlerle bilgi toplamak daha ekonomiktir. Ayrıca katmanların kalınlığı ile ilgili bilgiler çeşitli yarmalardan da elde edilebilir. Yarma açmak da pahalı olmayan bir yöntemdir.

Yeraltı su düzeyi ve akiferin derinliğine ilişkin veriler, sondajlarla sağlanabilir. Yeraltı su düzeyleri mevsime bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla yeraltı su düzeyleri su kimyası verileri mevsimsel değişimler dikkate alınarak planlanmalıdır. Hidrojeolojik amaçlı kuyular araştırma/gözlem kuyusu, Pompaj/üretim kuyusu ve izleme kuyusu olarak sınıflandırılabilir. Kuyunun türü, yeri ve derinliği planlanır; delgi, donatı ve testler uygun koşullarda yapıldıktan sonra tamamlanır. Uygulamalarda karşılaşılan sorunlar (Ekmekçi ve Yazıcıgil, 2016) aşağıda sunulmuştur:

1- Kuyu kütüklerinin kuyu delgisi sırasında tutulmaması ya da bu kayıtların yeterli eğitim almamış personel tarafından tutulması,

2- Kuyu inşası ve donatısı aşamasında kuyuda tecrit işlemelerinin uygun malzeme ve yöntemlerle yapılmamış olması,

3- Kuyu geliştirme ve tamamlama işlemlerinin doğru ve etkili bir şekilde yapılmaması; araştırma ve üretim kuyularında çakıl ve gözlem borusunun yerleştirilmemesi,

4- Kuyunun tamamlanmasından sonra kuyu verimi ve etkinliğinin yanı sıra akifer ve kuyu testlerinin özenle yapılmaması ya da bu işlemlerin standartlara uygun yapılmaması,

5- Hidrojeolojik karakterizasyon amaçlı akifer testleri için gereksinim duyulan tasarım ve ekipman eksikliği ya da uygunsuzluğu; doğru pompa debisinin kontrol altında tutulmaması, YASS'inin ölçümlerinin sağlıklı yapılmaması, deney sürelerinin gerekli verinin elde edilmesine olanak vermeyecek şekilde kısa tutulması.

Yeraltı suyunun korunması son derece önemli olduğundan yeraltı su tablasındaki dalgalanmaları uzun süre izlenmelidir. Tüm veriler toplandıktan sonra verilerin değerlendirilmesine geçilir. Jeoloji mühendisleri, maden, jeofizik ve sondaj mühendisleri ile konuyla ilgili diğer uzmanların toplanmış olan bilgiyi yorumlama aşamasında birlikte çalışması çok önemlidir. Ne var ki, hatalı ekipman kullanımı, eğitimsiz ve projeye özgü sınırlı bilgiye sahip sondaj ekibi, yetersiz ve hatalı veri toplanması gibi sorunlar proje tamamlandıktan sonraki tek doküman olan logu olumsuz olarak etkilemektedir.

Ayrıca, özellikle derin sondajlarda kuyu başı güvenliğini sağlamak önemlidir. Bu tür sondajlarda ortaya çıkan risklerden biri de patlama- ani geliş (blowout) olarak tanımlanan sorundur. Dolayısıyla derin sondaj çalışmalarının ekipman ve çalışan personel açısından güvenli bir şekilde gerçekleşmesi için 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası' ında öngörülen ölçütlere uyulmalıdır. Ülkemizde 'Ulusal Sondaj Veritabanı' oluşturma çabaları devam etmektedir. Veritabanında yer alan sondajlar Türkiye jeoloji haritası üzerinde koordinatlı olarak gösterilmektedir. Ayrıca sondajlara dair temel referans bilgileri (İli, ilçesi, açıldığı tarih, derinlik, girilen formasyonlar ve kaynakça) yer almaktadır (Kiper ve Buldağ, 2016).

Örnekleme

Tehlikeli atıkların bırakıldığı yerlerde ya da tehlikeli atıkların olduğuna kuşku duyulan yerlerde toprak/çökeller, yüzey suları ve yeraltı suları, hava, biyota ve çeşitli kültürel değerler (sanat eserleri) gibi çeşitli alanlara ilişkin örneklemelerin yapılması gerekmektedir. Örneklemenin amaçları;

- Kirliliğin türünü ve derişimini tahmin etmek.
- Kirliliğin yayılma yönünün belirlenmesi. Suyla (yüzey ve yeraltı) ya da rüzgarla (adsorban niteliğine sahip katılar).

Örneklemeye başlamadan önce örnekleme planı geliştirilmelidir. Örnekleme programının geliştirilmesinde gözetilmesi gereken bazı unsurlar aşağıda sunulmuştur:

- Araştırmanın amacı(ları)
- Yerle ilgili temel bilgiler
- Varolan verilerin analizi
- Örnek alınacak yerlerin belirlenmesi
- Örneklemenin şekli
- Diğer bilgilerin analizi
- Analitik süreçler
- İşletme planı ve çalışma programı.

Örnekleme yöntemleri

Bir örnek, geniş bir birimin sadece bir parçasını temsil etmektedir. Bu nedenle araştırılmakta olan tehlikeli atıkları, olabildiğince temsil eden örnekler belirlenmesi oldukça önemlidir. Tehlikeli atıkların örneklenmesinde genel olarak aşağıdaki 3 yöntem uygulanmaktadır:

1) Basit temsili örnekleme: Yapısı ve kimyasal bileşimi ile ilgili bilginin yetersiz olduğu tehlikeli atıklarda tercih edilir. Temsili örnekleri tehlikeli atığın içinde gelişigüzel birkaç yerden alınmaktadır.
2) Sistematik temsili örnekleme: İlk yöntemde örneklemeler gelişi güzel alınmaktaydı. Fakat bu yöntemde zaman ve mekan aralıkları birlikte gözetilerek sistemli bir şekilde örneklerin alınmasına dayanır.
3) Katmanlı örnekleme: Tehlikeli atıklar birkaç kümeden oluşuyorsa her kümeden örneklemenin ayrı olarak alınması, katmanlı örnekleme adını almaktadır. Bu yöntem tehlikeli atıklarla ilgili yeterli bilginin olduğu durumlarda yararlıdır. Atıklar kimyasal doğaları itibari ile temsili açıdan tek düze değildir. Eğer atık kimyasal bileşenlerine (hidrokarbonlu topraklar, ağır metal çamurlarını içeren topraklar gibi) dayalı olarak farklı bölümlere ayrılabilirse daha sonra temsili ya da sistemli örneklerde atığın katmanlı olan her bölümünden alınabilir.

Başarılı bir örnekleme programının tasarlanmasında yerel jeolojik bilgi kritik bir öneme sahiptir. Aşağıdaki örnek olay tehlikeli atık araştırmalarının yanı sıra jeokimyasal koşulları temsil eden ve inorganik bileşimlerin derişimini belirlemede jeolojik faktörlerin önemini göstermektedir.

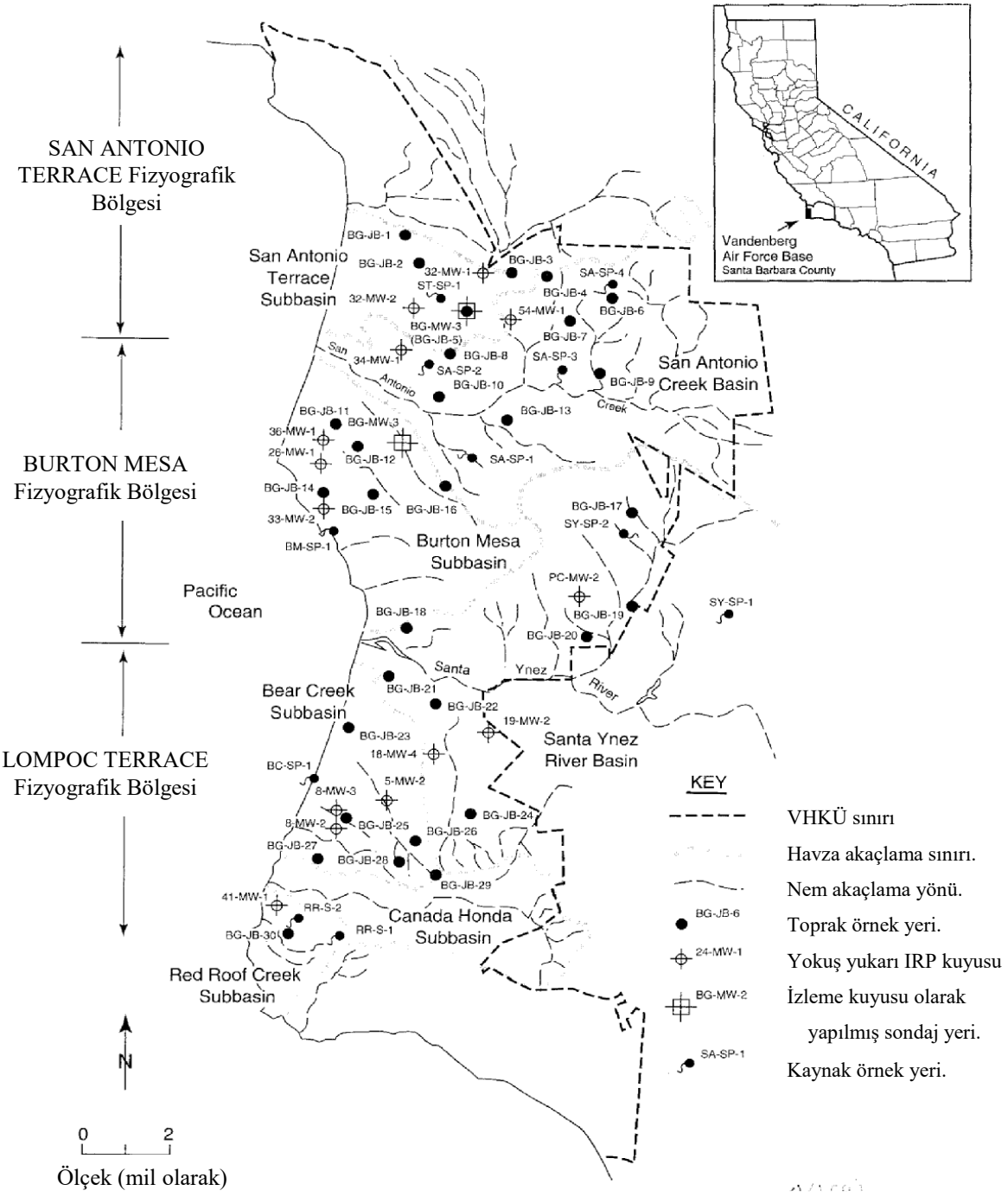
Örnek: Vanderberg Hava Kuvvetleri Üssü'nde (VHKÜ) örnekleme programı (Hasan, 1996). Kaliforniya'nın kıyılarında gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 399 $km^{2'}$ lik bir alan incelenmiştir. Bu bölge, çeşitli askeri ve sanayi işletmelerinin de olduğu bir yerdir (Şekil 10).

VKHÜ roket teknolojisinin geliştirilmesinde ve çeşitli roketlerin fırlatılmasında kullanılan bir üstür. Bu faaliyetler sırasında büyük oranda atık su ortaya çıkmakta ve alıcı ortama verilmektedir. Bu su da çeşitli metalleri de içermektedir. Atıklar sulardaki metaller toprağa ve yeraltı suyuna katılmıştır. Yaklaşık olarak 50 yerde kirlilik bulgularına rastlanılmıştır. Sıvı atıklar yayıldıkça metaller ve çevredeki diğer inorganik bileşenlerin derişimleri de artmıştır.

Sorunun boyutlarını ortaya koymak üzere örnekleme programı üssün jeolojik ve fizyografik konumlarına dayalı olarak hazırlanmıştır. Jeolojik birimler başlıca Miyosen yaşlı silisli şeyllerle Kuvaterner yaşlı pekişmemiş kum ve alüvyon ile temsil edilmektedir. Bu üs, üç farklı fizyografik bölge içermektedir. Ayrıca, yeraltı havzalarıyla ilişkili 7 akaçlama havzası vardır. Yeraltı suyunun en sığ olduğu birim, Kuvaterner yaşlı kumlar ya da alüvyonlardır.

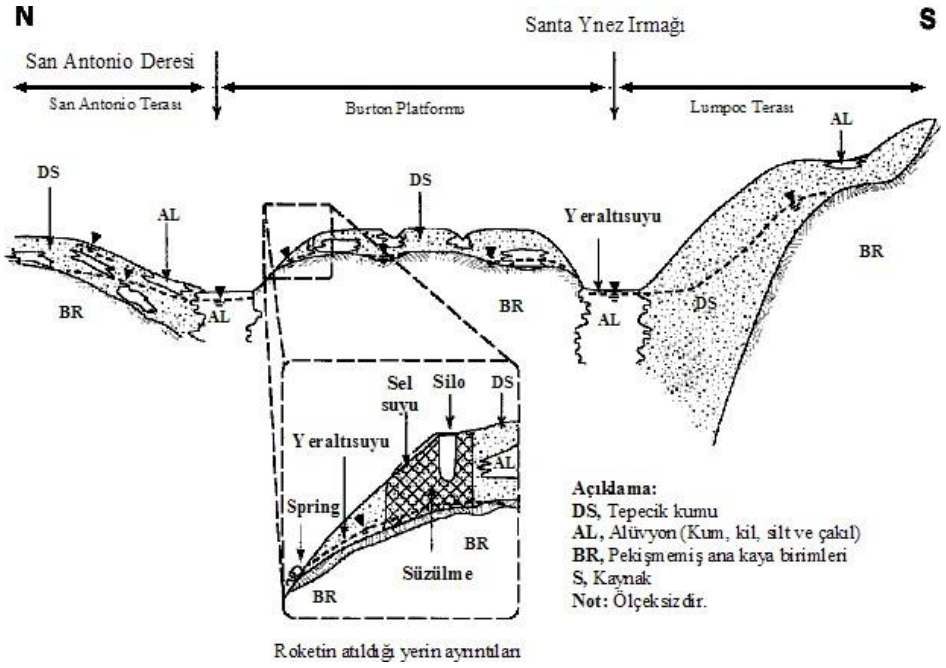
Her fizyografik bölgede yer alan jeolojik birimlerden yeterli sayıda örnek alınarak değerlendirme yapılmıştır. Temsili yeraltı örneklerinin alınmasında aşağıdaki faktörler gözetilmelidir:

- Hava fotoğrafları ve topoğrafik haritalar, geçmişteki arazi kullanımını ve bu kullanıma ilişkin kirliliği belirlemek üzere değerlendirilmelidir. Saha çalışmaları kirlenmiş ve kirlenmemiş bölgeleri birbirinden ayırt edecek şekilde planlanmalıdır. Kirliliğin belirlendiği bölgelerde örneklemeler tüm yamaçlarda yapılmalıdır.
- Örnekleme yerleri arasındaki mesafe, çıkan hidrokarbonların, kurşun ve diğer kirleticilerin potansiyelini ortaya koyacak bir aralıkta olmalıdır (61 m (200 ft) lik bir mesafenin yeterli olduğu kabul edilmektedir).
- Her üç fizyografik bölgede de örnek yerleri jeolojik birimlerin bulunduğu yerlere karşılık gelmelidir.



Şekil 10. Kaliforniya'daki Vanderberg Hava Kuvvetleri Üssü'nden (VHKÜ) alınan yeraltı su ve toprak örnekleme yerleri haritası (Hasan, 1996).

Örnek yerleri, her üç fizyografik bölgede yer alan jeolojik birimlerden seçilmelidir. Toprak örnekleri yüzeyde 30 m derinliğe kadar ki bir aralıktan alınmalıdır. En azından her fizyografik bölgede 10 sondaj yapılmalıdır. Örneklerde her üç jeolojik birimden (kum, alüvyon ve günlenmemiş ana kaya) alınmalıdır. Bu örneklerin yerleri hem haritalara işlenmeli hem de Şekil 11'de görülen türde kesitlere de yansıtılmalıdır. Su örnekleri ise kaynaklardan ve örnekleme programı sırasında yerleri belirlenmiş olan gözlem kuyularından alınmaktadır. Bu örneklerin her akaçlama havzasından alınması gerekir. Tüm örnekler alüminyum, arsenik, arsenik, antimon, baryum, berilyum, bor, kadmiyum, kalsiyum, florit, kurşun, gümüş, sodyum, sülfat, talyum, vanadyum ve çinko açısından analiz edilmelidir.



Şekil 11. Kaliforniya'daki VHKÜ'nün jeolojik enine kesitleri (Hasan, 1996).

Çizelge 4'da ise yeraltı suyu ve yer altındaki toprak ile yüzeydeki topraktan çeşitli amaçlarla alınan ve analizi yapılan örneklerin türü görülmektedir.

Çizelge 4. Analitik program (Hasan, 1996).

Örnek türü*	Metaller**	Ortak anyonlar[+]	pH (SW9045)	TOC (SW9060)	TDS (E160.1)	SVOCs (SW8270)	TPH (E418.1)	Diğer organik analizler[++]
Yüzeydeki toprak	X	X	X	X		X		
Yeraltındaki toprak	X	X	X					
Yeraltı suyu	X	X			X		X	X

* TOC= Toplam organik karbon SVOCs=Kısmen buharlaşan organik bileşenler. TDS=Toplam çözünmüş katılar. TPH=Toplam petrol hidrokarbonları.

** SW6010'a ek olarak örnekler antimon, arsenik, berilyum, toplam gümüş, selenyum için grafit atomik absorbsiyonla analiz edilmiştir. Civanın analizi ise SW 7471 yöntemi ile yapılmıştır.

[+] Toprak ve yeraltı su örnekleri E 300 yöntemi ile analiz edilmiştir. Klorit, nitrat-nitrit ve sülfat için bu metot kullanılmıştır. Florit için ise E 340 yöntemi kullanılmıştır.

[++] Yeraltı suyu örnekleri buharlaşan organik bileşikleri içeren (SW8260) kısmen buharlaşan organik bileşikler (SW8770) pestisitler ve hidrokarbonlar

Analitik sonuçlar ayrıntılı istatistiksel analizler ışığında yapılmalıdır. Bu analizler;

a) Yeraltı birimlerine göre yüzeyde yer alan birimlerin kirlilik derişim düzeyleri,

b) Pekişmemiş alüvyon ve kumlara göre ana kayada metallerin derişimleridir.

Bu da benzer jeolojik birimlerde belirlenmiş olan derişimleri karşılaştırma olanağı yaratır. Deponi alanındaki jeolojik birimlerde var olan çeşitli metaller ya da metal olmayanlara ilişkin eşik değerleri ortaya konulmuştur. Bir bölgedeki inorganik bileşenlerin eşik değerlerden daha yüksek olduğu durumlarda ilgili bölgenin kirlendiği düşünülür. Diğer taraftan eğer bir bölgedeki derişimler eşik değerlerden daha yüksek ise bu bölgenin kirlendiğinden kuşkulanılır ve çözüm getirmek üzere daha ayrıntılı araştırmalara başlanır. Böylece, kirlenmiş olan bölgeler kirlenmemiş olan bölgelerden ayırt edilip, çalışmaları sınırlandırıp daha fazla harcamaların önüne geçilebilir.

Hataların en alt düzeye indirilmesi ve örnekleme sırasında kalite denetimi

Terk edilen tehlikeli bir atık bölgesinde yapılan örnekleme sonucunda çok büyük ölçüde veri elde edilmektedir. Bir kalite denetim süreci hataların en alt düzeye indirilmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla bu süreç, aşağıdaki temel bilgileri içermektedir:

- Kullanılan örnekleme yöntemi(leri)
- Örnek türleri
- Saha ekibinin değerlendirmeleri
- Sağlıklı belgeleme (belgenin onaylanıp teslim edilmesi)
- Kayıtların doğruluğunun kontrolü
- Arazi ekibinin sağlıklı eğitimi

Örnek alma ve kayıt işlemleri için standart bir form oluşturulabilir. Bu form gereksinim duyulan analizlerin örnek türleri, su, hava, toprak, biyota, sanat yapıları, kullanılan örnekleme yöntemi, örneğin yeri, örneklemenin tarihi ve zamanı ve sorumlu kişilerin adını kapsamalıdır. Belgeleme formu karışıklıklara meydan vermemek için son derece önemlidir. Örnekler elden geçirildikçe kayıtlar düzgün tutulmalıdır. Örnekleme düzeni ile ilgili bir tutanak Çizelge 5'de sunulmuştur.

Çizelge 5. Örnekleme kayıt tutanağı (Hasan, 1996).

Proje:				**Örneği alan:**						
Gözlem numarası	**Gözlem yeri**	**Tarih**	**Saat**	**Örnek türü**					**Kap numarası**	**Gereksinim duyulan analizler**
				Su		**Hava**	**Toprak**			
				Comp. (C)	**Grab (G)**	**-**	**C**	**G**		
Devreden:			Alan:					Tarih:		Saat:
Devreden:			Alan:							
Devreden:			Alan:							
Devreden:			Alan:							
Devreden:			Alan:							
Devreden:			Alan:							
Yükleme yöntemi										

ÜLKEMİZDE DURUM

Günümüzde çevrenin korunması konusunda ülkemizdeki çalışmaları yürütmekle görevli ***Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na*** bağlı ***Çevresel Etki ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü*** ile ***Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün*** sorumlulukları büyüktür. Bu kurumların çeşitli türde atıklarının gerek işletme gerekse işletme sonrası terk edildiğinde dahi on yıllar boyunca sıkı sıkıya korunmasını ve denetimini sağlayacak şekilde önlemler alması gerekir. Oysa uygulamada gerekli duyarlılığın gösterilmediği açıktır.

Örneğin, tehlikeli atıkların korunması amacıyla inşa edilen atık barajlarının günümüz bilimsel ve teknik gereklerine uygun inşa edilmediği açıkça görülmektedir. Atık barajlarının inceleme ve projelendirme, inşa, izleme ve denetim süreçlerinde yaşanan zayıflıklar, Giresun Şebinkarahisar'da olduğu gibi büyük çevresel felaketlerin yaşanmasına neden olmaya devam etmektedir. Bu ve benzeri atıklar toplanıp başka yere taşınsa bile ağır metal ve zenginleştirme esnasında kullanılan kimyasallarla kirletilmiş binlerce ton toprak ve malzeme atmosferik etkiler altında Balıkesir-Balya, Çanakkale-Çan Kömür İşletmeleri veya Kıbrıs-Lefkede olduğu gibi on yıllarca, hatta yüz yıllarca ***Asit Kaya Drenajına*** neden olacaktır. Asit kaya drenajı ile yüzey, yeraltı suyu ile toprağımızın kirletilmesi on yıllar boyunca devam edebilir. Ayrıca, kirletilmiş suların toprakla doğrudan teması ya da besin zinciri yoluyla canlı yaşamın zehirlenmesi oluşabilir (JMO, 2021).

Marmara'da deniz salyası (müsilaj) sorunu devam etmektedir. Sorun büyük ve kısa sürede çözülecek gibi görülmemektedir. Sorunu çözmek için kapsamlı çalışmalara gereksinim var. Örneğin, kirliliğe neden olan etkinliklere ait arıtma tesislerinin güncel donanımlarla çalıştırılması gerekmektedir. Şimdiden gerekli önlemler alınsa bile Marmara Denizi ancak 10-15 yıl içinde kendine gelebilir.

Doğu Karadeniz bölgesi, önemli çevresel sorunların yaşandığı yerlerden biridir. Özellikle yayla, vadi, dere ve yol kenarlarına vahşi depolama yöntemleri ile biriktirilen çöpler, sel ve taşkınlarla Kara Deniz'e taşınmakta, bu da deniz kirliliğine yol açmaktadır. Bölgede yapılan deniz dibi kirlilik araştırmalarında sorunun boyutları yeterince bilinmektedir. Ayrıca vahşi depolama alanlarında organik atıkların bozulması, özellikle sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde kötü kokuya neden olmaktadır. Üstelik oluşan sızıntıların yer altı sularını kirletme riski de vardır.

Muğla-Marmaris'in en güzel koylarından Kızılbük'te inşaat devam eden Sinpaş GYO projesine tepkiler devam etmektedir. Dinamit patlatarak bölgedeki ekolojik yıkıma neden olan şirket, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na sunduğu proje tanıtım dosyasında, projenin 'çevresel bir yatırım olduğunu ve çevreye uyumlu mimari yapılar yapılacağını ileri sürmüştü. Günümüzde Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) uygulamaları da yalnızca bir formaliteden ibarettir. Yapılan yanlış uygulamaların yarattığı çığlıklar ise, ülkenin her tarafında duyulmaktadır.

Sonuç olarak, ülkemizin akarsuları, dereleri, denizleri, gölleri, vadileri, mağaraları, şelalaleri gibi zengin jeoçeşitliliğini oluşturan doğal varlıkları ile bunların üzerinde veya içinde gelişip yaşam bulan biyoçeşitliliğimiz dâhil tüm yaşam alanlarımız risk altındadır. Oysa yetkin bir yönetimle ve denetimle yerel çevresel sorunlar tümüyle çözülmese bile, minimize etmek mümkündür. Çünkü çevrenin korunmasına dair yeterli bir bilgi birikimi vardır.

KAYNAKLAR

AÇD, 2008. Atık Çerçeve Direktifi 2008-98-EC.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Alpaslan, M. N., 2005. Katı Atıkların Yönetimi. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir.

Benson, R.C., ve Yuhr, L.M., 1993. Application of Surface Geophysics to Site Characterization (Short Course Notes), Tapma, FL: Ohio Environmental Education Enterprises, 715 s.

Botkin, D.B. ve Keller, E.A., 1995. Enviromental Science, Earth As a Living Planet: Chapter 27, Waste Management, John Willey and Sons Inc., Newyork, s.550-571, 627s.
Cox, C.B., 1985. The Buried Threat, California Senate Office of Research, No. 115-5, USA.
Ekmekçi, M. ve Yazıcıgil, H., 2016, Türkiye' de hidrojeolojik amaçlı sondaj kuyularından sağlıklı veri elde etme sorunu. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016-ODTÜ KKM, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s. 41-42.
EPA, 1983. Interim Report on Data and Methods for Assessment of 2, 3, 7, 8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin Risk to Aquatic Life and Associated Wildlife, Duluth, Minn.: US Environmental Protection Agency (EPA), Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development.
EPA, 2015. Waste Classification, List of Waste and Determining if waste is Hazardous or Non-Hazardous, Valid from 1st June 2015, Environmental Protection Agency (EPA), USA, 55 s.
Gretsky, P., Barbour, R. ve Asimenios, G.S., 1990. Geophysics, pit surveys reduce uncertainty: Pollution Enginering, vol. 22, s. 102-108.
Hasan, S.E., 1996. Geology and Hazardous Waste Management, Chapter II, Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, Printed in the United States of America (USA), New Jersey, 387 s.

http://www.iha.com.tr/etiket-kati-atik, Erişim tarihi: 03.10.2017
http://www.mfa.gov.tr/tehlikeli-atiklar-ve-cevre.tr.mfa Erişim tarihi: 02.10.2017
http://www.sakarya.bel.tr, Erişim tarihi: 03.10.2017
http://www.tuik.gov.tr/ Erişim tarihi: 09.10.2017
https://www.ab.gov.tr/92.html Erişim tarihi:20.10.2017

JMO, 2021. Basına ve kamuoyuna: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı eliyle ülkemiz her gün yeni bir çevre felaketi ile karşı karşıya bırakılıyor, Ankara, 6 s.
Karagüzel, R., Mutlutürk, M., 2005, Katı Atık Depolamada Yer Seçimi: Isparta Örneği, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, s. 21 (19-33).
Karagüzel, R., Özçelik, H., Mutlutürk, M., Güldal, V., Tokgözlü, A., Beyhan, M., vd., 2003. Investigation report on site selection and environmental impact for solid waste of Manavgat–Antalya Municipality, Suleyman Demirel University, Turkey, unpublished report (pp 134).
Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 05.04.2005 tarih ve 25777 sayılı Resmî Gazete, Ankara.
Mc Kinney, M.L., Schoch, R.M. ve Yonnavjak, L., 2007, Environmental Science, Systems and Solutions, Forth Edition, Jones and Bartlett Publishers, Boston, USA, 642 s. Municipal Solid Waste and Hazardous Waste, Section 4 and Chapter 18, s.500- 535.
Özel, S., 2017. Bir Deponi Alanı Sızıntı Sularının Çevresel Etkilerinin Jeofizik ve Su Kimyası Yöntemleriyle İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), s. 113-124.
Schneider, W.J., 1970. Hydraulic Implications of Solid-Waste Disposal, US Geologial Survey Circular 601F, USA.
Strum, C. 1993. US Suspends Dredging Permit for Newark Bay, New York Times, s.B1, B4.
---------- 1993, From Port to 17 Fathoms, Views on Dredging Differ, New York Times, s.23-27.
---------- 1993, Limited Dredging Allowed in Newark Bay, New York Times, s.24.
Şengüler, İ. ve Yılmaz, H., 1994. Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Gazın (Deponi Gazı) Çevresel Etkileri ve Ekonomik Potansiyeli. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s. 62-66.
Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz, O., Taşkın, N., Akdağ, C. T. ve Elçi, H., 2012, İzmir metropol alanı için çoklu parametre tekniği kullanılarak CBS destekli katı atık depolama alanı yer seçimi. 65.Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s.148-149.
Şimsek, C, Elci A, Gunduz O, Taskin N. (2014). An improved landfill site screening procedure under NIMBY syndrome constraints, Landscape and Urban Planning 132 (2014)
Şimşek C, Gemici U., Filiz Ş 2008. An Assessment of Surficial Aquifer Vulnerability and Groundwater Pollution from a Hazardous Landfill Site, Torbali/Turkey, Geosciences Journal, 12; 69-82.
Şimşek, C., Karagüzel, R., Çelenk, A., Şener, Ş. ve Taşkın, N., 2017. Çevre Jeolojisi Çalıştayı, '3. Konu: Atık yönetiminde, deponi alanlarının yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve

çözüm önerileri' çalışma grubu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, s. 87-117.
Şimsek, C., Kincal, C. and Gunduz, O., 2006, A solid waste disposal site selection procedure based on groundwater vulnerability mapping. Environmental Geology, 49, 620-633.
Şimşek C, Yavuz AB, Elçi H, Elçi A ve Gündüz O (2011). Waste disposal on karstic terrain: a case study from the ancient marble quarries in Iznik (Nicaea), Turkey, Geosciences Journal, Vol. 15, No. 3, p. 339 – 348,
TBB, 2014. Düzenli Depolama Sahalarının Tasarımı, Yer Seçimi ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı. Türkiye Belediyeler Birliği Atık Komisyonu, Ankara, 12 s.
Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 25.01.2017 tarih ve 29959 Sayılı Resmî Gazete, Ankara.
Ujhara A.M. ve Gough, M., 1989. Managing Ash from Municipal Waste Incinerators in Resources for the Future, Center for Risk Managament.
US Army Corps of Engineers, 1989. Managing Dredged Material, New York District, New York: Author.
Vesilind, P. A., Morgan, S. M. ve Heine, L. G., 2012, Introduction to Environmental Engineering (Çeviri Editörü, İsmail Toröz; Çevre Mühendisliğine Giriş), Nobel yayınları, Ankara, 606 s.
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.
Yılmaz, A. ve Atmaca, E., 2006, Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: A case study in Sivas, Turkey, Environmental Geology, 50, 677-689.

Bölüm 15. TIBBİ JEOLOJİ

GENEL BİLGİLER

Tıbbi jeoloji, doğal jeolojik ortam ile bu ortamda yaşayan insanların, hayvanların ve bitkilerin sağlık sorunları arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilerin coğrafik dağılımını irdeleyen çok disiplinli bir ilgi alanıdır.

Tıbbi jeolojinin temel ilkeleri, iz elementlerin işlevi ile doz-tepki etkileri üzerinde yoğunlaşır. Söz konusu etkilerin çoğu, kirliliğe neden olan insan faaliyetlerinden bağımsız olarak ortaya çıkmaktadır. İz elementlerin ana kaynağı, kayalar ya da toprakta bulunan minerallerdir. İz elementlerin canlıların bünyesine girmesi, çeşitli yollarla olmaktadır. Sonuç olarak, yerel jeolojiye ve gelişen jeolojik süreçlere bağlı olarak iz element derişimleri insan bünyesinde ve çevrede değişebilir. Bu değişim, çevre ve insan sağlığını belirgin bir şekilde etkilemektedir. Günümüzde, hastalıkların oluşumunda, coğrafik farklılıklara dayalı bazı örnekler; yerel jeolojik ortamın özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Jeolojik faktörlere bağlı hastalıklara ilişkin bulgular da, Dünya'da ve Türkiye'de giderek artmaktadır.

Bazı minerallerin ve elementlerin yeryüzündeki dağılımı ve bunların insan sağlığı ile ilişkileri binlerce yıldan beri insanların ilgisini çekmektedir. Ancak çevre, sağlık ve kimi hastalıklar arasındaki ilişkilerin sistemli bir şekilde incelenmesinin tarihi yenidir. Bu alanda yapılan çalışmalar 1970'li yılların başında yoğunlaşmıştır (Shacklette ve diğerleri, 1970; Webb, 1971; Sauer ve Brand, 1971; Anderson, 1971; Cannon ve Hopps, 1970, 1971). Daha sonraki yıllarda çevre, jeoloji ve sağlık arasındaki çalışmalar da boy vermeye başlamıştır. 1990'lı yıllarda artık Tıbbi Jeoloji'nin Çevre Jeolojisi'nin ders kitaplarında da yer aldığı görülmektedir (Montgomery, 1995).

Konu gerçekten yeni olduğunda, tanıtım önemlidir. Her gün, yeni ilgi alanları ve bu alanların kavşağında yeni araştırma konuları boy vermektedir. Bu doğrultuda Tıbbi Jeoloji de gerçek yerini alacaktır. Ayrıca, 2003 yılında Sağlık Bakanlığı bünyesinde etkinliklerini sürdüren Ulusal Kanser Danışma Kurulu'na bağlı Tıbbi Jeoloji Alt Kurulu'nun kurulması önemli bir gelişmedir. Tıbbi Jeoloji, jeoloji mühendislerinin yanı sıra hekimlerin, veterinerlerin, biyologların ve konuyla ilgili diğer bilim adamlarının ilgi göstermeleriyle ve ortak çalışmalarıyla zenginleşecektir. Sunulan çalışma, ağırlıklı olarak Montgomery'nin (1995) eserinden esinlenerek derlenmiştir.

TIBBİ JEOLOJİNİN TEMEL İLKELERİ

Tıbbi jeolojinin temel ilkeleri, iz elementlerin işlevi, yayılımı ve canlılar üzerindeki etkilerinin yanı sıra iz elementlerin doz-tepki etkileri üzerinde yoğunlaşır. Dolayısıyla, iz elementler ile bu elementlerin doz-tepki eğrilerinin irdelenmesinde yarar görülmektedir.

İz elementler

Yerkabuğunun büyük bir bölümü, birkaç majör elementten oluşmaktadır. Bu elementler, insan bünyesinin % 99'unu oluşturmakta ve başlıca oksijen, karbon, hidrojen, azot, kalsiyum ve fosfordan oluşur (Çizelge 1). Gerçekte, insan bünyesinin % 60'ı sudur. Diğer elementler ise kayalarda olduğu gibi, insanda da çok az oranda bulunmakta ve ***iz elementler*** olarak tanımlanırlar.

İz elementler, 10 ile 100 ppm ya da daha düşük derişimlerde bulunurlar. Ancak, bunların yaşam ve sağlık açısından önemleri büyüktür. Dolayısıyla Tıbbi Jeoloji, doğada ve insanın bünyesinde iz elementlerin varlığı ya da yokluğunun etkilerini incelemeyi temel ilke edinmektedir.

Çizelge 1. İnsanın bünyesini oluşturan başlıca elementler ve bunların insanın ağırlığı açısından yüzdeleri (Parr, 1983). Kükürt, potasyum, sodyum ve klor gibi diğer elementler insanın ağırlığının % 0.9'unu oluşturur.

Element	İnsan ağırlığı açısından %
Oksijen	61
Karbon	23
Hidrojen	10
Azot	2.6
Kalsiyum	1.4
Fosfor	1.1
Toplam	99.1

Tıbbi jeoloji'nin gelişmesi bazı nedenlerden dolayı geç olmuştur. Çünkü öncelikle iz elementlerin ölçümü için oldukça duyarlı aletlerin gelişmesi gerekliydi. Ayrıca iz elementlerin her birinin insanda ve diğer organizmalardaki derişimlerinin ve bu derişimlerin de etkilerinin tanımlanması zorunluydu. Her bilgi, kendinden sonraki bilgiye bir temel oluşturur. Örneğin çiftçiler, önce azot, fosfor ve potasyumun bitkilerin büyümesinde gereksinin duyulan temel gıdalar olduğunu öğrendikten sonra, borun şeker pancarının gelişmesinde gereksinim duyulan bir iz element olduğunu kavramıştır. Demirin insan diyetindeki önemi 17.yy'dan beri bilinmektedir. Ancak Çizelge 2'de sunulan bazı iz elementlerin tanımlanması ve işlevleri son yirmi yıl içinde anlaşılmıştır (Parr, 1983).

Çizelge 2. İnsanın bünyesinde yer alan bazı temel iz elementler (Parr, 1983). *İşaretli olanlar, hayvanlarda yapılan testlerin sonuçlarına dayalıdır.

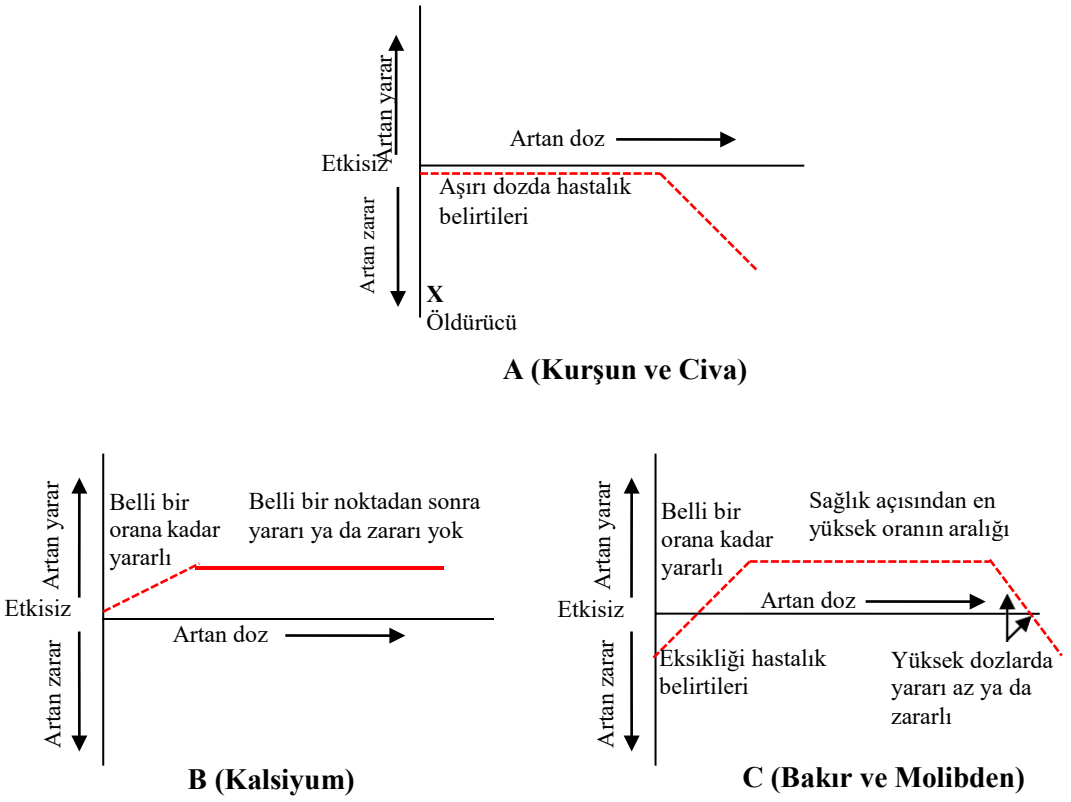
Element	Ortalama derişim (ppm)	Tanımlandığı yıl	İşlevi	İnsanda eksikliği halinde oluşan bazı etkiler
Demir	60	17. yy	Oksijenin taşınması	Kansızlık
İyot	0.2	1850	Tiroit bileşeni	Guatr
Bakır	1	1928	Bazı enzimlerde demirle birleşir	Kansızlık, kemik değişimi olası yüksek kolesterol
Mangan	0.2	1931	Metabolizma ile ilişkili	Bilinmiyor
Çinko	33	1934	Metabolizma ile ilişkili	Depresyon, yavaş iyileşme
Kobalt	0.02	1935	B_{12} vitamininde	B_{12}'nin eksikliğinde görülür
Molibden	0.1	1953	Bazı enzimlerde	Bilinmiyor
Selenyum		1957	Enzimlerde ağır metalle etkileşir	Kalp hastalığı
Krom	0.03	1959	İnsulin içerir	İnsulin direnci, düşük glikoz tahammülü
Kalay	0.2	1970	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Vanadyum		1971	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Flor	37	1971	Kemik ve diş gelişiminde etkili	Diş çürümesi ve kemikleşme sorunları
Silisyum	260	1972	Dokularda kireçlenme	Bilinmiyor
Nikel	0.1	1976	Demir absorpsiyonu ile etkileşir	Bilinmiyor
Arsenik	18	1977	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Kadmiyum	0.7	1977	Bilinmiyor	Bilinmiyor

İz elementlerin çok sayıda olması ve farklı organizmalardaki değişik etkileri, bunların işlevlerinin tanımlanmasını da güçleştirmektedir. Diğer bir sorun da aynı elementin farklı derişimlerde çok farklı etkiler göstermesidir. Bu, çoğu ilaçların kullanımında ortaya çıkan bir olgudur. Örneğin, yöksük otunda bulunan dijitalin ilacı düşük derişimlerde kalıp hastalıklarının iyileşmesinde olumlu sonuçlar vermektedir. Ancak, yüksek dozda insulinin alınmasının öldürücü etkiler yarattığı da bilinmektedir. Dolayısıyla bir salataya oldukça bol oranda yöksük otunun doğranması tavsiye edilmez.

Doz-tepki eğrileri

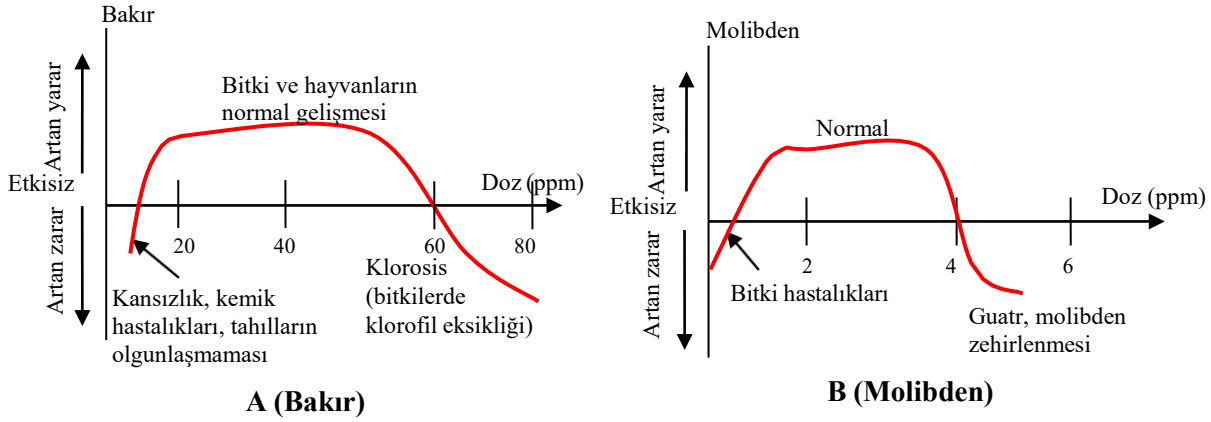
16. yy' da yaşamış olan ve çağdaş tıbbın kurucusu sayılanlardan biri sayılan ***Paracelcus***'un 'Her şey zehirdir. Zehirle ilacı ayıran dozudur.' sözü toksikolojinin temeli olan doz-tepki ilişkisine dikkat çekmektedir.

İz elementlerin olumlu ya da olumsuz etkileri, iz elementlerin dozunun bir işlevi olarak, ***doz-tepki eğrileri*** çerçevesinde tanımlanabilir. Bu eğrilere ilişkin birkaç örnek Şekil 1 A, B ve C' de görülmektedir. Şekil 1A' da sunulan örnek, düşük derişimlerde yararlı ya da zararlı etkileri görülmeyen, ancak yüksek derişimlerde ve yüksek dozda iken öldürücü olan bir elementi temsil etmektedir. Kurşun ve cıva bu tür iz elementlere örnek olarak verilebilir. Şekil 1B'de sunulan örnek, eksikliğinden kaçınılması gereken, belli bir doza kadar yararı artan, ancak yüksek düzeylerde tüketilmesinin belli bir yararı ya da zararı olmayan bir elementi temsil etmektedir.



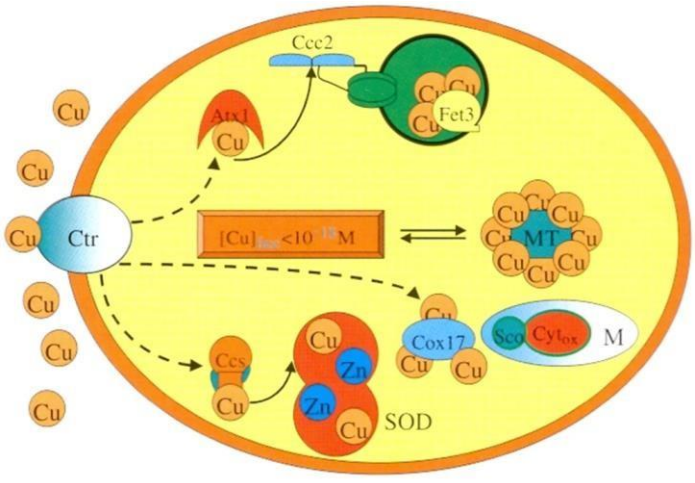
Şekil 1. Bazı elementlerin olası doz-tepki eğrileri. A, gereksinimi bilinmeyen ancak yüksek derişimlerde zehirli. B, belli bir orana kadar yararlı, yüksek dozlarda ise etkisi bilinmiyor. C, düşük dozda gerekli, yüksek dozda ise zehirlidir (Montgomery, 1995).

Örneğin kalsiyum da buna örnek verilebilir. Kalsiyum, kemiklerin ve dişlerin gelişiminde gerekli olan, ancak fazla alınmasında yararı olmayan bir elementtir. Şekil 1C'de sunulan örnek ise Çizelge 2'de sunulan temel iz elementler arasında en yaygın olan, az miktarda alınması sağlık açısından gerekli olan, ancak fazla dozda alınması zehirli ve öldürücü olan bir elementtir. Şekil 2'de sunulan bakır ve molibden doz-tepki eğrileri buna örnek verilebilir (Montgomery, 1995).

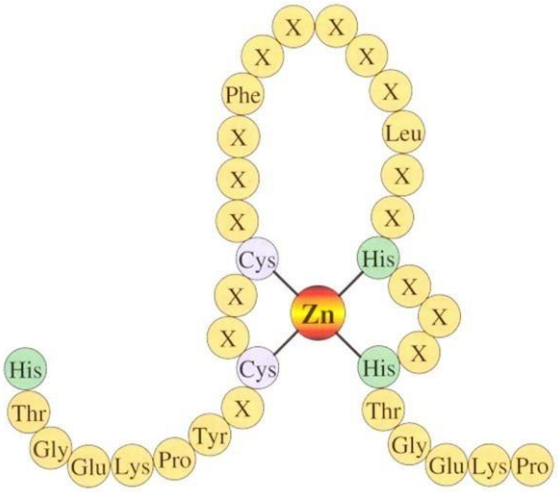


Şekil 2. Bitkiler ve hayvanlarda oluşan tepkiler, A bakır için B molibden için doz-tepki eğrileri (Montgomery, 1995).

İz elementlerin akışı ve dokulardaki işlevleri de son derece önemlidir. Şekil 3'de bir hücrede Bakır yerleşiminin şematik görünümü izlenmektedir. Bakır hangi yapılarla tepkimeye girmesi kolaysa oraya doğru seyreder. Şekil 4'de ise çinkonun bir protein zincirindeki konumu izlenmektedir. Çinko parmak yapısı olarak tanımlanan bu zincirde, çinko görünürdeki konumunda yer alırsa sağlık açısından bir sorun ortaya çıkmaz. Aksi halde zincir çözünür.



Şekil 3. Bir hücrede bakır yerleşiminin şematik görünümü (Selinus ve diğerleri, 2005).

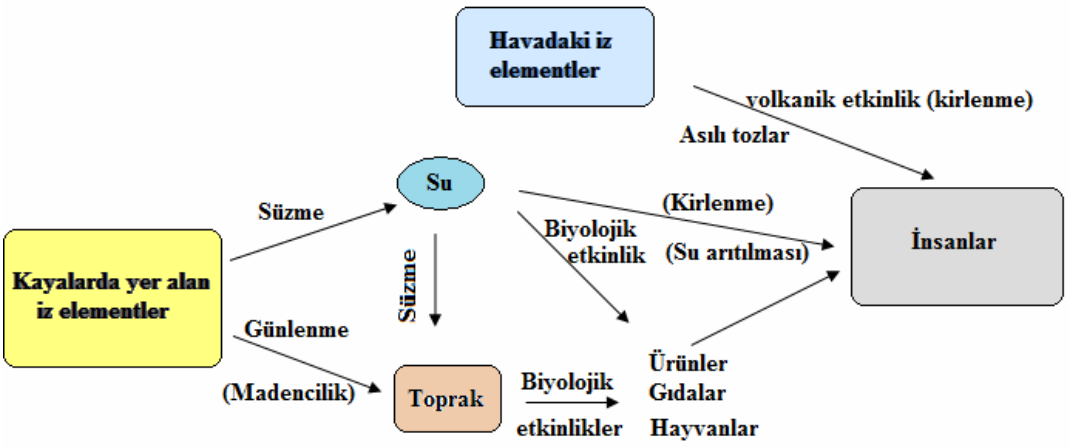


Şekil 4. Çinko parmağının genel yapısı (Selinus ve diğerleri, 2005).

İnsanlara yönelik olarak hazırlanmış bazı iz elementlerin doz-tepki eğrileri vardır. Bu eğrilere dair sınırlarla ilgili sorunlar, daha çok iz elementlerin etkilerini belirlemede ortaya çıkan güçlüklerden ve ortalama temsili bireylerin bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Bitki ve hayvanlardan elde edilen sonuçları ise insanlara uyarlamak güçtür. Dolayısıyla farklı bireyler ya da farklı yaş grupları için bu eğrilerin ayrı ayrı hazırlanması ya da özel bir popülasyona dayandırılarak yapılması daha gerçekçi olur. Aksi halde varılan sonuç sadece bir ortalamayı yansıtır.

JEOLOJİ, İZ ELEMENTLER VE SAĞLIK

İnsanların bünyesinde yer alan iz elementlerin ana kaynağı yeryüzünde bulunan kayalardır. İz elementlerin kayalardan insanın bünyesine girmesine kadarki süreçler ve izlediği yol Şekil 5'de görülmektedir. Kayalarda yer alan iz elementlerin derişimleri, kaya türüne ve kayatürünün bulunduğu yere göre değişmektedir. Bu değişim, iz elementlerin insan bünyesine ulaşmasını denetlemektedir (Çizelge 3).



Şekil 5. İz elementlerin insan bünyesine girmesine kadar gelişen süreçler ve izlenen yollar. İnsan faaliyetleri parantez içinde yer almaktadır (Montgomery, 1995).

Çizelge 3. Bazı kayatürlerinin bileşiminde görülen farklılıklar (Brownlow, 1979; Englewood ve Krauskopf, 1979; Mason ve Moore, 1982). * Veriler majör elementlere ve az oranda bulunan bazı elementlere ilişkindir.

Kaya türlerinin bileşiminde görülen farklılıklar					
	Ortalama bileşim				
Element	Granit	Bazalt	Kumtaşı	Şeyl	Kireçtaşı
Silisyum %	32.3	24.0	36.5	27.1	2.4
Alüminyum %	7.7	8.8	3.0	9.7	0.5
Demir %	2.7	8.6	1.0	4.7	0.4
Magnezyum %	0.6	4.5	0.7	1.5	4.8
Kalsiyum %	1.6	6.7	3.9	2.2	30.0
Sodyum %	2.8	1.9	0.3	1.0	0.04
Potasyum %	3.3	0.8	1.1	2.7	0.3
Titanyum (ppm)	2.300	9.000	4.600	1.500	400
Fosfor (ppm)	700	1.400	750	170	400
Mangan	600	2.000	850	10–100	1.100
Krom	25	200	100	35	11
Bakır	20	100	50	1–10	4
Kurşun	20	8	20	7	9
Nikel	8	160	80	2	20
Kobalt	5	45	20	0.3	0.1

İz element derişimleri doğal süreçlerle ya da insan faaliyetleri sonucu değişmektedir. Kayalar, günlenme sonucu toprağa dönüşür ve bazı bileşenler arasındaki bağlar zayıfladığından önce küçük parçalara ayrılır, sonra da taşınabilirler. Toprak, süzme sonucu bazı elementleri yitirebilir ya da tarım ilaçları ve kirleticiler nedeniyle toprağa bazı elementler katılabilir. Bitkiler, gelişmek için gereksinim duydukları bazı elementleri topraktan alır.

Otobur hayvanlar da bitkilerden beslendiği için, bitkilerde bulunan iz elementleri de kendi bünyelerine aktarırlar. Ortaya çıkan bu beslenme zinciri, et obur hayvanlara ve nihayet insana kadar uzanır. İçilen su, kayalardan ya da topraklardan süzülen iz elementleri içermekte ve dolayısıyla suyun bileşimi değişmektedir. Solunan hava da, volkanik süreçler yada insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan bazı iz elementleri içermektedir.

Jeolojik süreçlere ek olarak, diyet seçenekleri ve yapay kirlenme gibi ***kültürel faktörler*** de elementlerin insanın bünyesine geçmesini ve yoğunlaşmasını etkilemektedir. Buna ilişkin geçmişe ait ya da günümüzde pek çok örnek verilebilir. Örneğin, Eski Roma aristokratlarının kurşun içeren kozmetikler ve kurşunlu borulardan geçen suları kullandıkları bilinmektedir. Dolayısıyla Roma İmparatorluğu'nun çöküşünde yaygın kurşun zehirlenmesinin kısmen de olsa bir payı olduğu ileri sürülmektedir (Montgomery, 1995).

Son yüzyıllarda, jeolojinin insan sağlığıyla ilişkisi olduğuna dair yaklaşım, coğrafik karşılaştırmalardan ortaya çıkmıştır. Her coğrafik bölgenin kendine özgü bir kayatürü vardır. Örneğin, Kentucky ve İrlanda'da kireçtaşları oldukça yaygındır. Kemikleri güçlendiren kalsiyumun bu topraklarda yetişen çimenlere, suya ve ardından çimenlerle beslenen atlara geçtiği kabul edilmektedir. Dolayısıyla güçlü ve ünlü atların bu bölgede yetişmesinin bir rastlantı olmadığı ileri sürülmektedir.

Öte yandan bazı hastalıkların, sadece bazı coğrafik bölgelerle sınırlı olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla kayaların ya da toprağın bileşimleri ile bazı hastalıkların coğrafik dağılımları arasındaki ilişkilerin irdelenmesi zorunlu görülmektedir. Bu çerçevede bazı iz elementlerin öncelikle sağlıkla olan bağları ortaya konulmalıdır. Aşağıda önemli bazı elementlerle ilgili bilgiler sunulmuştur:

İyot (I)

İyot, tiroit bezinin iyi çalışması için gereklidir. İyot eksikliği, tiroidin büyümesine ve guatr olarak bilinen bir hastalığa yol açar. Son yüzyıla kadar, sadece guatrın özellikle ABD'nin kuzey yarısında ve ***guvatr kuşağı*** olarak tanımlanan bir alanda yaygın olduğu bilinmekteydi. Daha sonra yapılan analizler, bu bölgedeki kayaların ve toprağın iyot açısından fakirliğini ve dolayısıyla yöredeki ekinlerde ve hatta diğer hayvanlarda da iyot yetersizliğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, hazırlanan diyetlere iyot eklendiğinde guatr hastalığının da giderek azaldığı anlaşılmıştır.

Öte yandan, gereksinim belirlendikten sonra, iyodu diyete eklemek zor değildir. Tuzlu su balıkları, iyodun çözünmüş olarak bulunduğu tuzlu okyanuslarda yaşamaları dolayısıyla doğal olarak iyot açısından zengin bir yapıdadırlar. Ayrıca yaklaşık 50 yıldan beri, sodyum klorüre az oranda sodyum iyodür ya da potasyum iyodürü katarak iyotça zengin bir sofra tuzunu üretme alışkanlığı vardır. İyotça zengin tuzun kullanımı, diğer özel diyet önlemlerini almadan guatrın iyileşmesini sağlamaktadır.

Toprağın ya da kayaların bileşimi ile guatr arasındaki bölgesel coğrafik (yani kaya türlerinin jeolojik yayılımı) bağ, halkın yerel gıdalarla beslendiği dönemde oldukça açıktı. Günümüzde ise gıda sektörünün gelişmesi ve insanların gereksinim duyduğunda uzak bölgelerden de çeşitli gıdaları pazarlayabilmeleri nedeniyle, toprak kimyası ile sağlık arasındaki ilişkiyi izlemek bir hayli güç olmaktadır.

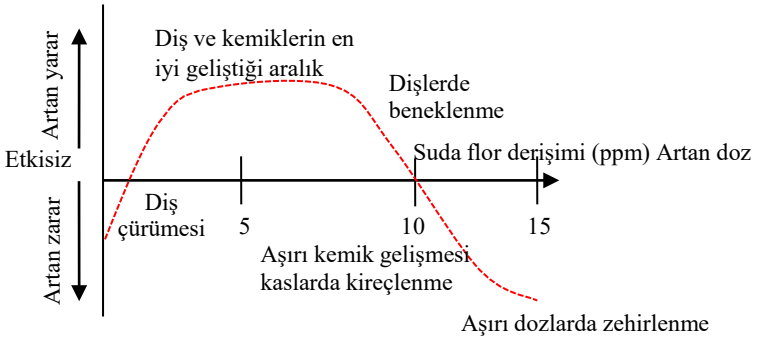
İnsanın günlük iyot gereksiniminin yaklaşık 100-150 µg olduğu kabul edilmektedir. Bu dozun fazlasının da Şekil 1C'de görüldüğü gibi metabolizmanın işleyişi açısından bazı sorunlar yaratacağı bilinmektedir.

Flor (F)

Toprak kimyası gibi su kimyası da sağlığı etkileyebilir. Suyun içinde çözünmüş olarak bulunan flor ile sağlık arasındaki olumlu bir ilişki de florun diş çürümeleri üzerindeki etkisi dolayısıyla belirlenmiştir. Dişler, kalsiyum fosfat minerali apatitten oluşmaktadır. Biraz florun apatit kristallerine eklenmesi, apatitin çürümelere karşı daha dayanıklı bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır. Bu olgu da, diş çürümelerinin dolayısıyla flor eksikliğinin yaygın olduğu bazı bölgelerin belirlenmesi ile anlaşılmıştır.

Flor, yerkabuğunda yaklaşık birkaç yüz ppm derişime sahip bir oranda bulunmaktadır. Florun doğal sulardaki derişimi ise çok daha düşük olup, birkaç ppm dolayındadır. Böyle olmakla beraber, flor diş çürümesi istatistiklerinde belirgin farklı bir yapı göstermektedir. 1,5 ppm düzeyindeki flor derişimine sahip içme sularını kullanan insanların diş çürümesinde belirgin bir azalma görülmektedir. Bu da tüketilen bir litre suda 1,5 mg florun varlığına karşılık gelmektedir. Zaten insanın günlük flor gereksinimi de 0,3-5 mg arasında değişmektedir. Flor, yaşlanma ile birlikte görülen kemik kaybı gibi olguların azalmasını da denetlemektedir.

Flor çeşitli bileşiklerle beraber bulunur. Doğal suların yüksek oranda flor içerdiği yerlerde, flor normal dozun birkaç katı oranında tüketildiği durumlar da vardır. Yani aşırı dozda florun kullanıldığı durumlarda dişler koyu renkli benekli bir yapı kazanırlar. Bu yapı, bir görünümden ibaret olup, aslında dişlerin yapısında bir zayıflama meydana gelmez. Ancak çok aşırı düzeyde florun alınması, aşırı kemik oluşumuna bu da kaslarda kireçlenmeye yol açar. Florun doz-tepki eğrisi Şekil 6'da görülmektedir. Türkiye'de genç volkanik kayaların yaygın olduğu yerlerde florun yüksek derişimlere ulaştığı, bunun da diş, iskelet ve ***endemik florozis*** denilen hastalıklara yol açtığı bilinmektedir (Oruç, 2003).



Şekil 6. Florun genelleştirilmiş doz-tepki eğrisi (Montgomery, 1995).

Doğal flor derişimlerinin düşük olduğu yerlerde, dişlerin çürümesini önlemek için halkın kullandığı sulara flor da katılmaktadır. Ayrıca florun oldukça yüksek dozlarda olması, insanlar için zehirli etki yaratabilir. Florun yararlı ve zararlı dozları arasındaki farkın büyük olması da kaygı vericidir. Florlama ile suda sağlanan olağan derişim, 1 ppm (litrede 1 mg) dolayındadır. Flor öldürücü dozu 4 g (4000 mg) kadardır. Florlanmış içme suyu ile böyle bir derişime ulaşmak için, bir kişinin günde 4000 L (1000 galon) su içmesi gerekir. Buna göre, flor diğer ağır metaller gibi insanın bünyesinde öldürücü bir derişime ulaşması mümkün değildir. Hatta kemik sertleşmesine (bone sclerosis) yol açan günlük 20 mg flor derişimi için, en azından belli bir sürede her gün 20 L (5 galon) suyun tüketilmesi bile zordur.

Çinko (Zn)

Çinko, 1930'lu yıllardan beri kritik bir iz element besini olarak bilinen ağır metallerden biridir. Çinko eksikliği cücelik, cilt hastalıkları, tat alma duyusunda azalma, yaraların iyileşmesinin gecikmesi gibi sorunlara yol açmaktadır. En uygun çinko tüketimi günde 5-40 mg aralığındadır. Günde 150 mg'ın üzerinde çinko tüketimi kansızlığa, 6000 mg'dan daha fazla bir dozun alınması ise ölüme yol açar. Dolayısıyla çinko fazlalığı da tehlikeli olup, kalp-damar hastalıklarına yol açmaktadır.

Çinko, yer kabuğunda ortalama 70 ppm dolayında bir derişime sahiptir. Ancak, kaya türleri çinko içeriği açısından büyük farklılıklar göstermektedir. Genellikle, kalsiyum karbonatça zengin ve çinko içeriği düşük olan kumtaşlarında yetişen bitkiler çinko açısından fakirdir. Yani bölgesel çinko yetersizliği ile yerel jeoloji arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Ancak, gıda sektöründe bölgeler arası ticaret sonucu gıdaların yer değiştirerek hizmete sunulması bu ilişkinin ortaya konulmasını güçleştirmektedir.

Selenyum (Se)

Selenyumun oldukça nadir bulunan bir metal olması dolayısıyla daha çok eksikliğinin etkileri irdelenmiştir. Toprakta ve kayalarda ortalama selenyum derişimi milyonda bir ile on arasında değişir. İnsanın günlük gereksinimi ise 0,006-0,2 mg arasındadır. Selenyum eksikliği çoğu bitkilerde ve hayvanlarda çeşitli anormalliklere yol açmaktadır. İnsan üzerindeki etkileri ise selenyumca fakir toprakların bulunduğu Çin'in Keşan bölgesinde irdelenmiştir. Diğer taraftan selenyumun günde 5 mg'dan daha fazla alınması durumunda selenyum zehirlenmesi olmaktadır. Bu da insanda kanser, tırnak ve saçların bozulması (malformation), sinirlilik gibi rahatsızlıklara yol açmaktadır.

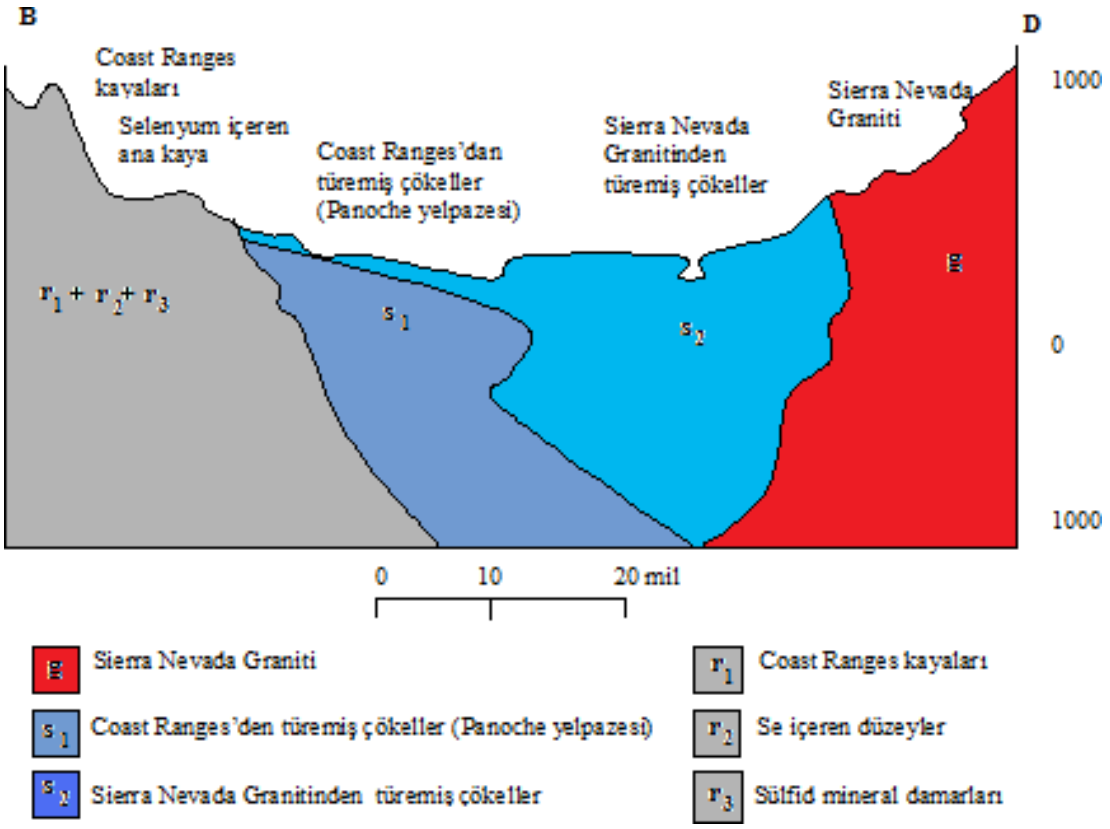
Her bitkinin selenyumu bünyesine alması ve biriktirmesi farklıdır. Örneğin, ABD'nin batısında ***locoweed*** olarak bilinen bir tür zehirli bitki türü (Astragalus) selenyumu daha çok bünyesinde biriktirebilmektedir. Kabak, hardal ve soğan da selenyumu bünyelerine kolaylıkla almaktadır. Genellikle çözünmüş selenyumun yüksek düzeyde olduğu yerlerde yetişen bitkilerin çoğu selenyumu bünyesine almaktadır. Böyle yerlerde yetişen evcil hayvanların büyük bir bölümü hastalanmaktadır. Bu gibi

durumlarda hükümetlerin müdahale etmesi ve beliren sorunları gözeterek bir tarım politikası izlemesi gerekmektedir.

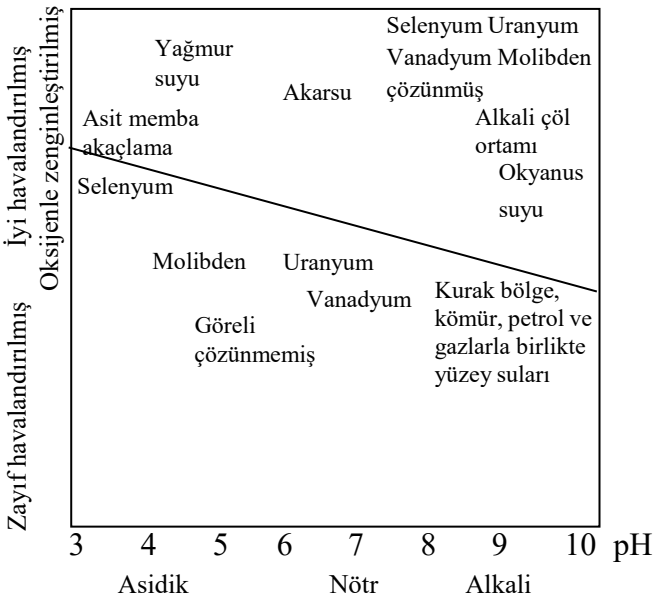
Selenyum, Hawaii'de olduğu gibi volkanik kayalarda ya da bu kayalardan türemiş toprakların yanı sıra kükürtçe zengin bazı şeyllerde daha çok bulunur. Ayrıca, selenyum topraktan kolaylıkla süzülmektedir. Böyle durumlarda, sular kirlenerek bu sulardan beslenen hayvanlar hastalanmaktadır.

ABD'nin San Joaquin Valley-Kesterson bölgesindeki şeylerden türeyen toprakların (Şekil 7) doğal olarak selenyum açısından zengin olduğu, ancak kuru iklimin hüküm sürdüğü bu bölgede selenyumun göreli olarak çözünmeden kaldığı belirlenmiştir (Şekil 8). Ancak daha sonra sel ve taşkınlarla çeşitli gölcüklerin oluşmasından sonra, selenyum çözünerek yöredeki yaşamı olumsuz yönde etkilemiştir. Selenyum da diğer ağır metaller gibi, besin zinciri yoluyla tüm yaşamı etkilemektedir (USGS, 1985; Feder, 1985).

Örneğin, Kesterson'un sularında selenyum derişimi arttıktan sonra kuşlarda da selenyum zehirlenmesi gözlenmiştir. Bilindiği gibi besin zinciri, gölcüklerdeki alglerden böceklere, balıklara ve kuşlara doğru bir yol izler.



Şekil 7. San Joaquin Valley'ın yalınlaştırılmış enine kesiti. Selenyum'ca (Se) zengin çökeller ve toprak($\mathbf{s_1}$), Coast Ranges çökellerinden türemiştir (USGS, 1985).



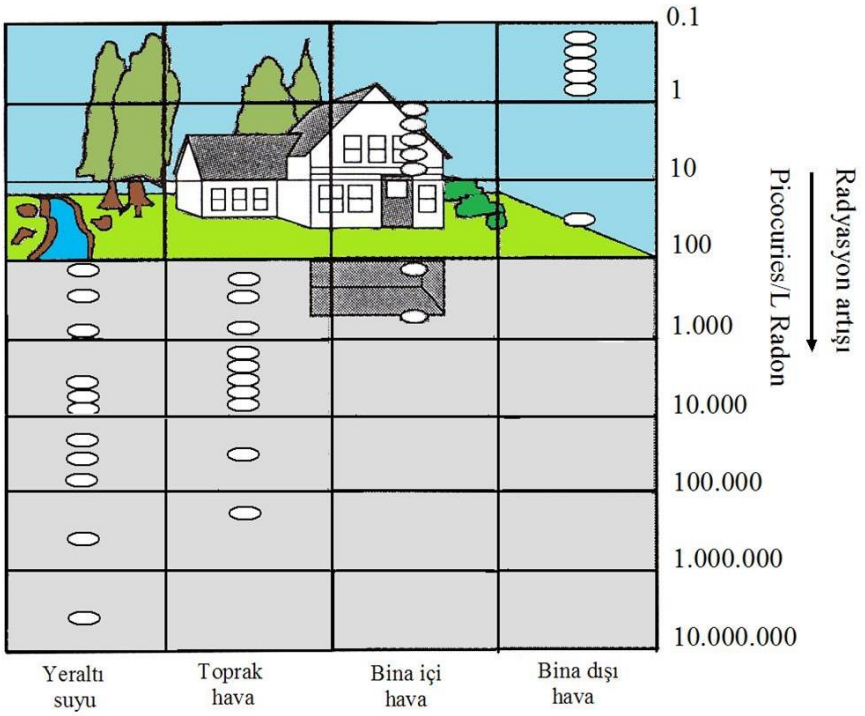
Şekil 8. pH ve ortamda oksijenin varlığına bağlı olarak selenyumla birlikte uranyum, molibden ve vanadyum gibi elementlerin çözünürlülüğü. Bu elementler, kurak bölgelerde normal olarak kuru alkali topraklarda suda oldukça kolay çözünürler (Feder, 1985).

Radon (Ra)

Bina içi bir kirletici olan radon, kayalardaki uranyumla birlikte bölgesel jeolojinin denetiminde bir yayılım sunar. Yüksek uranyum içeriğine sahip kayalar başlıca granitler, silisçe zengin volkanik kayalar, fosfatça zengin çökel kayalar, kükürtçe zengin şeyler ve bazı metamorfik kayalar olup, bunlar radon yönüyle de zengin bir içeriğe sahiptirler.

Radyoaktif gereçler, küri (curies) birimiyle tanımlanırlar. Bir küri, saf bir gram radyumun yarattığı etkinliktir. Bu birim, radyumu keşfeden Marie Curie'nin adına izafeten tanımlanmıştır. Bir küri, saniyede 37 milyar bölünmeye karşılık gelir. Bu da çok yüksek bir radyasyon düzeyidir. Çevredeki radyasyon düzeyleri pikoküri ile ölçülür. 1 pikoküri, kürinin milyarda birini temsil etmektedir. Bu da saniyede 0,037 bölünmeye yada saatte 133 radyoaktif bölünmeye karşılık gelir. Şekil, 9'da çeşitli ortamlarda radon etkinliği tanımlanmıştır.

Radonun kanserojen etkileri, uranyum madenlerinin bulunduğu yüksek radyasyona sahip yerlerdeki insanlarda tanımlanmıştır. Yüksek radyasyona sahip jeolojik ortamlarda ya da radyasyon derişimi yüksek yapılarda yaşayan insanların daha yüksek bir risk altında oldukları yadsınamaz.



Şekil 9. Çeşitli ortamlarda radon dolayısıyla meydana gelen radyoaktivite düzeyleri. Radyoaktivitenin 10'un katlarıyla arttığına ve dolayısıyla evlerdeki radyasyonun dışarıdaki radyasyona göre 100'lerce kat yüksek olabileceğine dikkat edelim (Montgomery, 1995).

Bölgesel karşılaştırmaların yapılmadığı durumlar da vardır. Kimi kayalarda, toprakta ve nihayet Evlerde radon gazı düzeylerine ilişkin veriler yaklaşık olarak bilinmektedir. Fakat bu mekânlarda şimdiye değin akciğer kanserinin oluşumunda radon gazının belirleyici olup olmadığı ortaya koyulamamıştır. Çünkü sigaranın içilmesi gibi akciğer kanserini tetikleyen alışkanlıklar, mekânların konumundan ileri gelen faktörleri maskelemektedir.

Döteryum (D_2O)

Ya da ağır su (D_2O), nükleer reaktörlerde kullanılan hidrojen yerine, ağır hidrojen (***döteryum***) izotopuna sahip yoğunluğu yüksek sudur.

Döteryum, insanlarda, hayvanlarda ve bitkilerde hücrenin normal büyümesi için gereklidir. Doğal içme sularının döteryum konsantrasyonu coğrafi farklılıklara göre bölgeden bölgeye değişmekte, bu da vücut sıvılarındaki döteryum konsantrasyonunu etkilemektedir. Döteryum konsantrasyonundaki hafif bir artış büyümeyi uyarmakta, döteryum konsantrasyonundaki azalma ise hücre çoğalmasını engellemekte, programlanmış hücre ölümünü uyarmaktadır (Yarat, 2016).

ÇEVRE SAĞLIĞI

Uzun zamandan beri, çevre koşullarının insanın beden ve ruh sağlığı üzerinde olumlu yada olumsuz etkiler yaptığı bilinmektedir. Çevre, canlıların yaşamını sürdürdüğü fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toplumsal koşulların denetimi altındadır. Hava, su ve toprak kirliliği, çevreyi olumsuz yönde etkileyen koşulları yaratır. İnsanın ve diğer canlıların (yani flora ve faunanın) sağlığını bir bütün olarak irdeleyen çalışmalar "***Çevre sağlığı***" olarak tanımlanır. Çevre Sağlığı ile ilgili altyapı oluşturulmadan, hekimliğin bir dalı olan "Halk Sağlığı"nın koşulları sağlanamaz.

Çevre sağlığı, çevreyi ve insanı birlikte koruyucu uygulamalar olup bu uygulamalardan bazıları aşağıda sunulmuştur (Güler ve Çobanoğlu, 1999):

1. Hastalıklara yol açan kimyasalları denetim altına almak ve radyasyon gibi etmenleri en alt düzeye indirmek,
2. Tehlikeli ve evsel atıkların uzaklaştırılması ve bu atıkların çevre üzerinde yaratabileceği kirlilikleri denetlemek,
3. Hastalıkların çevrede yayılmasını önlemek üzere, hastalık taşıyıcı haşerelerle ve bulaşıcı hastalıklarla çevrenin bütünselliği içinde mücadele etmek,
4. Sağlıklı bir çevrenin oluşması, düzenli beslenme ve çeşitli kimyasalların canlılar üzerindeki doz-tepki ilişkileri konularında çalışmalar yapmak gerekir.

TARTIŞMALI BAZI İLİŞKİLER

Özel kimyasal maddelerin eksikliği yada hastalık belirtileri tanımlanabildiğinden jeokimya ile hastalıklar arasındaki ilişkiler daha iyi ve güvenilir verilere dayalı çabalar olacaktır. Bu çerçevede aşağıda sunulan bazı konuların tartışılmasında yarar görülmektedir.

Radyoaktivite ve sigara

Sigaranın içilmesiyle birlikte akciğer kanserinde bir artış olmuştur. Son zamanlarda jeolojik kökene ilişkin bazı unsurların da sorumluluğu tartışılmaktadır. Örneğin fosfatlı gübreler ve bu gübrelerin uranyum ve fosfat içerikleri nedeniyle toprağın bileşimi değişmektedir. Uranyumun bir ayrışma ürünü de radon gazıdır. Dolayısıyla topraktaki radon gazının çıkışıyla birlikte, toprağın üzerinde yetişen tütün bitkisinin yaprakları tarafından adsorbe edildiği ve böylece radon ayrışırken kurşun ve bizmut izotoplarını da içeren katı radyoaktif ürünlere dönüştüğü ileri sürülmektedir. Radyoaktif partiküller de sigaranın içilmesi sırasında ciğerlere yerleşmekte ve ciğerlerdeki partiküllerin radyasyonu kansere yol açmaktadır. Ancak bu konudaki varsayımların daha ciddi bir şekilde gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Kalp hastalıklarındaki bölgesel farklılıklar

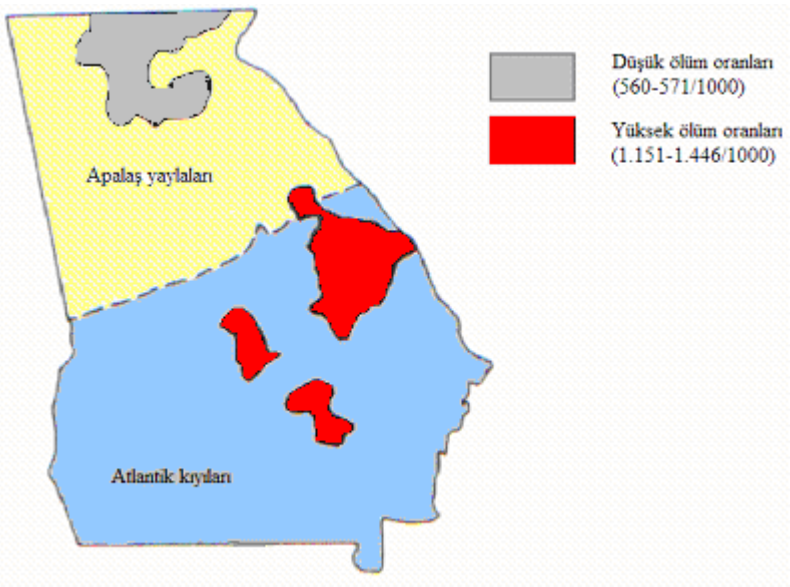
Bazı belirtilerin ortaya çıkmasında coğrafik verilere ilişkin bazı örnekler bilinmektedir. Ne var ki kalp hastalıkları ile jeolojik değişkenler arasında tanımlanmış ilişkiler henüz tartışmaya açıktır. Örneğin, içme sularının sertliği, bölgesel jeoloji tarafından denetlenmektedir. ABD'nin orta kesiminde kireçtaşının yeraltı suları için akifer konumunda olduğu yerlerde içme suları sert olup bu bölgelerde yaşayan insanlarda koroner kalp hastalıklarından ileri gelen ölümler genel olarak düşüktür. ABD'nin Atlantik kıyıları boyunca ise sular daha yumuşak olup, bu bölgelerde kalp hastalığından ileri gelen ölümler göreli olarak yüksektir. Bu gibi veriler, kaçınılmaz olarak kalp hastalıkları ile bölgesel jeoloji arasında bir bağ olabileceğini düşündürmektedir.

Şimdiye kadar, sert sularda kalp hastalığına karşı koruyan yararlı bir nesnenin varlığına ilişkin somut veriler sunulmuş değildir. Ancak yumuşak suların genel olarak sert sulara oranla asidik olduğu, asidik suların ise metalik su borularını kolayca etkileyebileceği ve sonuç olarak metalik borulardan geçen sularda metal derişiminin yüksek olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan sert suların olduğu yerlerde, insanlar bu suyu yumuşatarak kullanmaktadır. Yumuşatma işlemi sırasında suya tuz eklenmekte ve tuzda yer alan sodyumun kalp-damar sistemine girerek sistemi çökerttiği ileri sürülmektedir.

Ancak, yumuşak suların olduğu yerlerde, suyun sertliğini arttırma yönünde bir gereksinim duyulmamaktadır. Böyle olunca, su kimyası ile kalp hastalığı arasında bir bağ kurulabileceği düşünülmektedir. Ancak, Atlantik kıyıları boyunca oturan insanların sanayi açısından gelişmiş ve yoğun ilişkilerin yarattığı gerilimli bir ortamda yaşamaları dolayısıyla daha çok kalp hastalıklarından etkilenebileceği de öngörülebilir. Başka ülkelerde de benzeri sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak su kimyası ile jeolojik değişkenler ve sağlık arasındaki ilişkilerin titizlikle izlenmesi gerektiği söylenebilir.

ABD'nin Georgia eyaletinde kalp-damar hastalıkları

Tartışmalı bir coğrafik yapı da ABD'nin Georgia eyaletinde ortaya konulmuştur (Shacklett ve diğerleri, 1970). Burada ortam ile ilişkisi kalp-damar hastalıklarından ileri gelen ölüm oranları arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. (Şekil 10). Georgia'nın kuzeyinde Apalaş yaylalarında kalp-damar hastalıklarından ileri gelen ölümler az, güneyinde özellikle Atlantik kıyıları boyunca, bu tür ölümler oldukça yüksek düzeydedir.



Şekil 10. Georgia eyaletinde kalp-damar hastalıkları nedeniyle gerçekleşen ölüm oranlarının nedenleri yeterince kanıtlanamayan yerel jeolojiyle ilişkilendirilmektedir (Shacklett ve diğerleri, 1970).

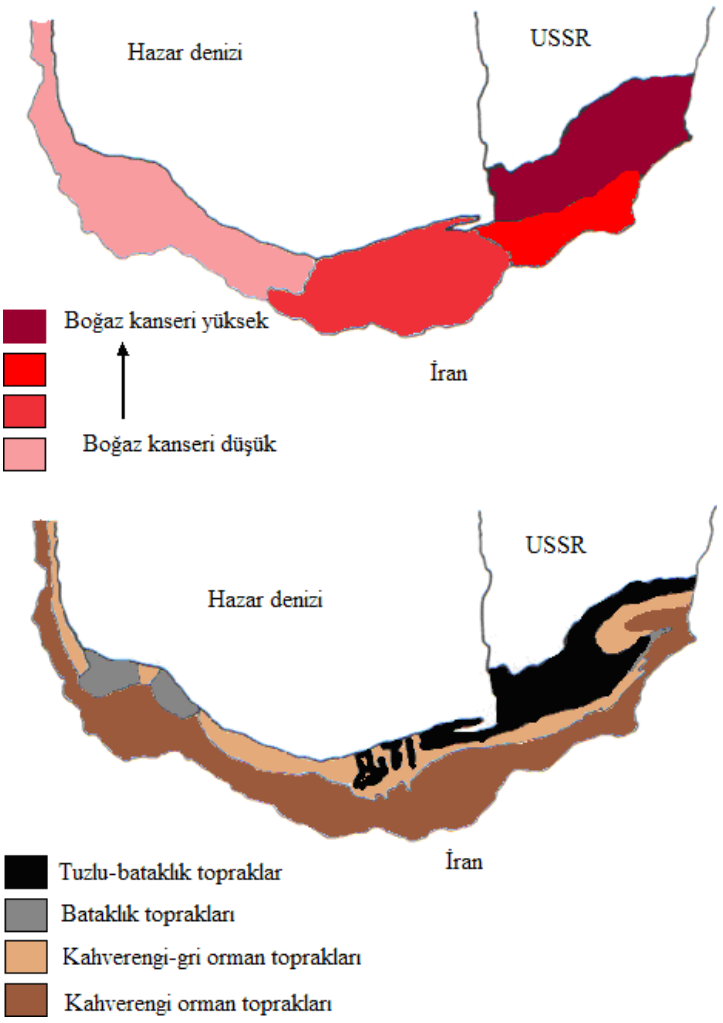
Topraklar, bitkiler, ağaçlar ve gıda ürünleri 30 farklı element içeriği yönüyle analiz edilmiş ve bu analizlerin bölgeler arası karşılaştırılması yapılmıştır. Genellikle, kıyı ovaları boyunca topraklar günlenmeye açık olup, çeşitli mineraller daha yaygın bir biçimde toprağa süzülmektedir. Yüksek alanlarda yer alan topraklar ise alüminyum, baryum, kalsiyum, krom, bakır, demir, potasyum, magnezyum, mangan, niobiyum, fosfor, titanyum, vanadyum yönüyle zengin, zirkonyum yönüyle biraz fakirdir.

Krom, bakır, manganez ve vanadyum gibi bazı elementlerin kalp-damar sistemi üzerinde olumlu etkileri olduğuna inanılmaktadır. Buna göre, toprak kimyası ile toprak üzerinde yetişen sebze ve meyvelerin kimyası arasındaki ilişkilerin yanı sıra su kaynaklarının sistemli ve istatistiksel bir şekilde irdelenmesi son derece önemli sonuçlar sağlayacaktır. Böylece, yerel jeoloji ile kalp-damar hastalıkları arasındaki ilişkilere yönelik güvenilir bulgular sağlanabilir.

Diğer ilgi çekici olgular

Belirgin coğrafik farklılıklar sunan çeşitli hastalıklarla jeolojik ortamın bağı kurulmalıdır. İran'da, geniz (boğaz) kanserinin oluşum oranı ile toprak türlerinin dağılımı arasında oldukça çarpıcı bölgesel bir ilişki görülmektedir (Şekil 11). Ancak, toprak kimyasının kanser olgusu üzerindeki etkisi yeterince anlaşılamamıştır. Başka yerlerde, gut hastalığı gibi kanser türleriyle jeokimyasal faktörler araştırılmıştır. Örneğin, ABD'nin Wales bölgesindeki mide kanseri olguları, bu bölgedeki topraklarda organik gereçlerin miktarlarıyla karşılaştırılmıştır. Ancak, organik maddelerin, potansiyel olarak zehirli metalleri bünyesine alma eğiliminin sonucu mu, yoksa başka faktörlerin mi mide kanseri üzerinde etkili olduğu henüz bilinmemektedir (Kmet ve Mahboui, 1972).

Az çok belirli bazı jeokimyasal karşılaştırmalar da vardır. Son yıllarda, Avrupa'da kalp hastalıklarındaki ölüm oranı ile yöredeki kaya birimlerinin yaşının karşılaştırılmasına yönelik bir çalışma da yapılmıştır. Ancak aynı yaşta çeşitli kaya türleri olabileceği gibi, aynı kaya türü de farklı yaşlarda olabilir. Dolayısıyla, jeolojik birimlerle ölüm oranları arasında böyle bir çerçevede bağ kurmak birçok değişkeni içermesi nedeniyle bir hayli güçtür. Açıkçası, kayanın yaşı ile kayanın üzerinde yaşayan varlıkların sağlığı arasında bir ilişkinin kurulabilmesi kolay değildir. Dolayısıyla kimyasal faktörlerle mekansal karşılaştırmaların gözlenebildiği yerlerde, jeolojik yaş ile ilgili bir ilişkinin kurulması ya da çürütülmesi oldukça güçtür.



Şekil 11. İran'ın Hazar Denizi kıyıları boyunca yer alan toprak türleri ile geniz kanseri olguları arasındaki ilişki (Kmet ve Mahboui, 1972).

TIBBİ JEOLOJİNİN SORUNLARI

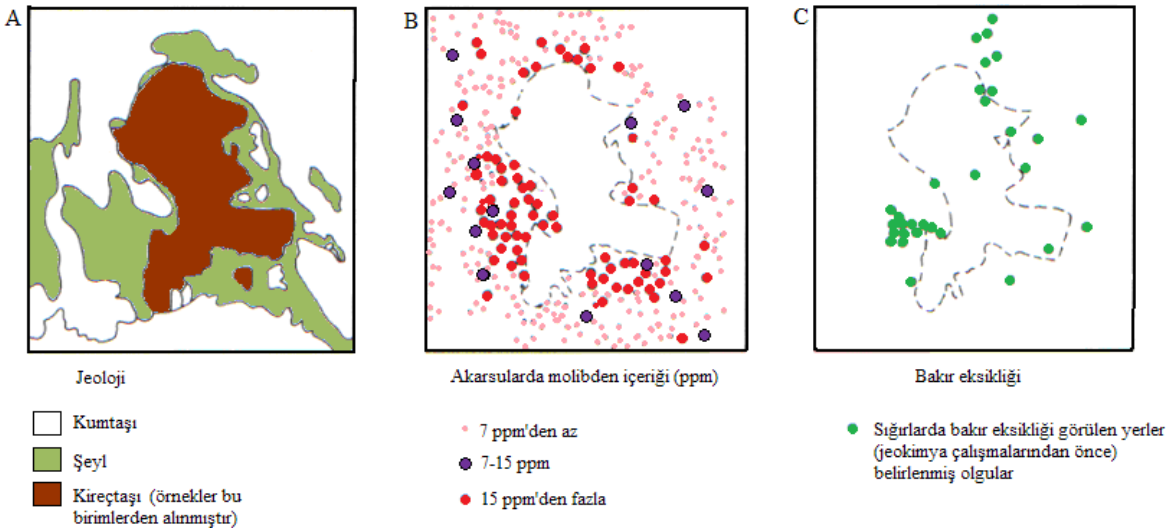
Tıbbi jeoloji çatısı altında, yerel jeoloji ile ortaya çıkan hastalıkların nedenleri, etkileri ve bu karşılaştırmaların bir rastlantıya karşılık gelip gelmediği ayrıntılı bir biçimde incelenmelidir. Yıllar evvel, bir tütün şirketi, reklam kampanyası sırasında, çoğu insanların yatakta öldüğünü ileri sürmüştür.

Ancak, yatağa girmenin tehlikeli olduğunu iddia etmek de mümkün müdür? Öte yandan ak saçlı dinleyicilerin klasik müziği, rock müziğine göre daha çok dinlediklerini gözeterek, klasik müziğin saçların ak olmasına neden olduğunu ileri sürmenin bilimsel bir değeri yoktur. Bu şekilde neden ile sonuç arasında ilişkiler kurulamaz. Benzer şekilde yerel jeoloji ile hastalıklar arasındaki ilişkiler irdelenirken oldukça titizlik gösterilmelidir.

İz elementlerin etkileşimleri

Yukarıda da belirtildiği gibi doğal jeolojik sistemlerin gerçek neden ve sonuç ilişkilerini tanımlamak gerçekten zordur. Çünkü pek çok mineralojik ve jeokimyasal parametreler bu sistemleri farklı biçimlerde etkilemektedir. Belli bir elementin etkisi, diğer elementlerin varlığı ve etkileşimleri nedeniyle maskelenebilir. Bir örnek Şekil 12'da sunulmuştur (Webb, 1971).

İngiltere'nin orta kesimlerinde barınmakta olan sığırlarda bakır eksikliği ile yerel jeoloji karşılaştırıldığında, bu olgunun şeyllerden oluşan bölgelerde ya da şeyl biriminin yakın dolaylarında yaygın olduğu anlaşılmıştır. Fakat şeyller ve bunlardan türeyen toprak bakır yönüyle fakir değildir. Bu kayaların akarsular boyunca alınıp incelenen örneklere göre molibden açısından zengin olduğu, bunun da sorunun kaynağı olduğu ileri sürülmektedir. Belirgin olarak, molibdenin hayvanlar tarafından fazla alınması, hayvan diyetlerindeki bakır gereksinimini arttırmaktadır. Molibdence zengin akarsuları az kullanan hayvanların kanında bakır düzeyleri göreli olarak düşük olsa bile bakır eksikliği olguları meydana gelmemelidir.



Şekil 12. İngiltere'nin orta kesiminde sığırlardaki bakır eksikliği ile (yerel jeoloji tarafından denetlenen) akarsuların molibden içeriği arasındaki bağı gösteren iz elementlerin etkileşimi. A, İngiltere'nin orta kesiminin jeolojisi. B, Akarsular boyunca izlenen molibden içeriği. C, Jeokimyasal çalışmalardan önce İngiltere'nin orta kesiminde sığırlarda görülen bakır eksikliği olgusu (Webb, 1971).

Diğer bilinen ya da kuşku duyulan pek çok etkileşimler vardır. Gübrenin içeriği dolayısıyla yüksek oranda fosfor içeren topraklarda yetişen bitkilerde çinko eksikliği oluşmaktadır. Bitkiler tarafından yüksek oranda çinkonun alınması ise bitkilerin absorpsiyon yoluyla kadmiyum içeriğini yükseltebilir. Böylece, kadmiyum yönüyle zengin topraklara çinkonun katılması, gıda ürünlerinde yüksek kadmiyum derişiminin denetiminde yararlı olabilir. Kükürt ise selenyumla birlikte bitkilerin bünyesine girme konusunda bir yarış içindedir. Fakat deneysel çalışmalar bu olguyu tam olarak doğrulamıyor. Kükürt içeren gübrelerin düşük selenyumlu topraklara katılması bitkilerdeki selenyum düzeylerini düşürmektedir. Ancak, selenyumca zengin topraklarda gelişen bitkilerde selenyum düzeylerinin yükselmesini önlemek için kükürdün eklenmesi bir çare değildir.

Hayvanlarda magnezyum, potasyum ve kalsiyum içeren metabolik süreçlerin birbirleriyle ilişkili olduğu ve bu ilişkinin insanlar için de geçerli olduğu bilinmektedir. Buna göre, bir elementin eksikliği diğer elementlerin dengesini bozabilir. Bakır, demirin metabolizmasında belirleyicidir. Molibden de demir metabolizmasını etkileyebilir. Lifli bitkiler insanın sindirim sisteminde çinkonun absorsiyonunu önleyebilir. Bitkilerde fosfor çinkonun alınmasını sınırlayabilir ve bu da bitkilerde çinko eksikliğine ve besin zinciri yoluyla diğer hayvanlarda ve insanda çinko yetersizliğine yol açabilir. Sonunda, fosforun gübrenin ana bileşen olması nedeniyle önemli sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Çinko ve kadmiyum, bitkilerin yanı sıra insan bünyesinde de yarışmaktadır. Buradan yola çıkarak, çinkonun çok tüketilmesinin kadmiyuma karşı koruyucu bir işlev gördüğü öngörülebilir. Selenyum, civanın zararlı etkilerine karşı koruyucu bir işlev görmektedir. Ancak selenyumun da zehirli olduğu gözetilerek denetimli olarak tüketilmesi tercih edilmelidir. Sonuç olarak, yerinde kullanıldığında hayat kurtarıcı olan ilaçların, yanlış besinlerle alındığında, olası olumsuz etkileşimler nedeniyle, insanı ölüme kadar götürebileceği de unutulmamalıdır.

Bilinen ve tartışılmakta olan etkileşimlerle ilgili bilgiler giderek artmaktadır. Elementler arasında yarışa dayalı bazı etkileşimleri, elementlerin periyodik çizelgesine (Çizelge, 4'e) bakarak tahmin edilebilir.

Çizelge, 4. Elementlerin yalınlaştırılmış periyodik çizelgesi. Atom numarası uranyumdan (92) büyük olan elementler doğal olarak oluşmamaktadır.

Ia																	0
1 H	IIa		12 Mg ← Atom numarası Mg ← Kimyasal sembol									IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg										IIIb	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57-71 alta bkz.	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 TI	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89-103 alta bkz.															

	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw

Örneğin, VIa sütununda yer alan kükürt (S) ile selenyum (Se); IIIb sütununda yer alan çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd), IIa sütununda yer alan kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg)'nun her biri kendi sütunu özelinde benzer elektronik yapılarda olmaları dolayısıyla benzer özellikler sunmaktadırlar.

Bakır (Cu) ve molibden (Mo) gibi daha az benzer olan elementler arasındaki etkileşimlerin, daha karmaşık kimyasal ve biyokimyasal ilişkileri nedeniyle tanımlanmaları ya da anlaşılmaları bir hayli güçtür. Birkaç özel element içeren bazı ilaçların yüksek dozda alınmasına, doktorların uyarıda bulunması bir rastlantı değildir. Potansiyel zehirli etkilere sahip bazı elementler tüketilirken bunların diğer elementlerin dengesini değiştirmesiyle önemli sağlık sorunlarına yol açması mümkündür.

İnsan faaliyetlerinin etkileri

İnsan faaliyetleri, iz elementlerin derişimlerini ve bu derişimlerden ileri gelen olguların değişmesine yol açmaktadır. Kurşun, çinko, bakır, kadmiyum, arsenik, uranyum ve diğer metaller dolayısıyla meydana gelen toprak kirliliği, maden işletmeleri ya da cevher zenginleştirme tesislerinin yakın dolayında yaygındır. Oluşan kirlilik, su kaynaklarıyla birlikte, tesislerin dolayında yer alan bitkilerin sağlığını etkiler. Yoğun trafiğin olduğu yollara yakın bitkilerde vasıtaların eksozlarından çıkan gazlar nedeniyle yüksek kurşun içerikleri görülmektedir. Kurşunlu yakıtların yasaklandığı yerlerde yakıtlardaki kurşunun yerini manganez almış ve dolayısıyla bitkilerde manganez zehirlenmesi başlamıştır. Yüksek manganez içeriklerinin insanlarda sinirlilik ve beyin hasarlarına yol açabileceği öne sürülmektedir.

Doğal ve yapay gübrelerin kullanılması ve sulama ile ilgili diğer tarımsal uygulamalar, hidrolojik döngü yoluyla elementlerin doğadaki dağılımını değiştirmektedir. Bu uygulamalar sonucu, ortama yabancı yeni iz elementler de jeokimyasal döngülere girerek, toprağın bileşimini dolayısıyla toprağın bileşiminden etkilenen diğer canlıların sağılığını etkiler. Sonuç olarak doğal döngülerin işleyişi, sağlığı ve hastalıkları etkileyen temel jeolojik faktörleri maskelerken tıbbi jeolojik çalışmaları yapanların işlerini de güçleştirmektedir.

Yeni bir çevre tanımı

Bugün çevresel etmenlerin hastalıklarla ilişkilerini inceleyen bir grup bilim insanı, kronik hastalıkların gerçek anlamda anlaşılabilmesi için, tüm genetik bilgiyi inceleyen ***"genom"*** yaklaşımı gibi, maruz kalınan tüm çevresel etmenleri bir bütün olarak ele alan bir ***"ekspozom"*** yaklaşımının benimsenmesi yönünde görüş birliği içindedir.

Ekspozom yaklaşımının öncülerinden Stephen M. Rappaport ve Martyn T. Smith çevresel etkilerin daha bütünleşik olarak değerlendirilebilmesi için, toksik etkilerin vücuttaki önemli molekülleri, hücreleri ve fizyolojik süreçleri etkileyen kimyasallar yoluyla oluştuğunun fark edilmesi gerektiğini ileri sürmektedir. Bu bağlamda çevreyi vücudun iç kimyasal ortamı; çevresel etkileri de bu iç ortamda bulunan biyolojik olarak etkin kimyasalların miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Dolayısıyla çevresel etkiler vücuda çevreden, örneğin havadan, sudan ve besinlerden giren kimyasallarla kısıtlanmayıp iltihaplar, oksidatif stres (reaktif oksijen türlerinin dengesiz olarak artması), lipid peroksidasyonu (yağların yakıldığı ve serbest radikallerin oluştuğu kimyasal süreç), enfeksiyonlar, bağırsak florasının (mikroorganizmalar) etkinlikleri gibi birtakım doğal süreçler sonucu oluşan kimyasallar da çevresel etkilere dahil ediliyor. Bu iç kimyasal çevre, iç ve dış kaynaklardaki birtakım değişimler, yaşlanma, enfeksiyonlar, yaşam tarzı, stres, psikolojik etmenler ve önceden var olan hastalıklar gibi sebeplerle yaşam boyu sürekli bir dalgalanma göstermektedir.

SONUÇLAR

Yeryuvarı milyarlarca yıllık bir zaman aralığında evrim geçirerek günümüzdeki görünüme kavuşmuştur. Doğadaki değişim, bundan sonra da devam edecektir. Bileşim yönüyle yeryuvarı, yerin bitki örtüsü, hayvanlar ve sonunda insan arasında bazı temel benzerliklerin olması ve gelişen doğal döngülerle birbirlerini etkilemeleri bütünsel bir gelişmenin sonucudur.

Çevrenin jeokimyası ve jeolojide sunulan birçok örnekler, bitkilerin, hayvanların ve insanın sağlığı ile bu varlıkların üzerinde yaşadığı yer arasındaki ilişkiyi belgelemektedir. Bu ilişki, insanın sonradan neden olduğu kirliliğin dışında ve insan faaliyetlerinden bağımsız olarak kurulabilmektedir. Bazı örnekler ise, başlangıçta coğrafik farklılıkların bir yansıması olarak yorumlanmıştır. Öte yandan insan faaliyetlerinin bazıları da doğal jeolojik ve biyolojik faktörleri maskeleyerek iz elementlerin yayılımını ve bunların birbirleriyle etkileşimlerini irdelemeyi güçleştirmektedir. Dolayısıyla, yeni çevre tanımı doğrultusunda, çevre ve sağlık ilişkilerine dair gelişmeleri titizlikle izlenmelidir.

Ülkemizde, örneğin Ezine (Çanakkale) Geyikli/ Hantepe sahilindeki doğal radyasyon, Emet (Kütahya) dolayında suların arsenik içeriği, İsparta'da ve Doğu Anadolu'da Tendürek dağı dolayında florun neden olduğu diş hastalıkları, Orta Anadolu'da iyot eksikliği nedeniyle ortaya çıkan tiroit bezi hastalıkları ve asbestin neden olduğu kanserler tıbbi jeolojik risklerin yaygın olduğunu göstermektedir.

Yukarıda sunulan temel bilgiler gözetildiğinde Tıbbi Jeoloji'nin ancak oldukça çok sayıda çok-disiplinli bir anlayışla gelişebileceği sonucuna varılmaktadır. Bunun için yapılması gereken çalışmalardan bazıları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Tıbbi Jeoloji'ye temel olabilecek, kayatürü ve kayatürünün iz element içeriklerini içeren 'Tıbbi Jeoloji Risk Haritaları' nın hazırlanması ve bu haritalar ışığında bölgesel hastalıkların gözden geçirilmesi ve bu konudaki yasal çerçevenin gözden geçirilerek yeniden düzenlenmesi,
2. Bileşim ve iz element içerikleri yönüyle kayatürü, toprak, bitki örtüsü, hayvanlar ve insanlar arasında kurulan ilişkilerin daha çok sayıda veriyle desteklenmesi,
3. Temel jeolojik döngüyle bu döngünün denetiminde gelişen diğer doğal döngülerin işleyişleri sırasında oluşan besin zincirinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi,
4. İz elementlerin her biri özelinde varılan sonuçların güncelleştirilmesi ve etkileri tartışmalı olan verilerin yeniden irdelenmesi,
5. İz element etkileşimlerinin tıbbi özelliklerinin daha iyi anlaşılması, jeolojik faktörlerden ileri gelen çoğu hastalıkların da tedavi edilmesini kolaylaştıracaktır. Günümüzde jeolojik faktörlerden ileri gelen, ancak nedenleri tartışmalı olan bazı hastalıkların Tıbbi Jeoloji çatısı altında önlenmesi mümkündür.

Tıbbi jeoloji çalışmaları ülkemizde özenle yürütülmektedir. 03-04 Kasım 2017 tarihinde yapılan Çevre Jeolojisi Çalıştayı'nda Tıbbi jeoloji konusu ayrıntılı olarak ele alınmıştır (Yılmaz 2017). Çalıştayda, Tıbbi Jeoloji çalışmalarının hızlandırılması için aşağıdaki önerilerin öncelikle ele alınması hususunda görüş birliğine varılmıştır (Baba ve diğerleri, 2017):

1. En kısa süre içinde Tıbbi Jeoloji konusunda Türkçe bir kitabın yazılması, tıpçılar için jeoloji bilgisini, jeoloji mühendisleri için ise tıp bilgisini içeren iki adet kitapçığın hazırlanmasına, Tıbbi Jeoloji ile ilgili çalışmaların paylaşılması amacıyla oluşturulan web sitesinin geliştirilmesi ve bu konuda sorumlu atanmasına,

2. JMO Tıbbi Jeoloji Çalışma Grubu'na 3 adet Meslek Hastalıkları, Medikal Onkoloji ve Halk Sağlığı dallarında uzman tıp doktoru ve 1 adet Nükleer Fizik uzmanının dâhil edilmesine ve bundan sonra yapılacak faaliyetlerin tartışma ve planlanmasının toplantı programlarının, oluşturulan bu yaklaşık 30 kişilik Danışma Kurulu aracılığı ile yapılmasına,

3. Tıp fakültelerine Tıbbi Jeoloji Kürsüsü kurulması konusunda adımlar atılmasına,

4. JMO'nun EPA gibi bir sorumlulukla çalışıp Tıbbi Jeoloji ağı oluşturmasına,

5. Tıbbi Jeolojinin geliştirilmesi hususunda TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Türk TORAKS Derneği, TÜSAD ve ilgili diğer sivil toplum örgütlerinin ortak çalışmalar yürütmesi konusunda çalışmaların yürütülmesine,

6. Tıbbi Jeoloji ve İş Sağlığı arasındaki ilişkiyi vurgulayacak şekilde İş Yeri Hekimliği eğitimine "Tıbbi Jeolojinin" de eklenmesi konusunda girişimlerde bulunulmasına,

7. Dünya'da ve ülkemizde insan ölümlerinin 1. sıradaki nedeninin gerekli iyileştirme ve düzenlemeler yapılmadan kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliği olduğu, Ülkemizde de düşük kaliteli linyitlerin kullanıldığı gerçeğinden hareketle, hava kirliliğini azaltma-önleme hususunda ülkemizde yapılan enerji tercihlerinin gözden geçirilmesinin gerekli olduğuna,

8. Sağlık Bakanlığı, MTA ve TAEK gibi kamu kurumları ile ortak çalışmalar yürütülerek ve de daha önce yapılan çalışmalar konusunda arşiv taraması yapılarak, jeolojik unsurlara bağlı olarak gelişen sağlık sorunlarının olabileceği alanlara ilişkin detaylı jeokimyasal ve hidrojeokimyasal haritaların yapılmasına,

9. Bakanlık ve yerel yönetimlerde kentlerin tematik tıbbı jeoloji haritalarının yapılmasının önemi konusunda farkındalık yaratacak girişimlerde bulunulmasına,

10. Ülkemizde gündemde olan (kentsel dönüşüm ve asbest sorunu, radon ve etkisi, yeraltı suyu kaynaklarında ağır metal vb. gibi) konulara öncelik verilerek, pilot bölgelerden projeler oluşturulup Avrupa Birliği ve TÜBİTAK gibi fonlardan kaynaklara başvurulmasına,

11. Sonuç Bildirgesi'nin ilgili tüm kurumlara gönderilmesine ve kurumsal mevzuatlarda yer alması için çalışmalar yapılmasına karar verilmiştir.

KAYNAKLAR

Anderson, B.A., 1971. Calcium-carbonate hardness of public water supplies in the conterminous, In Environmental geochemistry in health and disease, edited by H.L. Cannon and H.C. Hopps, USA, 151-53.

Baba, A., Metintaş, M., Örgün, Y., Toksoy, F. K. ve Alan, R., 2017. Çevre jeolojisi ve halk sağlığı: Tıbbi jeoloji'nin koruyucu halk sağlığındaki yeri, önemi ve yaşanmakta olan sorunlar. 1. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu (Ed. Ali Yılmaz). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No:133, Ankara, s. 151-175.

Botkin, D.B. ve Keller, A.E., 1995. Environmental Science: Earth As a Living Planet (Chapter 14 Environmental Health and Toxicology), John Willey and Sons Inc, New York, USA, 627 s.

Brownlow, A. 1979, Geochemistry, Prentice-Hall, Inc. USA.

Cannon, H.L. ve Hopps, H.C., 1970. Geochemical environment in relation to health and disease, Geological Society of America Special Paper, 140.

Cannon, H.L. ve Hopps, H.C., 1971. Environmental geochemistry in health and disease, Geological Society of America Memoir, 123.

Englewood, C. NJ. ve Krauskopf, K. B., 1979, Introduction to Geochemistry, McGraw- Hill, Inc. New York, USA.

Feder, G.L., 1985. Environmental influence of selenium in waters of the western United States, US Geological Survey Annual Report, 5-8.

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1999, Çevre Sağlığı Boyutlarıyla Habitat II ve Kent Çevresi: Sağlık Bakanlığı, Çevre Sağlığı Temel Kaynaklar Dizisi No:42, Ankara, 97s.

İleri, S., 1978. Zeolitler: Türkiye Jeoloji Kurumu, Yeryuvarı ve İnsan, 3/1, Ankara, 40-44.

Kmet, J. ve Mahboui, E., 1972, Esophageal Cancer inthe Caspian Littoral of İran, Science, vol. 175, s.846-853.

Mason, B. ve Moore, C. B., 1982, Principles of Geochemistry, John Willey and Sons, New York, USA.

Mavi Gezegen, 2002. Jeoloji, Çevre ve Sağlık, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, sayı 6., Ankara.

Montgomery, C.W., 1995. Environmental Geology, Medical Geology, Chapter 20, Printed in USA by Wm C. Brown Communications, Inc. USA, 496s.

Oruç, N., 2003. Problems of high fluoride waters in Turkey (Hydrogeology and Health Aspects) on Overview, the short course on Medical Geology, Health and Environment, Canberra, Australia.

Parr, R., 1983. Trace elements in human milk. International Atomic Energy Agency Bulletin, 25(2), 7-15.

Pier, S.M., ve Bang, K.M., 1980. The role of heavy metals in human health, Chapter 11, in Environment and health, edited by N.M. Trieff, Ann Arbor, Mich., Ann Arbor Science Publishers, 366-409.

Sauer, H.I., ve Brand, F.R., 1971. Geographic patterns in the risk of dying. In Environmental geochemistry in health and disease, edited by H.L. Cannon and H.C. Hopps, Geological Society of America Memoir 123, 131-50.

Selinus, O., Alloway, B.J., Centeno; J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U., Smedley, P., 2005, Essentials of medical geology: Impacts of the natural environment on public health. Amsterdam, Boston: Elsevier Academic Press. ISBN: 0126363412. 812s.

Shacklette, H.I., Sauer, H.I. ve Miesch, A.T., 1970. Geochemical environments and cardiovascular mortality rates in Georgia, US Geological Survey Professional Paper, 547C.

Şaylı, B.S., 2000. İnsan sağlığı ve bor mineralleri, AÜ Tıp Fakültesi, Eti Holding Araştırma Projesi, Ankara.

USGS, 1985, Annual Report, U. S. Geological Survey, USA.

Webb, J.S., 1971. Regional geochemical reconnaissance in medical geography, In Environmental geochemistry in health and disease, edited by H.L. Cannon and H.C. Hopps, Geological Society of America Memoir, 123, 31-42.

Yarat, A., 2016. Sağlımız açısından içme sularında döteryum. 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı 11-15 Nisan/April 2016 69th Geological Congress of Turkey, Ankara.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276s.

Yılmaz, A., 2017. 1. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No:133, Ankara, 218s.

Bölüm 16. COĞRAFİK BİLGİ SİSTEMLERİ

GENEL BİLGİLER

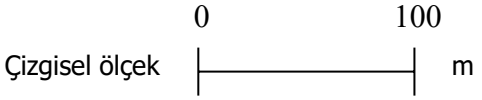
Grafik ve grafik olmayan her tür mekânsal bilginin toplanması, depolanması, birbiriyle ilişkilendirilmesi, güncellenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi ve sunulması işlemlerinin tümünü içeren Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Çevresel sorunların tanımlanmasında ve izlenmesine yerini almıştır. CBS'de kullanılan veri tabanı, vektör verinin bileşenlerinden olan nokta, çizgi ve alanlara ilişkin bilgilerin tutulduğu öznitelik çizelgelerinden oluşur. Dolayısıyla, Coğrafik Bilgi Sistemleri'yle (CBS) ilgili ayrıntılara girmeden önce kroki, plan, ölçek, topografya, harita, yerin şekil ve koordinat sistemleri gibi terimlerin açıklanmasında yarar vardır.

Kroki, bir modelin başlıca özelliklerini yansıtan taslak olarak tanımlanır. Krokilerde en önemli unsurların gösterilmesi yeterlidir. Korki, sonradan daha ayrıntılı işlenecek bir tablo ya da haritaya hazırlık olmak üzere çizilmiş şekiller için de kullanılmaktadır. Leonardo da Vinci'nin mürekkepli kalem ve suluboya (lavis) krokileri, Rembrant'ın boyalı kalem taslakları, Wateu' nun üç renkli resimleri kroki olarak kabul edilir.

Plan, bir yapının ya da eserin genel düzeni olarak kabul edilir. Bir tasarıyı gerçekleştirmek için önceden belirlenen hususların tümü planı belirler. Plan yapmak, bir amacı gerçekleştirecek olguları düşünmek ve tasarlamak demektir. Plan düzgün bir biçimle ya da anlatımla ifade edilmelidir. Planın genel düzeni açık, yalın ve anlaşılır olmalıdır

Planın çeşitli ilgi alanlarındaki anlamı oldukça birbirinde farklı olmakla beraber, mühendislik çalışmalarında, bir yapının ölçekli hali olarak da kabul edilir. Ayrıca bir yapının durumunu gösteren plan ve kesitlere rölöve adı verilir. Öte yandan, bir arazi parçasının planı, o arazinin hesap, çizim yada aletler yardımıyla bir ölçekle küçültülüp kağıda geçirilmiş durumudur.

Ölçek, yerin ya da herhangi bir yapının gerçek boyutlarıyla şekil ya da harita üzerindeki boyutlarına oranı olarak tanımlanır. Yani, ölçek = haritadaki uzunluk / arazideki uzunluk biçiminde de ifade edilmektedir. Harita üzerinde ölçülen uzunluk ile arazide ölçülen uzunluk arasındaki oran, sayılarla tanımlanmış ise sayısal ölçek, bir çizgi üzerinde tanımlanmış ise çizgisel (grafik) ölçek olarak sunulabilir.



Sayısal ölçek 1/ 1000 gibi

Harita ölçeğinin paydası büyüdükçe, haritanın kaplayacağı alan büyür. Buna karşın ayrıntılardaki belirginlik azalır. Bunun tersi durum da harita ölçeğinin paydası küçüldükçe, haritanın kaplayacağı alan küçülür, ancak ayrıntılar daha belirgin gözükür.

Topografya, arazi şekillerini doğal ya da yapay ayrıntılarıyla kâğıt üzerinde gösterme sanatı olup, çizimin arazide, yani arazi üzerinde yapılması işlemidir. Topografya çalışmaları arazide doğrudan doğruya plançeteyle, grafik aktarma yoluyla yapılır. Bu, arazi üzerinde poligon ölçümü veya grafik nirengi işlemleriyle konum belirleme ve kestirme yoluyla tamamlanır. Büyük ölçekli çalışmalar (1/10000'den büyük) topometri adını alır. Bu tür çalışmada her ayrıntının işlenmesi bir ölçüye dayanır. Arazi ölçümlerinden sonra, sıra ölçümlerin değerlendirilmesi ve düzgün bir yüzeye çekme işlemine gelir. Harita üzerinde okunamayacak kadar küçük kalan grafik, sembollerle ifade edilir. Topografik eğriler, eş yükseklikte olan noktaları birleştiren eğriler olup, üzerinde deniz düzeyinden olan yükseklik metre (m) olarak yazılır.

Harita, dünyanın ya da herhangi bir gök cisminin yüzeyi ile ilgili seçilmiş nesnelerin ya da soyut özelliklerin ölçekli olarak, bir düzlem üzerinde temsil edecek şekilde yapılmış resim ya da taslak olarak tanımlanır. Coğrafya olgularının dağılımı, harita üzerinde sayısal verilere dayalı olarak sunulmaktadır. Dolayısıyla her haritanın bir ölçeği vardır. Ölçek sayısal olarak ya da grafiksel olarak gösterilebilir. Genellikle kuzey yönü, enlem ve boylam dereceleri haritada belirtir. Haritalar, genel olarak üç gruba ayrılabilir:

1. Birinci dereceden temel haritalar, topografya haritaları ile deniz haritaları bu gruba girer. Bunlar arazinin biçimini ve tanımlanabilen unsurlarını gösterir.
2. İkinci dereceden temel haritalar, birinci dereceden temel haritalardan yararlanılarak hazırlanan haritalar olup bir bilim dalı için gerekli bilgileri içerir. Hidrografya haritaları, karayolları haritaları, idari haritalar, genel atlaslar, jeoloji haritaları, toprak haritaları, bitki örtüsü haritaları, meteoroloji haritaları bu gruba girer.
3. Tema (Tematik) haritalar ele alınan bir konuda bir yorum, çözüm ya da bireşim (sentez) gerektiren ve özel bir incelemenin ürünü olan belgelerdir. Paleocoğrafya haritaları, Jeomorfolojik evrim haritaları, Paleo iklim haritaları bu sınıfta yer alır.

Ayrıca haritalar yapılış amaçlarına ve ölçeklerine göre de sınıflandırılabilirler. Yapılış amaçlarına göre haritalar genel haritalar ve özel haritalar olmak üzere iki bölüme ayrılırlar. Topografik haritalar, atlaslar, genel haritalar, kent haritaları, yol haritaları ve tematik haritalar özel haritalar grubuna girer.

Haritaların ölçeği gözetildiğinde, 1/25.000 ve daha büyük ölçekli olan haritalar büyük ölçekli, 1/50.000 -1/100.000 ölçekli haritalara orta ölçekli, 1/200.000 ve daha küçük ölçekli haritalara da küçük ölçekli haritalar olarak kabul edilir.

Yer'in şeklini bir geometrik yüzey olarak tanımlama olanağı yoktur. Çünkü Yer, kendine özgü engebeli olan bir yapıdır. Bu yapıyı tanımlamak için jeoid ve sferoid gibi şekillerden yararlanılır. Jeoid, yaklaşık olarak okyanuslar seviyesindeki yer küresine karşılık gelir. Yani ***jeoid,*** kıtalara doğru devam ettirilerek uzatılan ortalama deniz düzeyinin yüzeyi olarak gözetilen Yer'in şeklidir. ***Sferoid*** ise okyasunta deniz seviyesi üzerinde, dolayısıyla jeoidin biraz üzerinde, kıtalarda ise jeoidin biraz altında yer alır. Yani sferoid, hafifçe yassı bir elipsoidin ana ekseni etrafında dönmesiyle meydana gelen üç boyutlu sferoidal yüzey şeklidir.

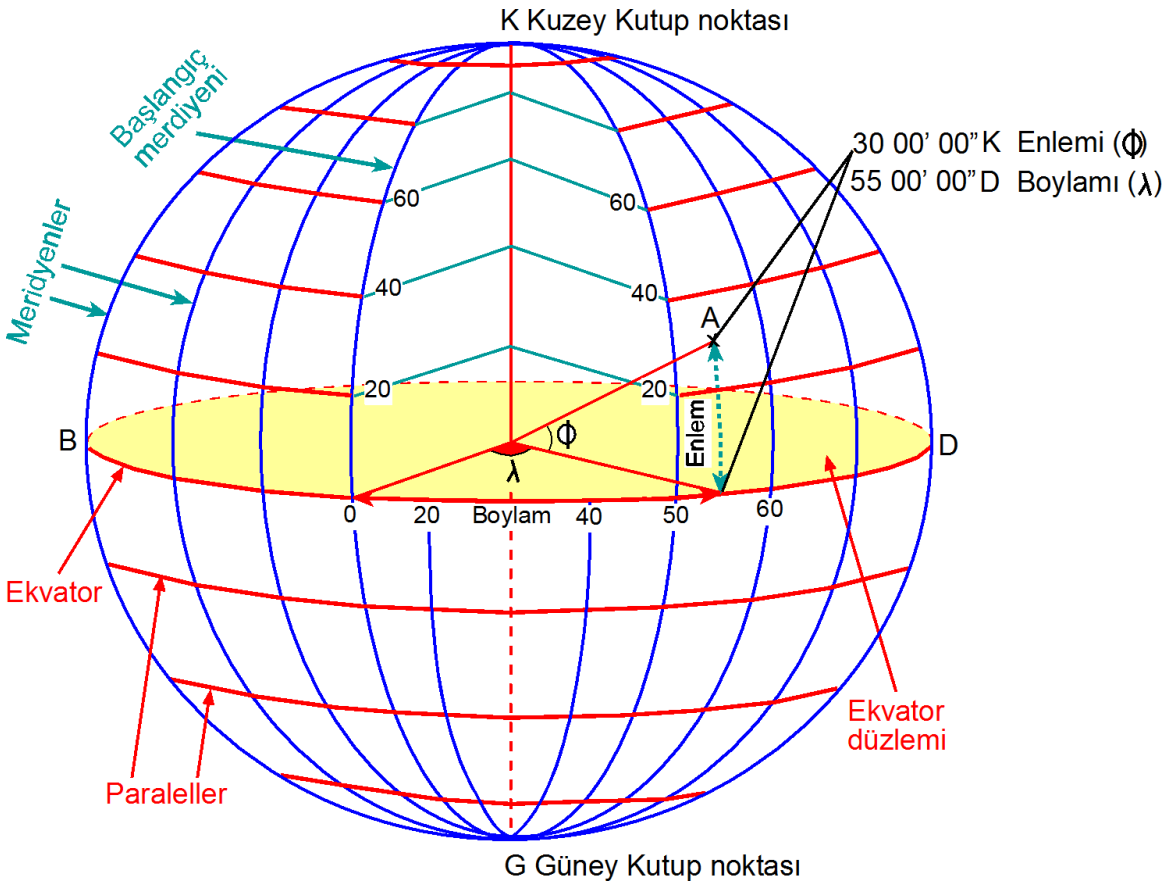
Harita üretimi için, yeryüzünün değerlendirilmesinde yerin geometrik olarak tanımlanmayan jeoid biçiminde olması sorun yaratmaktadır. Bu nedenle, geometrik bir yüzey olan dönel elipsoid, referans yüzeyi olarak kullanılmaktadır. ***Dönel elipsoid,*** bir elipsin küçük ekseni etrafında dönmesiyle meydana gelen yüzeydir. Dünya için kabul edilen referans elipsoidi jeoid arasında her noktada değişen **h** yükseklik farkı vardır. Artı ya da eksi olabilen bu değerlere ***jeoid yüksekliği*** denir. Elipsoidin boyutlarından söz edilirken **a** ve **b** eksenlerinin belirtilmiş olması gerekir. **(a-b)/a** ***oranı*** ile hesaplanan ve elipsoidin ***basıklık oranı*** denilen kavram da elipsoidin büyüklüğü ve elipsoidin üzerindeki herhangi bir yeri belirlemede kullanılır.

Yerin bir elipsoid biçiminde olduğu gözetilerek, yeryüzünü de anlaşılır bir düzenleme yani haritaya dönüştürülmesi gerekmektedir. Eğri bir yüzey üzerinde bilgilerin matematik ve geometrik kurallardan yararlanarak harita düzlemine geçirilmesine ***harita projeksiyonu*** adı verilir. Bir yüzeyi temsil eden ve haritaya konu olan bilgiler arasında uzunluk, alan ve şekil yönüyle daima bir ilişki vardır. Bu bilgiler, bir projeksiyon yüzeyine geçildiğinde, aralarında mevcut ilişkilerin orijinal yüzeyindeki gibi kalması beklenemez. Yani bu ilişkilerde bazı değişimler ya da bozulmalar meydana gelir. Ancak, harita projeksiyonu geliştirilirken, orijinal ilişkilerden en az birinin yüzeyinde değişmenin olmaması için çaba harcanabilir. Örneğin belki bir yöndeki uzunluklar aynen korunursa, bu projeksiyona uzunluk koruyan projeksiyon adı verilir. Aynı şekilde, ***alan koruyan*** **ya da** ***açı koruyan projeksiyonlar*** da vardır.

Koordinat sistemleri

Coğrafik koordinat sistemi, Yer'in üzerindeki noktaların konumlarını belirlemek amacıyla kullanılan bir ağdır. Tüm yer'i saran bir koordinat ağının varlığı kabul edilir. Coğrafik Koordinat Ağı olarak adlandırılan bu sistem paraleller ve meridyenlerden oluşur. ***Paraleller*** ya da paralel daireler, ekvatorun kuzeyinde ve güneyinde her biri 1^0'ye karşılık gelip, 90'ar adet olmak üzere toplam 180 tanedir. Ekvatoru dik olarak kesen, kutuplardan ve yerin merkezinden geçen düzlemlerin yeryüzü ile arakesit eğrileri de ***meridyenleri*** belirler. Londra'da Greenwich gözlem evinde bulunan bir gök dürbününün ekseninden geçtiği varsayılan meridyen, başlangıç yani 0^0 meridyenidir. Başlangıç meridyeninin doğusunda 180, batısında da 180 adet olmak üzere toplam 360 adet meridyen vardır.

Yer'in üzerindeki bir noktadan geçen paralel dairesinin ekvatora uzaklığına, o noktanın ***enlemi*** (latitude) denir. Bir noktanın enlemi, o noktayı Yer'in merkezi ile birleştiren çizginin, Yer'in ekvator düzlemi ile yaptığı açıya karşılık gelir. Bir noktadan geçen meridyen düzlemi ile başlangıç meridyen düzlemi arasında kalan açıya da o noktanın ***boylamı*** (longitude) denir. 1^0 aralıklarla geçen meridyenler arasında zaman farkı 4 dakikadır. Bir noktanın enlemi Φ(fi), boylamı ise λ (lamda) simgesi ile gösterilir. Φ ve λ değerlerine bir noktanın coğrafi koordinatları denir. Şekil, 1' de bir A noktasının koordinatları yapay olarak sunulmuştur.



Şekil 1, Coğrafi koordinat sistemi

Coğrafi koordinat sistemi, dünyanın merkezini başlangıç noktası kabul eder. Yeryüzünde herhangi bir noktanın koordinatlarını belirlemede derece cinsiden enlem ve boylam değerleri kullanılır. Ancak bu sistem Dünya'nın bir küre biçiminde olduğu varsayımı çerçevesinde geçerlidir.

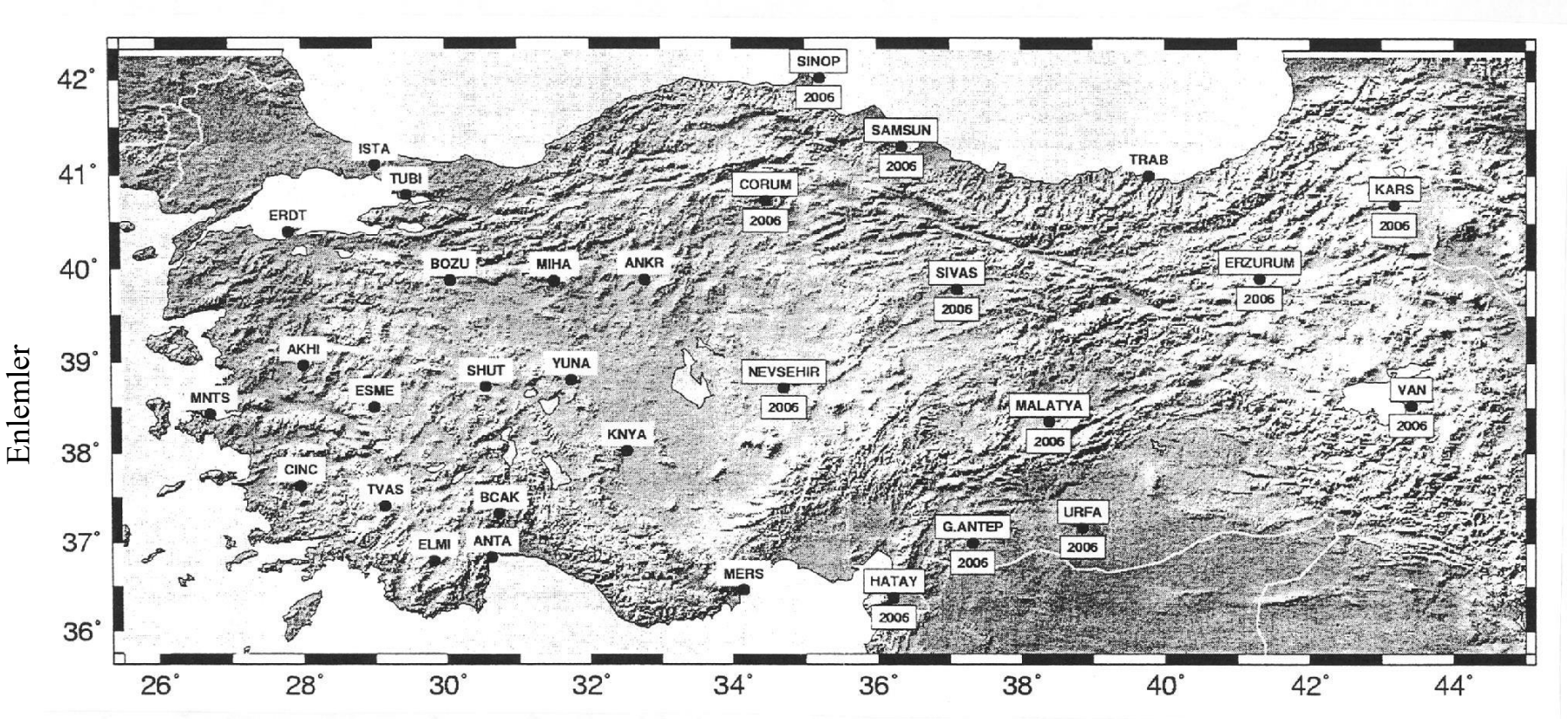
UTM Projeksiyon koordinat sistemi, UTM (Universal Transvers Mercator) projeksiyonu, Gauss-Krüger projeksiyonu esas alınarak geliştirilmiştir. Bu projeksiyonun başvuru yüzeyi elipsoiddir. UTM projeksiyonunda, 180^o meridyeninden başlamak üzere dünya 6^o boylam aralıklarla 60 dilime ayrılmıştır. Dilimler 1'den başlayarak doğuya doğru artan sıradan 1 ile 60 arasında numaralanmıştır. Her bir dilim bir projeksiyon sistemini belirtir. Silindir, dilim orta meridyeni boyunca dünyaya teğet alınır. Böyle bir dilimin 3^o sağı ve 3^o solu aynı bir dilim içinde kalır.

Kartezyen koordinat sistemi ya da dik koordinat sistemi günümüzde en çok kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerden birbirine dik konumdaki eksenler başvuru sınırları olarak alınır ve herhangi bir noktanın düzlem koordinatı (x, y) ile ifade edilirken, bu noktanın uzaydaki konumu da x, y, z değerleriyle tanımlanır. Dik koordinat sistemi daha çok büyük ölçekli haritalar ve küçük sayılabilecek alanların gösteriminde kullanılır.

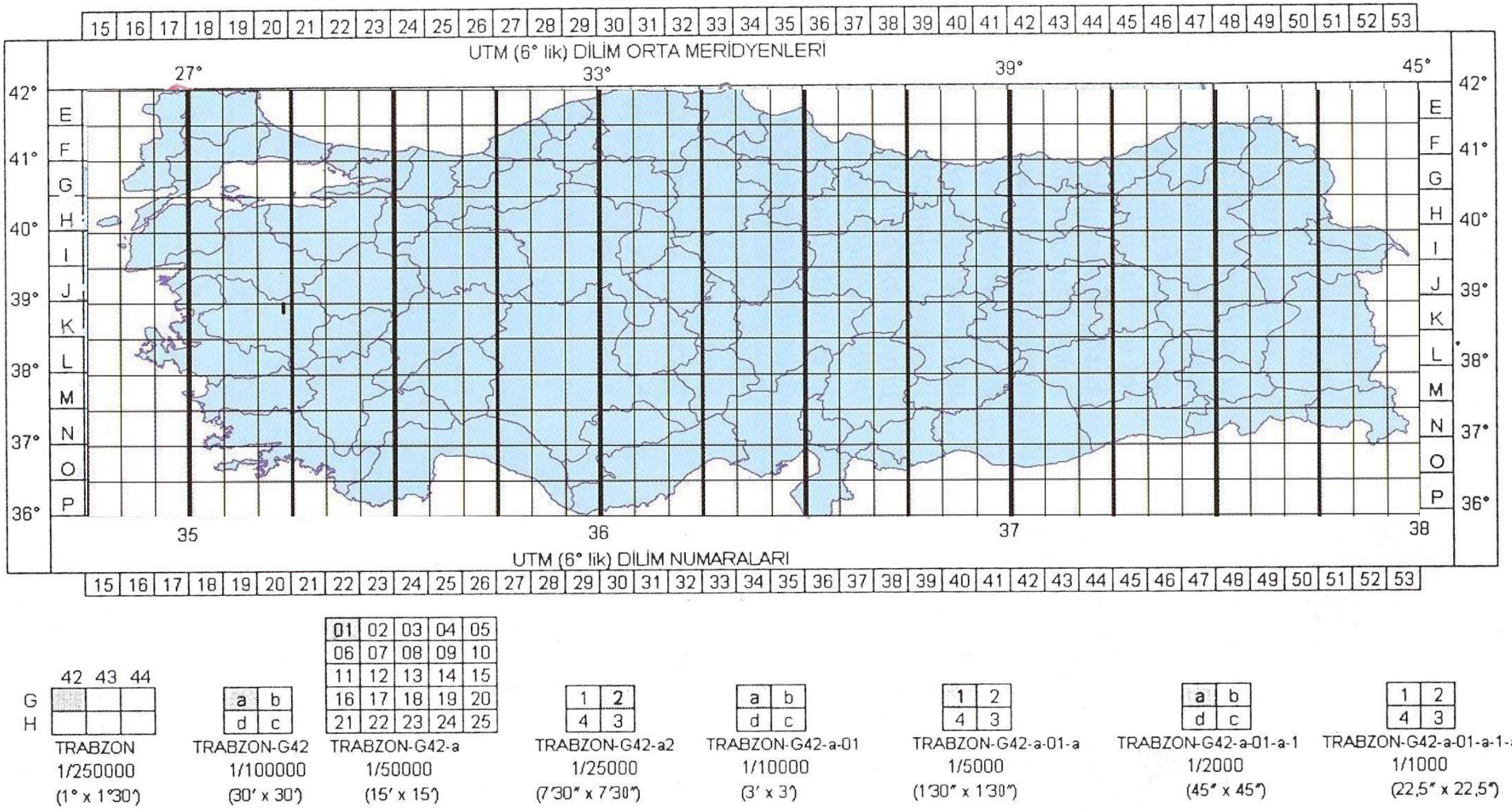
Haritaların adlandırılması

Harita yapımında 1/1.000.000, 1/500.000 ve 1/250.000 ölçekli olanlar uluslararası indeks kapsamındadır. Bu haritalar, içinde bulunan en büyük kentin ismini alarak adlandırılırlar. 1/250.000'den büyük ölçekli olan harita ya da pafta bölümlemeleri ulusal olup, her ülke kendi sistemine uygun bir bölümleme yaparak indekslerini oluşturur. Türkiye'nin ulusal sabit GPS istasyonları ağı ve pafta bölümlenme sistemi Şekil 2 ve 3' de izlenmektedir.

- Türkiye'deki pafta isimlendirmesinde; öncelikle l°xl°30' boyutundaki 1/250.000 ölçekli paftalar, alanları içindeki en büyük kent adıyla isimlendirilir (İstanbul, Ankara, Trabzon gibi).
- 1/100.000 ölçekli paftalar; 1/250.000 ölçekli paftaların 6 eşit parçaya bölünmesiyle elde edilir. Boyutları 30'x30'dır. İsimlendirme ise; Türkiye'de 44°enleminden, 36° enlemine kadar 30' aralıklarda E' dan başlayarak P' ye kadar bir harflendirme yapılır; ayrıca, 24^o boylamından 48^o boylamına kadar, 1l'den 59'a kadar da bir numaralandırma yapılır. Ortaya çıkan bu karelaj içinde l/l00.000'lik pafta hangi karelaja isabet ediyor ise ona göre isimlendirilir, "Çanakkale-H-16" gibi.
- 1/50.000 ölçekli paftalar; 1/100.000 ölçekli paftaların 4 eşit parçaya bölünmesiyle oluşur. Bölünen kutu sol üst köşeden başlamak üzere saat ibresi yönünde a, b, e, d şeklinde harflendirilir. Boyut 15'x15' dır. İsimlendirme, "Çanakkale-H- 1 6-b" şeklindedir.
- 1/25.000 ölçekli paftalar, 1/50.000 ölçekli paftaların 4 eşit parçaya bölünmesiyle elde edilir. Boyutları 7'30"x7'30" dir. Her pafta parçası sırasıyla 1, 2, 3, 4 rakamlarıyla numaralanır ve içinde bulunduğu 1/50.000 ölçekli paftanın ismiyle birlikte isimlendirilir, "Çanakkale-H-16-b2" gibi. Buraya kadar olan pafta bölümlendirmesi 6° dilim esaslarına göre yapılmıştır.
- 1/10.000 ve 1/5.000 ölçekli paftalar; 3° dilim ilkelerine göre geliştirilen değiştirilmiş UTM projeksiyonu çerçevesinde yapılmaktadır. Pafta bölümlemesi 1/50.000 ölçekli paftaya dayalı olarak yapılmaktadır. 1/50.000 ölçekli pafta her iki yönde 3' aralıkla bölünür, ortaya çıkan 25 pafta 1/10.000 ölçekli paftanın kapladığı alanı gösterir ve boyutları 3'x3' dır. Bu paftalar 01'den başlayarak 25'e kadar numaralanır. İsimlendirme "Çanakkale-H-16-b-01" şeklindedir.
- l/5.000'lik paftalar; 1/10.000'lik paftaların 4 eşit parçaya bölünüp harflendirilmesi ile bulunur. Boyutları 1°30' x 1°30' dır ve a, b. c. d harfleriyle isimlendirilir, "Çanakkale-H-16-b-01-b" gibi.
- 1/2.000 ölçekli paftalar; 1/5.000 ölçekli paftaların 4'e bölünmesiyle; 1/1.000 ölçekli paftalar 1/2.000 ölçekli paftaların 4'e bölünmesiyle; 1/500 ölçekli paftalar ise 1/1.000 ölçekli paftaların 4'e bölünmesiyle elde edilir. Pafta boyutları 1/2.000, 1/1.000 ve 1/500 ölçeklerde, dış sınırlarıyla, 70x90 cm büyüklüğündedir.



Şekil 2, Türkiye ulusal sabit GBS istasyonları ağı (TUSAGA).



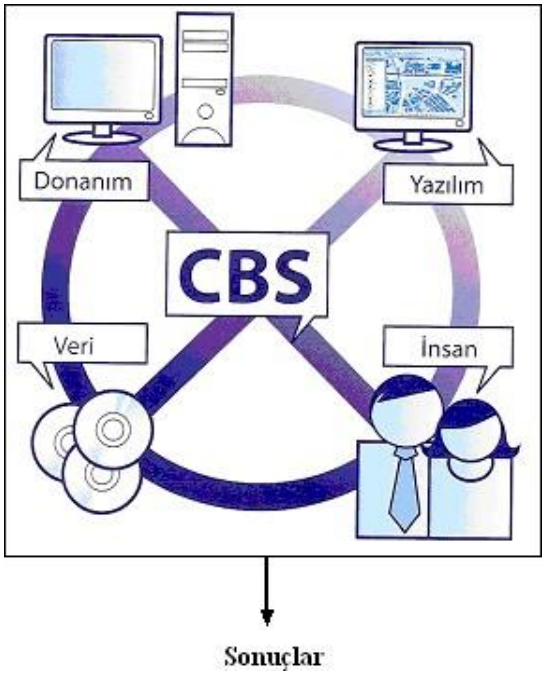
Şekil 3, Türkiye'nin pafta bölümleme sistemi (Yomralıoğlu, 2002 ve Demirci, 2008' den yararlanarak hazırlanmıştır).

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN ÇERÇEVESİ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS; Geographical Information Systems, GIS), coğrafi verilerin bilgisayar donanımları ile belli bir amaç için toplanması, depolanması, güncelleştirilmesi, analiz edilmesi ve görüntü şeklindeki bilgilere dönüştürülmesi işlemlerini gerçekleştiren sistemlerdir.

Günümüzde kullanımı gittikçe yaygınlaşan ve kullanım alanları çeşitlenen CBS, kendi içinde de kavramları, içeriği ve işlevleri açısından büyük değişimler geçirmiştir. Bu değişimler çerçevesinde CBS, Uzaktan Algılama ve Küresel Konumlandırma Sistemleri' ni (GPS) içeren bir disiplin olarak değerlendirilmektedir. Öte yandan, CBS, Coğrafya, Matematik, Bilgisayar, Jeodezi ve Fotogrametri gibi disiplinlerin birikimlerinden yararlanarak gelişmektedir.

CBS, veri tabanlarının sorgulanmasına da olanaklar sağlarlar ve depolanan veriler, istenilen açıdan tekrar oluşturularak, amaca göre tekrar düzenlenip bir haritanın yapımında kullanılabilirler. CBS' in başlıca elemanları Şekil 4'de görülmektedir. Burada söz konusu olan veri, bir arazinin coğrafi koordinatları ve gerekli bilgilerdir. Gereksinim duyulan bilgi ise, kaya ya da torak zeminin türü ve yeraltı su düzeyi gibi bilgiler de olabilir.



Şekil 4, CBS' in başlıca elemanları (Demirci, 2008' den).

Mühendislik jeolojisi haritalarının CBS' ten yararlanılarak hazırlanmasında belirli bir kural yoktur. Bununla birlikte, aşağıda verilen sırayı izlemek harita yapım süresini kısaltmaktadır (Ulusay, 2001):

1. Tasarım
2. Veri tabanının oluşturulması
3. Verilerin analizi
4. Analiz sonuçlarının sunulması

Tasarım

Harita yapımına geçmeden önce, haritanın türü ile çözümlenmesi gerekli sorunlar ve çözüm seçenekleri belirlenir. Tasarım sırasında:

(a) Çalışma alanının sınırları
(b) Kullanılacak koordinat sistemi
(c) Kullanılacak veri katları (litolojik birimler, örnekleme noktaları, jeomekanik özellikler, doğrultu-eğim, yol ve dereler gibi)
(d) Veri katlarında kullanılacak bilgilerin nitelikleri
(e) Verilerin nasıl kodlanacağı belirlenir.

Hazırlanan haritalara ait başlıca bilgilerin özellikleri
(a) Nokta: Sondaj yeri, örnekleme noktaları gibi.
(b) Çizgi: Yollar, faylar, çizgisellikler gibi.
(c) Alan: Maden sahası, jeolojik birim sınırları gibi.
Sonuçta, sayısallaştırılan verilerin yerlerini belirten yersel (x,y) ve niteliğini belirten bilgiler sisteme yüklenmiş olur.

Veri tabanının oluşturulması

Veri sayısallaştırma işlemi, sayısallaştırıcı tabla veya tarayıcı kullanılarak yapılır. Veri tabanı ne kadar sağlıklı oluşturulursa, o ölçüde verilerin analizi sağlıklı bir biçimde yapılabilir.

Verilerin analizi

Verilerin analizi, çalışmanın amacına ulaşılması için yapılan gerekli işlemlerin tümünü kapsar. Örneğin; yapılaşmaya uygun alanların belirlenmesi için gerekli veri tabanını yansıtan ögeler özellikler ve bunlara bağlı nitelikler gereklidir. Bu amaçla hazırlanan bir çizelge aşağıda sunulmuştur (Çizelge, 1).

Çizelge 1, Yapılaşmaya uygun alanların belirlenmesi için gerekli ögeler ve bu unsurlara ilişkin özellikler.

Ögeler	**Nitelikler**
Topoğrafya	Eğim (%)
Zemin durumu	Zemin sınıflaması
Yeraltı suyu durumu	Su tablasının derinliği
Bitki örtüsü	Bitki türü
Yol durumu	Yol türü

Temel ögeler, niteliklerle birlikte değerlendirilerek istenilen ölçütleri sağlayan alanlar, örneğin yapılaşmaya uygun alanlar belirlenir.

Analiz sonuçlarının sunulması

Amaca uygun haritanın elde edilmesini ve raporla birlikte sunulmasını kapsayan süreçtir. Bu süreç, daha önceki aşamalarda ulaşılan başarıya bağlı olarak gerçekleşir.

Kullanım ve uygulanabilirlik

Birçok CBS programının uydu verileri ile elde edilebilen ağ tipi formatın kullanılması, UZAKTAN ALGILAMA ve CBS arasında entegre çalışabilme olanağını sağlamaktadır. CBS' in uygulama alanlarına ait bazı tipik örnekler aşağıda verilmiştir.

* Herhangi bir bölge için kaya ve toprak zemin sınıflama haritası
* Kazılabilirlik haritası
* Topografik veriler kullanılarak üretilen eğim haritası
* Sondaj verilen depolanarak aynı özellikteki kayatürleri için veya kaya kütlesi puanlarına göre mühendislik sınıflamasını gösteren harita ve kesitler
* Yerleşime uygun alanların seçimi

* Yer kayması (Heyelan) tehlike haritası
* Sıvılaşma potansiyeli haritası
* 3 boyutlu görüntüler elde edilerek arazinin 3 boyutlu analizi yapılabilir. Örneğin,
    - Barajlarda rezervuarın alanı ve hacminin belirlenmesi
    - Su altında kalacak yerleşim yerlerinin belirlenmesi kolaylıkla mümkündür.

CBS' in diğer bir avantajı da, yeni bilgiler elde edildikçe, haritaların güncelleştirilme olanağının kolay olmasıdır.

INSPIRE DİREKTİFİ

CBS'den yola çıkarak hazırlanan INSPIRE direktifi, Avrupa Parlamentosu mekânsal veri altyapısını oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu durum Avrupa içinde çevreyle ilgili mekânsal verilerin kamu kurumları arasında paylaşılmasına ve mekânsal bilgilere kamusal erişimin daha kolay hale gelmesine olanak tanıyacaktır. 2019 yılında tamamlanacak bir süreçte farklı uygulama aşamalarını içeren INSPIRE direktifi 15 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe girdi. Avrupa Mekânsal Veri Altyapısı, sınırları aşan bir politikanın oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Bu yüzden Direktifin kapsadığı mekânsal veri yaygın olup, çok çeşitli başlık ve teknik temaları kapsamaktadır. INSPIRE bir dizi ortak ilkeye dayanmaktadır. http://cbs.csb.gov.tr/inspire-nedir-i-5924 (23 Eylül 2018, saat 18.00):

• Veri yalnız bir kez toplanılmalı ve en etkin şekilde saklanacağı yerde tutulmalıdır.
• Avrupa içindeki farklı kaynaklardan gelen muntazam verinin bir araya getirilmesine çok sayıda kullanıcı tarafından uygulamalarda paylaşılmasına olanak sağlamalıdır.
• Belirli bir katman/ölçekte toplanan veri diğer tüm katman/ölçeklerde paylaşılabilmeli, araştırmalar için ayrıntılı olmalı, stratejik amaçlar için genel özellikler içermelidir.
• İyi bir yönetişim için her düzeyde ihtiyaç duyulan coğrafi bilgiye kolaylıkla ve şeffaf bir şekilde erişilebilmelidir.
• Hangi coğrafi bilgilere ulaşılabileceği, istenilen amacı karşılamak için nasıl kullanılacağı ve hangi şartlar altında elde edilebileceği ve istifade edilebileceği bilgisine kolaylıkla ulaşılabilmelidir.

CBS TEMELİNDE HARİTALARIN ÜRETİLMESİ

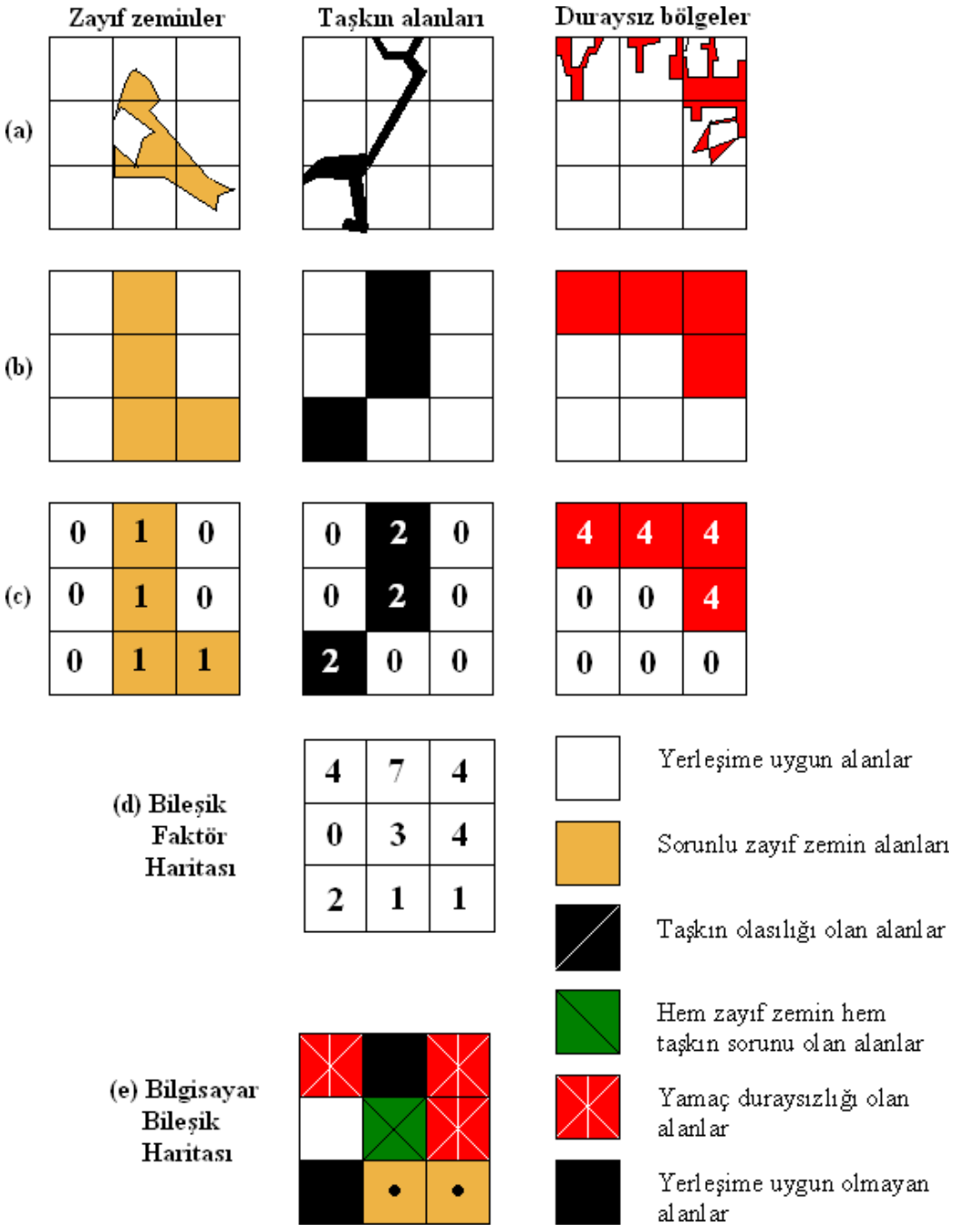
Öncelikle haritaların hangi amaçla hazırlanacağına karar verilmelidir. Örneğin yer seçimi ile ilgili bir haritanın hazırlanmasına karar verilmesi halinde, yer seçimini etkileyen değişkenler, önce ayrı ayrı ele alınıp, daha sonra bunların etkilerinin birlikte değerlendirilmesi için bir temel oluşturulur. Birleşik haritaların hazırlanmasında aşağıdaki aşamalar izlenir.

(1) Kaynak haritaların hazırlanması,
(2) Kaynak haritaları sayısallaştırılır,
(3) Çalışılan konuyla ilgili her kaynak haritasının toplamı % 100 olacak şekilde, her değişken için ağırlıklı etki faktörleri belirlenerek kaynak haritalar kendi içlerinde analitik işlemlere tabi tutulur.
(4) Bir önceki aşamada elde edilen etki faktörleri, haritalar birleştirilerek/örtüştürülerek Birleşik Faktör Haritası elde edilir.
(5) Sonuçta Bileşik Faktör Haritası'ndan yararlanarak hazırlanan Bilgisayar Birleşik Haritasından uygun olan alanlar belirlenir.

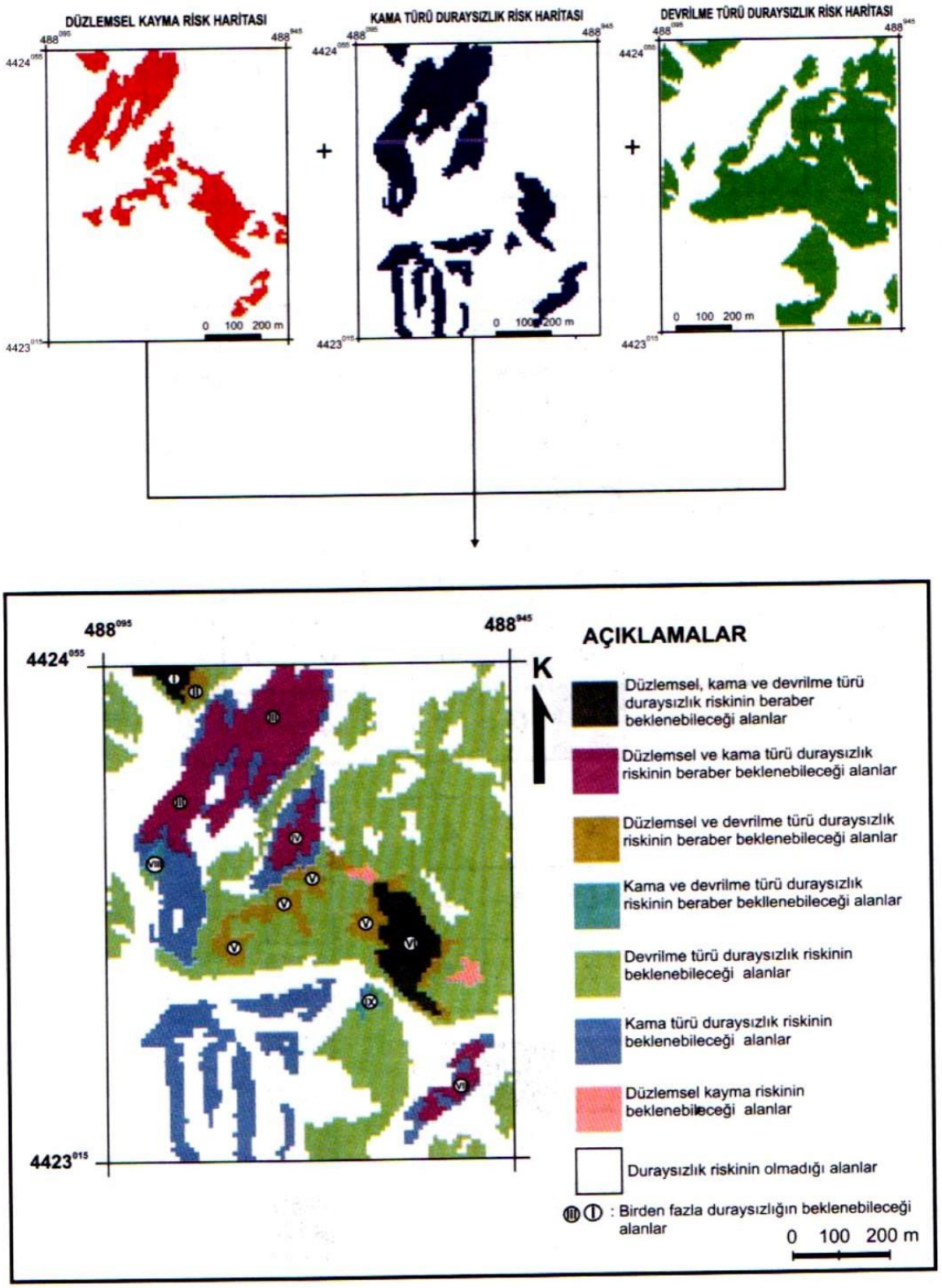
Şekil 5'de bir bilgisayar ortamında yukarıda sunulan aşamalar izlenerek hazırlanmış bir harita örneği görülmektedir. Böyle bir haritada, önce zayıf zeminler, taşkın alanlar (akaçlama sistemi gözetilerek) ve duraysız bölgeler (yer kaymaları gözetilerek) için üç ayrı harita, CBS temelinde sayısallaştırılarak hazırlanır. Sonra sıra ile analitik işlemler ve haritaların birleştirilmesi ile Birleşik Faktör Haritası elde edilir. Bu haritadan da yararlanarak zayıf zeminlerin, taşkın ve duraysızlık riski olan alanların bulunduğu yerler gözetilerek yerleşime uygun alanlar tercih edilir.

Sonuç olarak bu örnekte zayıf zeminler, taşkın alanları ve duraysız bölgeler gibi üç ana değişkeni esas alan ve yer seçimi amacıyla kullanılabilen hipotetik bir mühendislik jeolojisi haritasının hazırlanmasında izlenen aşamalar özet olarak sunulmuştur. Şekil 6'da ise yamaç duyarlılığı için yapılan

kinematik analizler sonucunda elde edilmiş verilere göre, CBS' den yararlanılarak hazırlanmış bir duraysızlık (yer kayması) risk haritası görülmektedir.



Şekil 5, Bilgisayar ortamında bir haritanın hazırlanmasına ilişkin aşamalar (Froelich vd., 1978).



Şekil 6, Kinematik analiz sonuçları esas alınarak ve CBS kullanılarak hazırlanmış bir yamaç duraylılığı haritası (Ercanoğlu, 1997).

CBS' NİN BAZI UYGULAMALARI

CBS, özellikle Çevre, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) ve jeolojik ortamların tanımlanmasına yönelik uygulamalarda, haritaya dayalı kuramsal verilerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. ÇED çalışmalarında CBS'in analitik potansiyeli büyük önem taşır. Özellikle proje alanının tanımı, projelere ilişkin etkilerin saptanması, izlenmesi ve değerlendirilmesi, seçeneklerin karşılaştırılması, çevresel etkilere ilişkin önlemlerin izlenmesi ve denetiminde CBS' in katkıları giderek gelişmektedir.

CBS, karayolları, boru hatları, yerleşim birimleri, kıyı ve taşkın koruma çalışmaları, barajlar, limanlar ve enerji hatlarına ilişkin projelerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde yoğunluk kazanmıştır.

Karayolları projelerinde ÇED çalışmalarının gerçekleştirilmesinde bazı güçlükler vardır. Bu durum, karayollunun çizgisel yapısı boyunca çok farklı doğal, sosyoekonomik ve kültürel ortamlardan geçmesi ve içinden geçtiği ortamları bölen ya da başka bir deyişle parçalayan bir mühendislik çalışması olmasından dolayıdır. Bir karayolu projesinde CBS, güzergâh seçimi, ekolojik açıdan duyarlı bölgelerin belirlenmesi, seçenek oluşturan güzergahların karşılaştırılması, güzergâh boyunca oluşan çeşitli etkilerin belirlenip izlenmesi, alınan önlemlerin izlenmesi ve denetimi konularında önemli katkılar sağlamaktadır.

Doğa kaynaklı ve insani (beşeri) afetlere yönelik uygulamalar

Deprem, kasırga, sel ve taşkın gibi çeşitli doğa kaynaklı afetlerin ya da nükleer tesis ve tanker kazaları gibi insan kaynaklı afetlerin çevre üzerindeki etkilerini belirleme ve hasar saptanması gibi özel çaba gerektiren çalışmaların gerçekleştirilmesinde CBS çok değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu çerçevede çevre açısından duyarlı uydu görüntüleri yardımıyla, afetlerden etkilenen topluluklar için güvenli bir alanın yer seçimi de yapılabilir.

Deniz kirliliği ve atmosferik kökenli çevre afetlerine ilişkin duyarlı uydu görüntülerinin kullanımı yaygındır (Nielsen ve diğerleri, 2002). Şekil 7a'da bir tayfun olayı sonrasında meydana gelen hasar durumu (sol alt bölgede), 7b'de İngiltere'de denizde meydana gelen tanker kazası sonucu çevrenin kirlenmesi (A, dökülen yağ deniz yüzeyinde koyu bir leke, B ve C henüz kirlenmemiş yerler, D ise dökülen yağın deniz tabanına doğru ilerlediği bölgeyi göstermektedir).

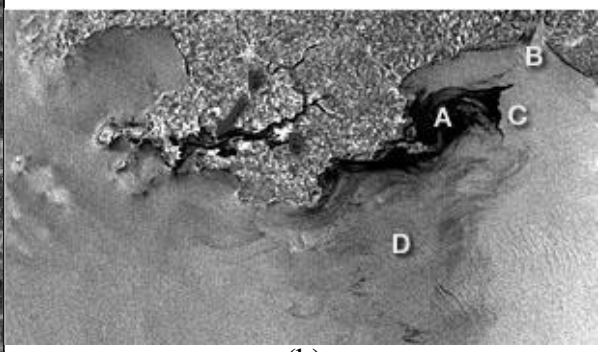
7c'de bir tren kazası sonucu taşınan kimyasal madenin çevresine verdiği hasar, 7d'de Kaliforniya'da bir orman yangınının çevreye verdiği hasar izlenmektedir. Şekil 7e'de Marmara bölgesinin afet öncesi görüntüsü 7f'de afet sonrası (yoğun siyah dumanların) görüntüsü ve 7g'de İzmit rafinerisinde afet sonrası meydana gelen yangın izlenmektedir (Nurlu, 2004).

Uydu görüntülerinin doğal afetlerdeki kullanımına ilişkin bazı örnekler de Şekil 8'de görülmektedir. 8a, 1995 Dinar depreminde çalışan fay (görüntünün kuzeyinde, KB doğrultulu çizgi), 8b, 1995 Senirkent çamur akması görüntüsü (Senirkent 1 km daha kuzeyde kurulmuş olsaydı afetin boyutları daha az olurdu).

8c, Marmara depreminin eş şiddet haritası görülmekte (CBS kullanılarak yapılan haritada hasarların nerelerde yüksek olacağı, ilk yardım ekiplerinin nerelere yönlendirileceği ortaya konulmuştur).

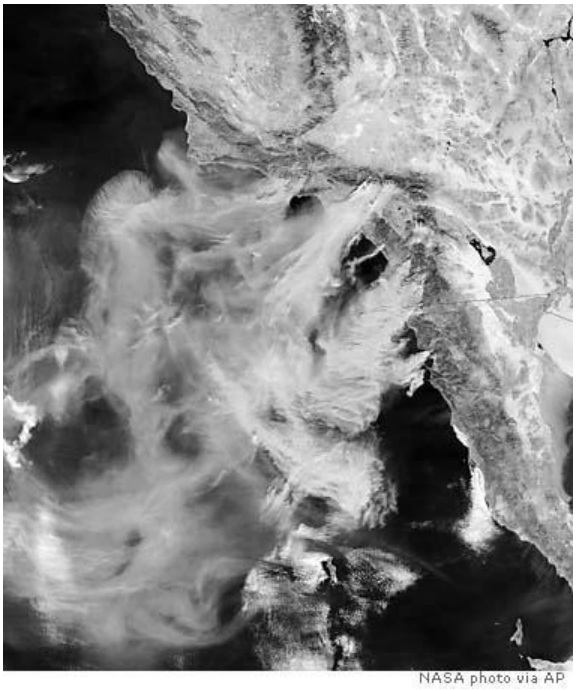
8d, 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden yaklaşık 3 ay sonra, aynı fay hattının batı ucunda yaşanan 12 Kasım Düzce depremi sayısal arazi modeli üzerindeki görüntüsü izlenmektedir. (Yerleşim yerleri fay hatlarına yakındır). 8e'de Çay (Afyon) depreminin üç boyutlu uydu görüntüsü, 8f, aynı depremin etkinliği, fayların ve yerleşim yerlerinin üç boyutlu görünümü izlenmektedir (Nurlu, 2004).

(a)

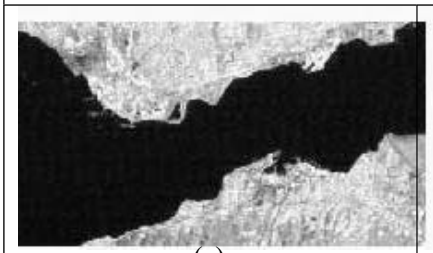


(b)

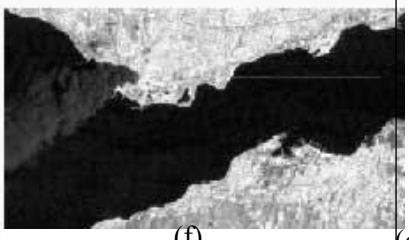
(c)



(d)



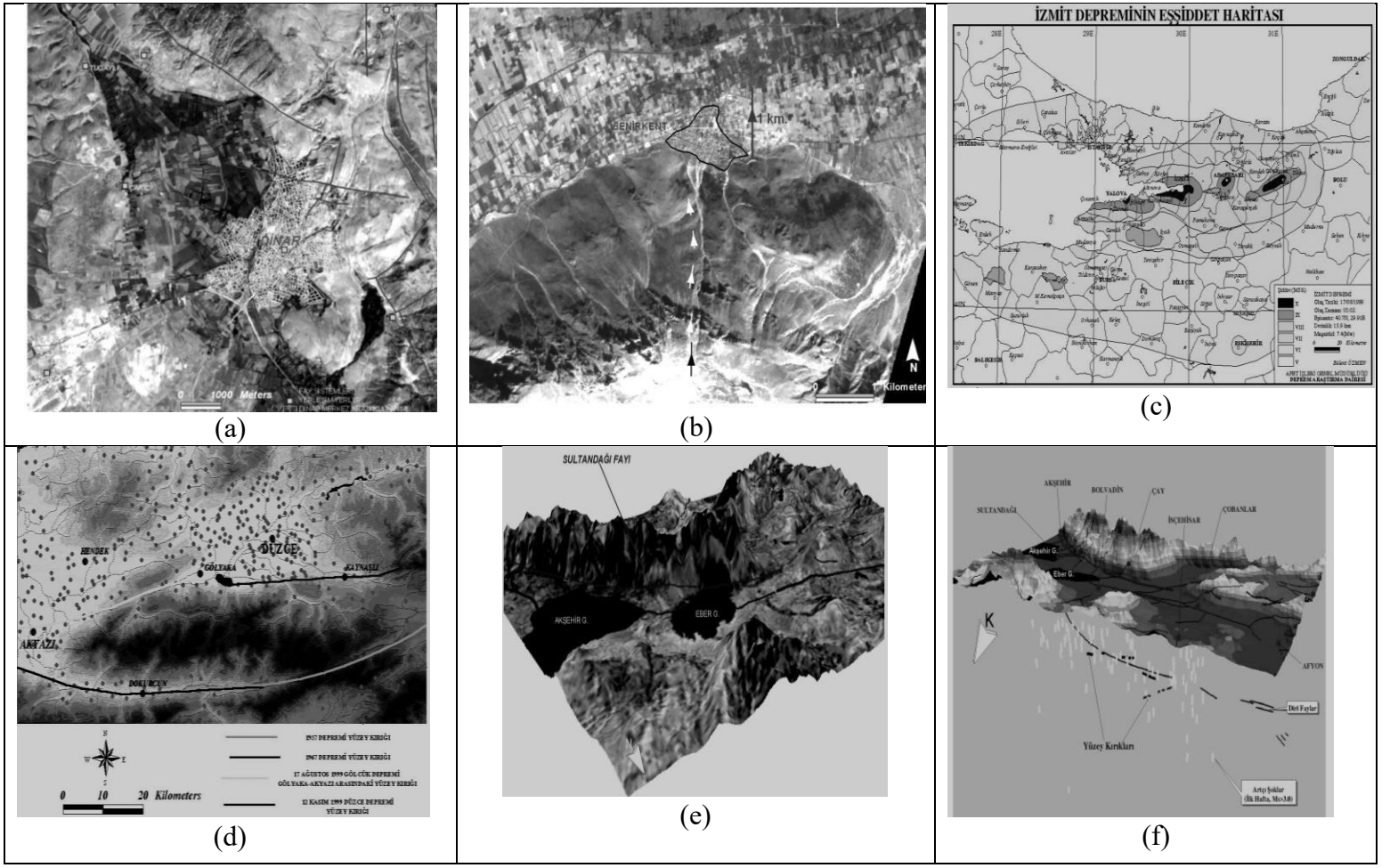
(e)



(f)

(g)

Şekil 7. Çevre felaketine neden olan bazı olayların uydu görüntülerine yansımaları (http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/; Nurlu 2004'den).



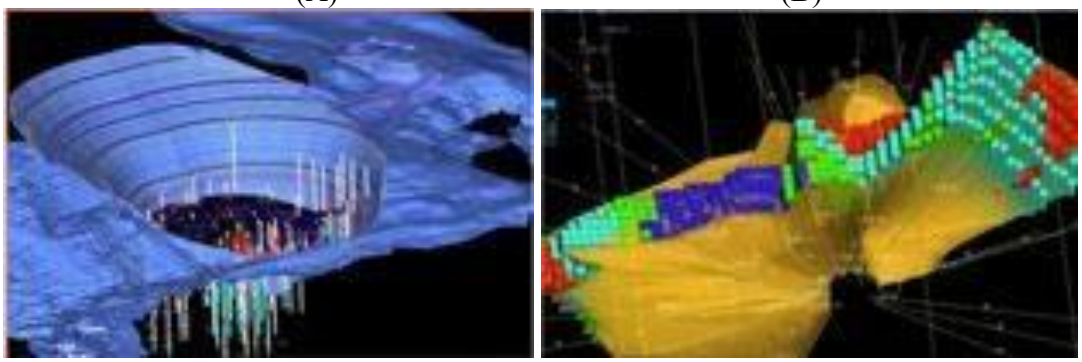
Şekil 8, Uydu görüntülerinin doğa kaynaklı afetlerde kullanımı (Kaynak: http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/misc/issues/hazards_e.html ve http://earthobservatory.nasa.gov; Nurlu 2004'den).

Çevre, birçok coğrafik ve diğer faktörlerin bir arada bulunduğu, doğa kaynaklı ve yapay gelişmelere ilişkin bilgileri içeren çok disiplinli bir ilgi alanı olması nedeniyle, CBS' in en yoğun uygulama alanlarından biridir. Çevre ile ilgili kararların alınabilmesi, çevreyi etkileyen unsurların belirlenebilmesi için öncelikle söz konusu çevrenin doğal yapısı, çevreye uygun olarak modellenmelidir. Ayrıca çevreye ilişkin konuma dair analizler ile çevresel değişimlere ait iyileştirici ve önlem alıcı kararlar gerçekleştirildikten sonra denetlenmelidir. CBS' in analizi çok geniş alanlara ilişkin arazi yapısı hakkında önemli bilgiler sağladığından, çevreye yönelik planlamaların daha dinamik olarak yaşama geçirilmesinde katkıda bulunmaktadır.

Madenciliğe dair uygulamalar

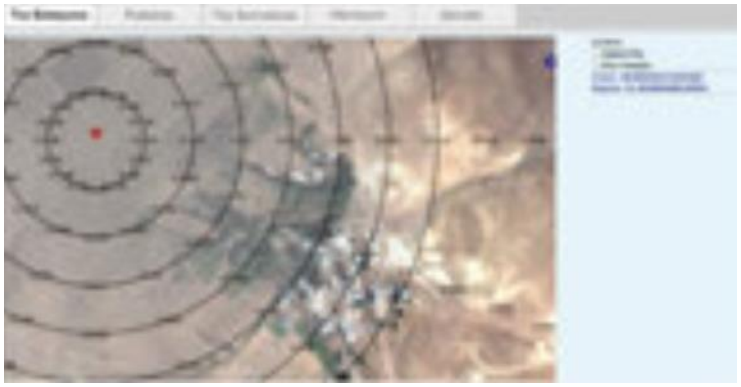
Jeolojik ortamın tanımlanması çerçevesinde, örneğin madencilik sektöründe, açık ocak işletmeciliğinde sondaj noktaları, derinlikleri, basamaklar, blok modellemeleri, hafriyat hesaplamaları yapılabilir ve batimetrik haritalar ve 3 boyutlu tesis görüntüleri üretilebilir (Şekil 9 A ve B).

(A) (B)



Şekil 9. NetCad uygulamaları, 3B imalat haritası (A), sondaj ve blok modellemesi (B). (Güven, 2013).

CBS sistemleri, ağırlıklı olarak karar destek sistemlerine de uygulanmaktadır. Örneğin, ÇED raporlarında yer alan hesaplamalar, karar-destek sisteminde tanımlanabilir. Açık maden ocağı işletmelerinde patlatma, taş savrulması, vibrasyon, gürültü, oluşan emisyonlar gibi etkilerin, etkileyeceği alan CBS temelinde haritaya aktarılabilir (Şekil 10). Sistem kullanıcısı, girdileri ayarlayarak etki alanında değişiklikler de yapabilir.



Şekil 10. e-ÇED Karar Destek Sistemi toz emisyonu yayılımı ekran görüntüsü (Güven, 2013).

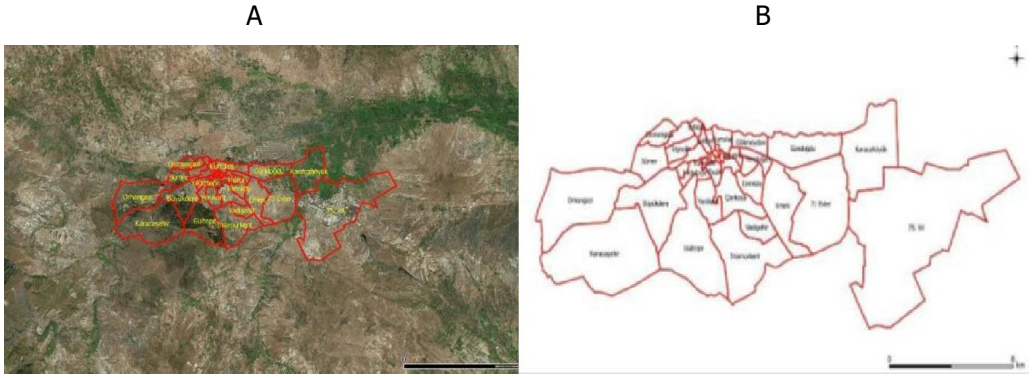
Kentlerin uygun yerleşim planı için de çok sayıda veriye gereksinim duyulmaktadır. Bu veriler ile analiz yapılması ve uygun yerlerin bulunması planlamanın ilk koşuludur. CBS, bu amaca dönük, en

iyi ve hızlı sonuç alınmasını sağlayan bir uygulamadır. Çok sayıda veriyi depolayan, saklayan, güncelleştirebilen ve en önemlisi analiz edebilen bir yöntemdir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte Uzaktan Algılama olarak tanımlanan uydu görüntülerini de kullanarak kısa sürede doğru sonuçlar verebilmektedir.

Açık kaynak kodlu CBS ile çevre sorunlarının çözümlenmesi ve denetlenmesi mümkündür. Bu çerçevede yapılan iki uygulama aşağıda sunulmuştur. Açık kaynak kodlu yazılım veya açık kaynaklı yazılım, kaynak kodu herkese açık olan yazılımdır. Bunun anlamı, onun üzerinde herhangi bir değişiklik yaparak kendi sürümünüzü oluşturma yeteneğine karşılık gelmektedir (Öztürk, 2013). Bu tür yazılımların ayırt edici özelliği kullanıcıya yazılımı değiştirme özgürlüğü sağlamasıdır. Açık kaynak kodlu yazılımlar, uyarlanabilir, sağlam, hızlı ve güvenlidir. Günümüzde Açık Kaynak Kodlu çok sayıda UA ve CBS yazılımı kullanılmaktadır. Bunların başında QGIS, SAGA, uDig ve ILWIS gelmektedir (Ayday, 2019a).

CBS ile karbon ayak izi ve karbon salınım haritasının hazırlanması

Karbon ayak izi, dünya üzerinde insanların ulaşım, ısınma için kullandığı her türlü araçtan çıkan, ürettiği enerjiden atmosfere yayılmasına neden olduğu karbon miktarını hesaplayan ve ölçülen bir değerdir. Eskişehir İli, Odunpazarı İlçesi sınırları içinde kalan mahallelerde, Karbon salınım haritası, Açık Kaynak Kodlu CBS yazılımı ile hazırlanmıştır. Yapılan çalışma Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde bir Yüksek Lisans tezi olarak sunulmuştur (Reveghe Dassi, 2017; Ayday, 2019b'den). Belirtilen ilçe sınırları içinde 2016 yılına ait doğalgaz ve elektrik tüketimine bağlı olarak CO_2 emisyonları hesaplanmıştır. Bu her mahalleye ait emisyon değerleri CBS yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve tüm veriler haritalara CBS yazılımı ile işlenmiştir. Eskişehir ili, Odunpazarı Belediyesi sınırları içinde yer alan 37 mahallenin uydu görüntüsü ve mahalleleri sıra ile Şekil 11 A ve B' de görülmektedir.

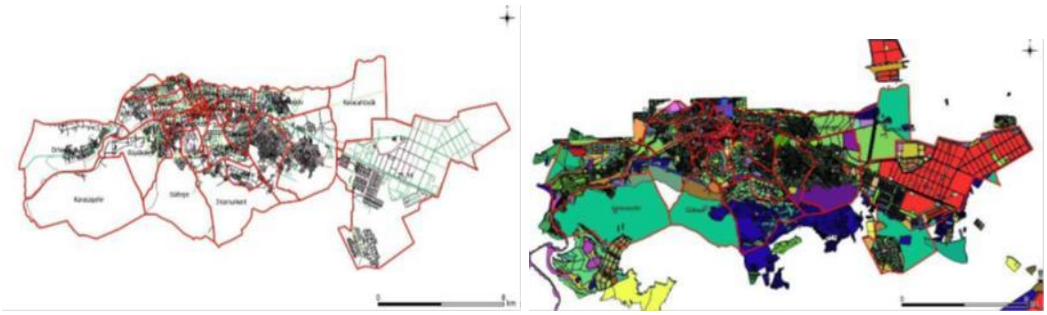


Şekil 11. Eskişehir ili Odunpazarı Belediyesi ve dolayının uydu görüntüsü (A) ve mahalleleri (B). (Ayday, 2019b).

Odunpazarı Belediyesi'nin yol durumu ve yerleşim haritası sıra ile Şekil 12 A ve B'de izlenebilir. Elektrik tüketimine göre CO_2 salınım haritası mahallelere göre CBS yöntemi ile hazırlandığında (Şekil 13 A) CO_2 salınımın yüksek olduğu mahalleler ortaya çıkmaktadır. Aynı yöntem, mahallelerin gaz tüketimi konusunda uygulandığında Şekil 13 B' de görüldüğü gibi mahallelere göre CO_2 salınım haritası oluşur.

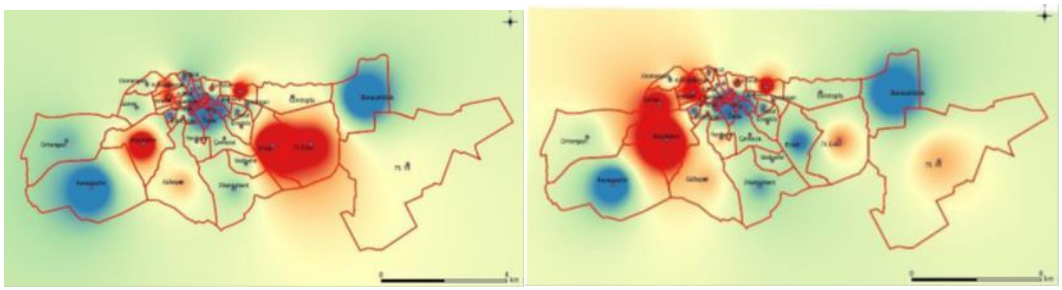
Elektrik ve gaz salınımı birlikte ele alınıp CBS yöntemiyle değerlendirildiğinde ise Şekil 14' de görülen toplam CO_2 salınım haritası ortaya çıkar. Odunpazarı Belediyesi'nin bu duruma göre yüksek CO_2 salınımı gösteren mahallelerde gerekli önlemleri alması beklenmektedir.

A B

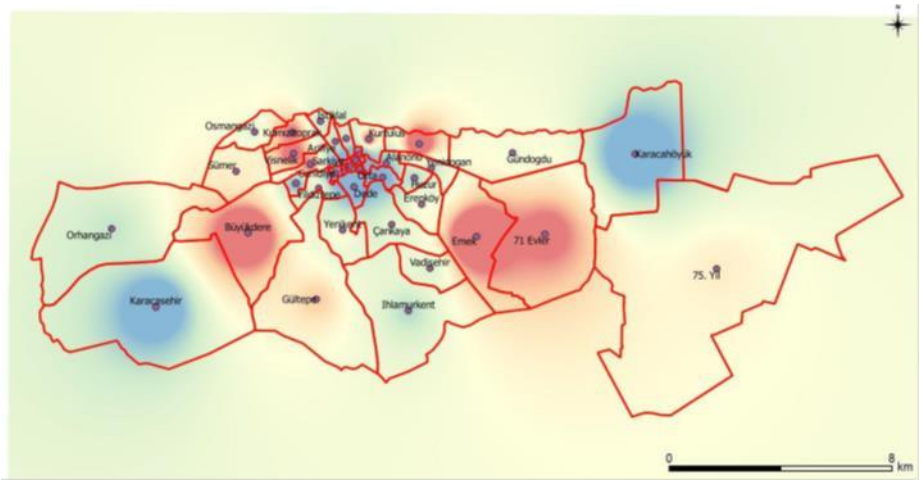


Şekil 12. Odunpazarı Belediyesi'nin yol durumu (A) ve yerleşim haritası (B), (Ayday, 2019b).

A B



Şekil 13. Elektrik tüketim karbon salınımı (A) ve gaz tüketimi gaz salınımı (B), (Ayday, 2019b).



Şekil 14. Elektrik ve gaz salınımı, toplam CO2 salınım haritası (Ayday, 2019b).

Haşere ilaçlamasında CBS yazılımı kullanımı

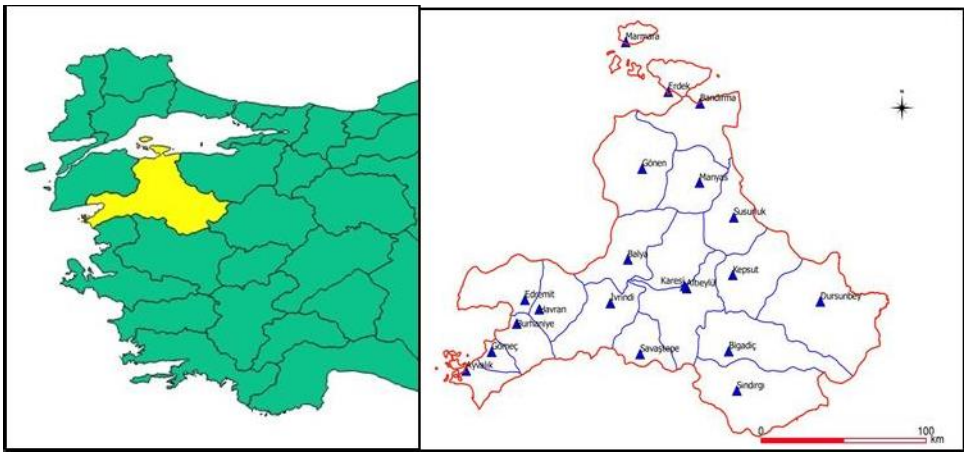
Günümüzde nüfusun artması, yeni yerleşim yerlerinin gelişmesi ve plansız büyüme sağlıksız yaşamı gün yüzüne çıkarmıştır. Genellikle geri kalmış ülkelerde ve yörelerde haşerelere bağlı hastalıklar hızla artmaktadır. Bu nedenle, söz konusu olumsuzluklarla mücadele etmede yeni teknolojileri kullanmak gerektiği açıktır (Ayday, 2019 b). Bu çalışma da:

- Haşere İlaçlamasının planlı olarak yapılması,
- Haşere üreme yerlerinin önceden belirlenerek önlem alınmasında, yeni tekniklerin kullanılmasına yöneliktir.

Haşere oluşumunu etkileyen faktörler

1. Toprak Yapısı
2. Su
3. Topoğrafya
4. Arazi Durumu (genellikle yeşil alanların dağılımı)

Sunulan çalışma, Açık Kaynak Kodlu CBS ve UA (Uzaktan Algılama) yazılımı kullanılarak Sivrisinek ve Haşere üreme olasılığı olan yerlerin belirlenmesine yöneliktir. Örnek alan olarak, çalışılan yer, Balıkesir ilidir. Çalışılan alanın bulduru haritası Şekil 15'de görülmektedir.



Şekil 15. Çalışma alanı bulduru haritası (Ayday, 2019b).

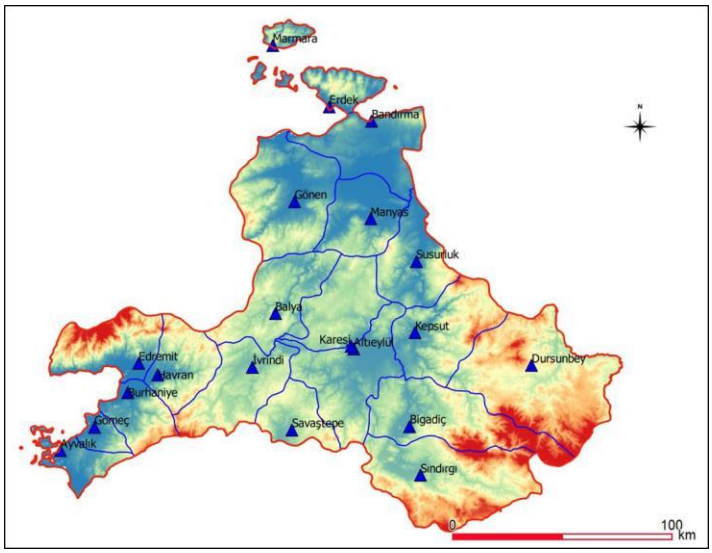
Yapılan analizler

1. Arazi Analizi (Terrain Analysis)
- Yükseklik (> 1500 m)
- Baki (kuzeye bakan yamaçlar)

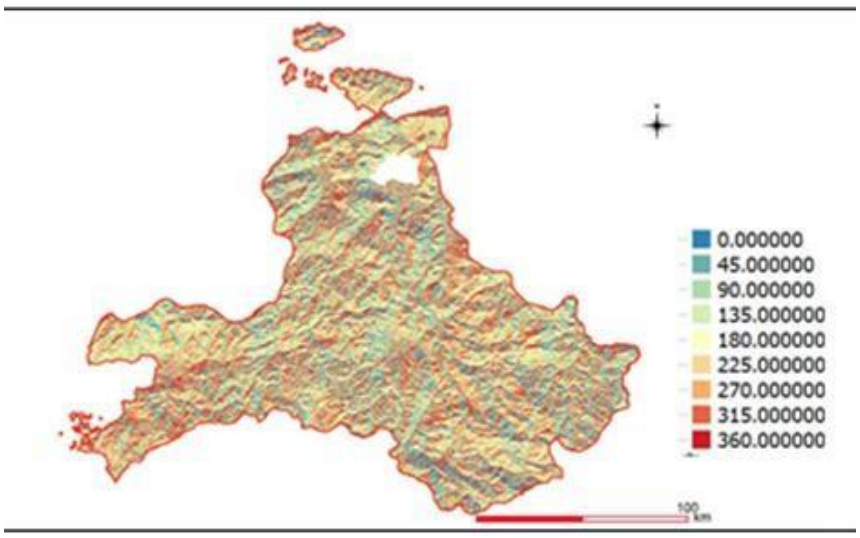
2. Zon Analizi (Buffer Zone)
- Nehirler (500 m. zon)
- Sulak Alanlar (500 m. zon)
- Yerleşim yerleri (5 km.)
- Kuzey Yamaçlar

3. Karasi yerleşim yeri ve NDVI Analizi

Yapılan arazi analizinde, Balıkkesir iline dair Sayısal Yükseklik Verilerini (STRM) ve Baki (kuzeye bakan yamaçların) belirlenme gereksinimi vardır. Çünkü bu verilerin haşerenin yaşam alanlarının belirlenmesinde önemli yerleri vardır. Yükseklik haritası Şekil 16'da, Baki haritası ise Şekil 17'de görülmektedir.

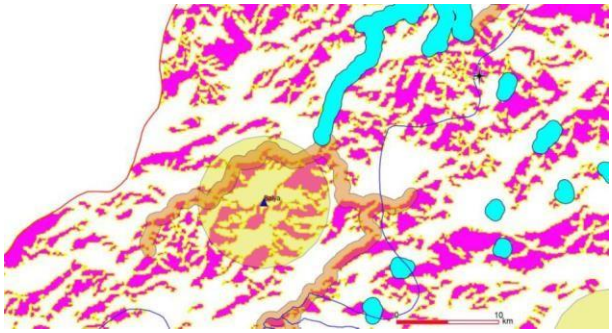


Şekil 16. Balıkesir ilinin Sayısal Yükseklik haritası (Ayday, 2019b).



Şekil 17. Balıkesir'in Baki Haritası (Ayday, 2019b).

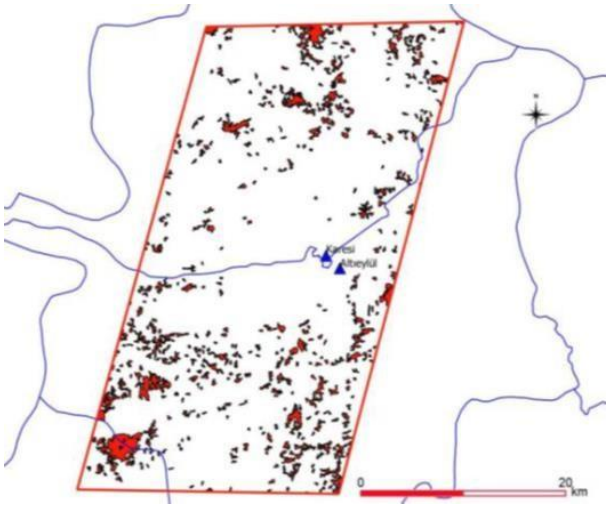
Öncelikle, Balıkesir il sınırları içinde nehirler ve sulak alanlar belirlenmiştir. Bu alanların etrafında, yaklaşık 500 m'lık bir zon oluşturulmuştur. Yerleşim yerlerinin etrafında ise 5 km'lik bir zon ayrılmıştır. Kuzeye bakan yamaçlar haşere ve sivrisinek üreme potansiyeli yüksek alanlardır. Bu yerler ile diğer alanlar (yani yerleşim yerleri ve sulak alanlar) Şekil 18'de görüldüğü gibi üst üste (Overlay Analysis) getirilmiştir. Kesişen yerler, sivrisinek ve haşere üreme potansiyeli yüksek yerlerdir. 152



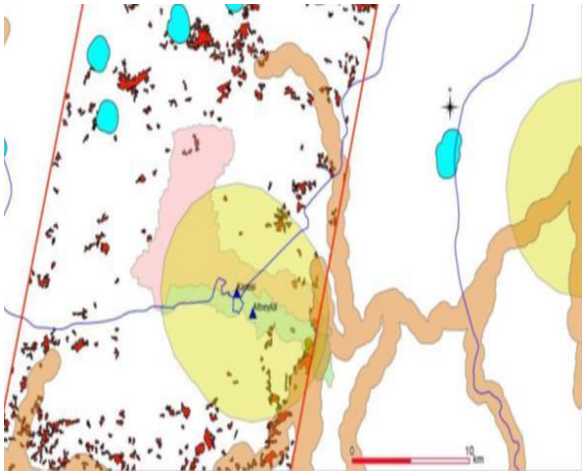
Şekil 18. Nehirler+Sulak Alanlar+Yerleşim Alanları+Kuzey Yamaçların kesişimi (Ayday, 2019b).

Bu analiz, Balıkesir il sınırları içinde yer alan ***'Karasi'*** yerleşim yeri için de yapılmıştır. Yapılan çalışmada, varılan sonuç, NDVI olarak adlandırılan (Normalize Difference Vegetation Indax) yöntemi ile Uzaktan Algılama (UA) yöntemi birleştirilerek elde edilmiştir.

Bu NDVI yöntemiyle, Şekil 19'da görülen koyu yeşil alanlar tanımlanmıştır. Koyu yeşil alanlar, yoğun olduğu yerler sivrisinek ve haşare üreme yerleridir. Karasi yerleşim yerinin havzaları, nehir ve sulak alanların zonları ise, Şekil 20'de çakıştırılmış hali ile görülmektedir. Elde edilen tüm potansiyel sivrisinek ve haşare üreme yerleri ile Karasi yerleşim yerini etkileyebilecek havzalar ile de çakıştırıldığında Karasi için en riskli yerler de ortaya koyulmuştur.



Şekil 19. Karası yerleşim yeri ve dolayının NDVI haritası 153 (Ayday, 2019b).

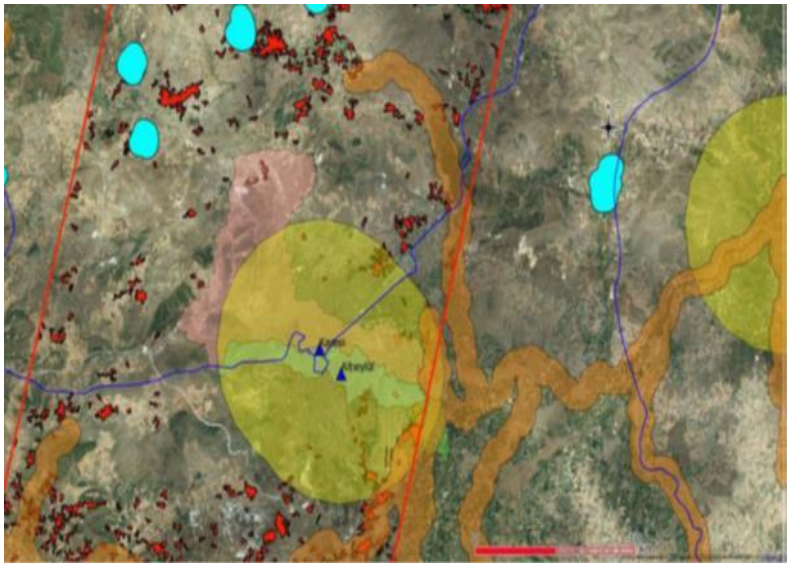


Şekil 20. Karasi yerleşim yerinin havzaları, nehir ve sulak alanların çakıştırılmış durumu (Ayday, 2019b).

Şekil 21'de ise, elde edilen riskli yerler uydu görüntüsü (Bing Map) ile çakıştırılarak, riskli yerlerinin kolayca bulunabileceği bir görünüm sağlanmıştır.

Bazı sonuçlar ve öneriler

• Sivrisinek ile mücadelede yeni teknoloji kullanmak kolaydır.
• CBS ve UA yöntemlerini bilmek yeterlidir.
• Bu yöntemlerin Açık Kaynak Kodlu yazılımlarının kullanılarak bu işlerin yapılabileceği gösterilmiştir.
• Bu yöntemlerin bilinçli olarak kullanılması, fazla kullanılarak çevreyi etkilememek mümkündür.
• Sinek ve haşere ile mücadelede en önemli yöntem, bu sinek ve haşerelerin üreme alanlarını önceden belirlemektir.



Şekil 21. Çalıştırılan tüm zonlar ile elde edilen riskli alanların uydu görüntüsü üzerinde görünümü (Ayday, 2019b).

• Sinek ve haşereler, üreme aşamasını geçtikten sonra, bunlarla mücadele etmek zor ve masraflı olmaktadır.
• Tüm bu konuda sinek ve haşere ile mücadele eden belediyelerin bu yöntem ile daha az ilaç kullanarak, bu konuda daha az para harcayacakları ortadadır.
• Gelişmiş ülkeler, yöntemlerle CBS ve UA gibi yöntemlerle mücadele etmekte ve bu alanda daha az harcama yapmaktadırlar.
• Ülkemizde de bu konuda çalışmalar yapılmalı, tüm yerel yönetimler bu yöntemleri kullanmalıdır.

CBS'nin kullanıldığı başlıca alanlar

Maden arama çalışmalarının yönlendirilmesi,
Yerleşim ve sanayi alanlarının yer seçimi ve yayılma yönlerinin izlenmesi,
Kıyıların korunması,
Yeşil alanların belirlenmesi,
Kirliliğin yayıldığı alanların tanımlanması,
Çeşitli faaliyetlerin çevre üzerindeki etkilerinin izlenmesi ve denetimi,
Ulaşım sistemlerinin planlanması,
Tehlikeli evsel atık alanlarının belirlenmesi ve bunların çevresel etkilerinin izlenmesi,
Su kaynakları ve havzaların korunması ve iyileştirilmesi gibi birçok konu CBS temelinde daha sağlıklı olarak irdelenebilmektedir.

SONUÇLAR

Özetle, çevre yönetimi, doğal kaynak yönetimi, mülkiyet-idari yönetim, bayındırlık hizmetleri, eğitim, sağlık yönetimi, yerel yönetim faaliyetleri, ulaşım planlaması, turizm, orman ve tarım, ticaret ve sanayi, savunma ve güvenlik gibi alanlarda (Güven, 2013) son derece verimli bir şekilde kullanılabilir.

CBS' in bazı temel avantajları aşağıda sunulmuştur:

1. Projelerin yer seçiminde ve proje seçeneklerinin karşılaştırılmasında kolaylık sağlaması.
2. Projenin gerçekleştirileceği alana ait verileri depolama, düzenleme ve kolayca güncelleştirme olanağı sağlaması.
3. Çevresel etkileri daha iyi ölçme ve değerlendirme olanağı sağlayan mekansal analiz ve modelleme yeteneği.
4. Etkin sunum tekniği ile projenin (ÇED sürecine katılan halk dahil herkes tarafından) daha kolay anlaşılır hale gelmesi.
5. Değerlendirmelerde, insan hatalarını en aza indirerek, en doğru sonuçlara en kısa zamanda ulaşabilmesinin sağlanması.

Günümüzde, Google Earth ve benzeri web tabanlı uygulamaların gelişmesi, coğrafi bilgi sistemlerine ilgiyi arttırmış ve kullanıcı sayısını genişletmiştir.

KAYNAKLAR

Ayday, C., 2019a, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Açık Kaynak Kodlu CBS'nin Genel Çerçevesi. 27. Dönem, 1. Çevre Jeolojisi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Eğitim Semineri, JMO Konferans Salonu, Ankara.

Ayday, C., 2019b, Açık Kaynak Kodlu CBS ile Çevre Sorunlarının Çözümlenmesi ve Denetlenmesi. 27. Dönem, 1. Çevre Jeolojisi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Eğitim Semineri, JMO Konferans Salonu, Ankara.

Demirci, A. 2008, Öğretmenler için CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi): Fatih Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İstanbul, 379 s.

Güven, M. S., 2013, Çevresel etki değerlendirmesinde CBS'nin yeri ve örnek uygulamalar. Uluslararası ÇED Kongresi, Bildiriler Kitabı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 8-10 Kasım 2013, İstanbul Kongre Merkezi, s. 455-464.

Nielsen, O.J., Nicolaisen, F.M., Bacher, C., Hurley, M.D., Wallington, I. J., ve Shine, K. P., 2002, Infrared spectrum and global warming potentinal of SF_5CF_3, Atmospheric Environment, 36, 1237-1240.

Nurlu, M., 2004, Uydu görüntülerinin doğal afetlerde kullanımı: Örnek çalışma, 1995-2003 Türkiye depremleri ve çevre boyutları: Çevre 2004, 1. Ulusal Çevre Kongresi, CÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, s.35-44.

Öztürk, Z.A., 2013, "Açık kaynak kod nedir, size de gerekli mi?", Web: (https://www.chip.com.tr/haber/acik-kaynak-kod-nedir-size-de-gerekli-mi_38478.html.)

Ulusay ,R., 2001, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler ;TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları (Genişletilmiş 4. Baskı) no.38, Ankara, 385 s .

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276s.

Yomralıoğlu, T., 2002, Coğrafi Bilgi Sistemleri, 2. Baskı, KTÜ, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İBER Ofset, Trabzon, 479 s.

Bölüm 17. UYGULAMALI MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ HARİTALARI

GENEL BİLGİLER

Bir bölgedeki sanayileşme, ulaşım ve yerleşime ilişkin yer seçimi o bölgedeki doğal çevreyi büyük ölçüde etkilemektedir. Doğacak olası zararların önlenebilmesi için her faaliyetin çevreye olan etkilerin denetlenmesi zorunludur. Bu nedenle, öncelikle bölgenin jeo-mühendislik özelliklerinin bilinmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Böyle bir değerlendirme, yanlış arazi kullanımının önlenmesinin yanı sıra, sanayileşme-yerleşim-ulaşım ile doğal çevre arasındaki duyarlı dengenin sağlanmasına ve sürekli kılınmasına da katkı sağlamaktadır. Dolaysıyla, yerleşim, arazi kullanımı, yer seçimi ve değişik amaçlı mühendislik çalışmalarında, mühendislik jeolojisi haritalarından yararlanmanın önemi ve gereği gün geçtikçe artmaktadır,

Mühendislik jeolojisi haritaları, özel bir jeoloji haritası türü olup, özellikle inşaat ve yerleşim yerlerini belirleme ile madencilik uygulamalarının, kazı, tasarım, inşaat ve iyileştirme evrelerinde esas alınan ve jeolojik çevreyle ilgili gerekli bilgileri kendine özgü bir sunum biçimiyle veren haritalardır. Bu haritalarla ilgili önemli ayrıntılar Ulusay (2001) tarafından ortaya konulmuştur.

Bir bölgedeki mühendislik jeolojisi koşullarını yaratan başlıca faktörler; bölgedeki kaya ve toprak zemin türleri, hidrojeolojik durum ve jeodinamik süreçlerdir. Bu nedenle söz konusu haritalarda jeolojik çevre ile mühendislik uygulamaları arasındaki ilişkileri ortaya koymak gerekir. Bunun için temel jeolojik birimlerin kayatürü özelliklerini, bunların birbirleriyle olan ilişkilerini ve etkili jeodinamik süreçleri yalın ve anlaşılabilir şekilde sunan bir düzenleme gerçekleştirilmelidir.

Bir ***mühendislik jeolojisi haritası*** aşağıda belirtilen gereksinimleri karşılayabilecek nitelikte hazırlanmalıdır:

1. Bölgesel planlama, yer seçimi, inşaat ve kazı çalışmaları gibi çalışmalar da gözetilerek, mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi için gerekli altyapıyı sağlayabilmelidir.
2. Bu altyapı, jeoloji mühendisi olmayan kullanıcılar tarafından da kolaylıkla anlaşabilecek bir şekilde hazırlanmış olmalıdır.
3. Üretilen bilgi, bölgenin doğal yer süreçlerinde ortaya çıkabilecek sorunların önceden kestirilmesine ve iyileştirici önlemlerin alınmasına, yani ÇED çalışmalarına olanak sağlayabilmelidir.

Mühendislik jeolojisi haritaları; jeolojik, hidrojeolojik, jeomorfoloji ve jeoteknik veriler esas alınarak hazırlanır. Bu haritalardan sağlanan temel bilgiler mühendislik jeolojisinde uygun işaretlerle gösterilir ve açıklanır. Aşağıdaki bölümlerde mühendislik jeolojisi haritalarının genel özellikleri, türleri ve konuyla ilgili diğer hususlar sunulmuştur.

Mühendislik jeolojisi haritalarının tanımı ve içeriği

Mühendislik jeolojisi haritaları, incelenen bölgedeki kaya ve/veya toprak zemin türündeki malzemelerin kayatürü ve yapısal özellikleri, hidrojeolojik, jeo-mühendislik ve jeoteknik özelliklerini tanımlayan haritalardır. Bu nedenle, jeolojik birimlerin tek başına yaşını (kronostratigrafisini) ve çökelme ortamını (biyostratigrafisini) değil, doğrudan birimlerin kayatürü özelliklerini esas alan haritalardır. Bunun yanı sıra, incelenen alandaki mühendislik sorunlarının türüne ve önemine bağlı olarak kayatürlerinin bazı jeo-mühendislik değişkenleri (parametreleri) de bu haritaların diğer önemli unsurlarıdır. Bu tür haritalarda amaca göre en azından aşağıda ana başlıklar şeklinde verilen temel özellikler sunulur.

Jeolojik özellikleri: Birimlerin adı ve tanımı, yayılımı, stratigrafik ve yapısal nitelikleri, yaşları, ile diğer temel özellikleri,

Hidrojeolojik özellikler: Su taşıyan kaya ve toprak zemin türü birimlerin ve doygun açık süreksizlik zonlarının dağılımı, su tablasının derinliği ve değişimi, basınçlı su bölgeleri ve piezometrik düzeyler,

depolama katsayıları, yeraltı suyunun akış yönü, kaynaklar, dereler ve nehirler, göller, taşkın alanı sınırları ve tekrarlanma aralıkları, suların pH, tuzluluk, aşındırıcılık özellikleri,

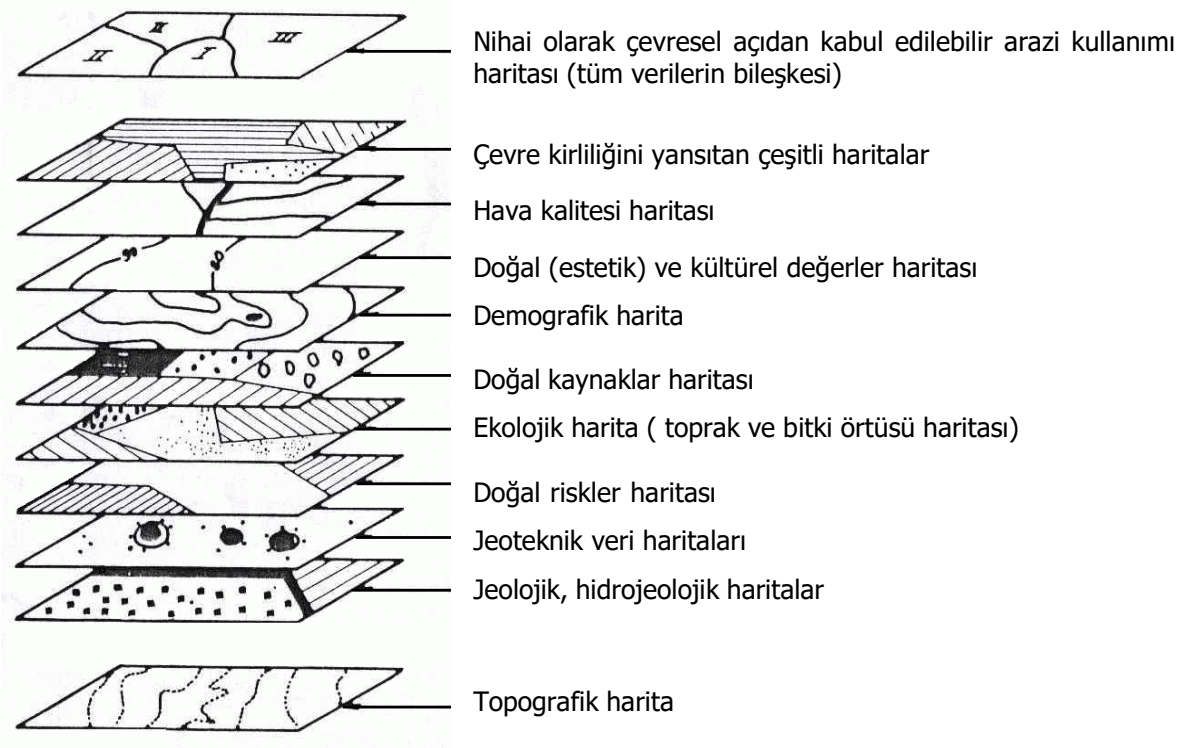
***Jeomorfolojik özellikler*:** Akaçlama (Drenaj) sistemleri, sel ve taşkın alanları, kuru dereler, tepeler, sırtlar, yamaç eğimleri gibi jeomorfolojik özellikleri,

Jeodinamik süreçler ve jeoteknik özellikler: Diri faylar, bölgesel tektonik hareketler ve volkanik etkinliği kapsayan sismik olaylara ilişkin veriler, yer kaymaları, erozyon, donma zonu, yamaç (şev) hareketleri, karstik yapılar, çökme (sübsidans), dayanım ve toprak zeminlerde hacim değişimleri gibi mühendislik özellikleri sunulmaktadır.

Mühendislik jeolojisi haritaları; mühendislik jeolojisi kesitlerini, açıklama bölümlerini ve ayrıntılı bir açıklamanın yanı sıra, haritaların hazırlanması için toplanan tüm verileri kapsar. Örneğin; veri toplanması amacıyla yapılan sondajların, arazi deneylerinin, deney ve örnek çukurlarının, örnekleme yapılan yerlerin ve çekilen açıklayıcı fotoğrafların konumları sunulur.

Mühendislik jeolojisi haritalarının jeolojik özelliklerin yanı sıra, çok sayıda jeo-mühendislik verisini de içermesi nedeniyle, bunların tümünü tek bir harita üzerinde gösterilmesi, haritaların anlaşılmasını güçleştiren bir faktördür. Bu nedenle birden çok harita hazırlanır ve incelenen konuların niteliğine göre bunlardan bir bölümü üst üste çakıştırılarak bir yorum yapılabilir (Şekil 1).

Örneğin, heyelana karşı duyarlı bölgeler kayatürü, yamaç eğimi, heyelanlı bölgelerin sınırları, sızıntıların yerleri, yeraltı suyu tablasının konumu, yapısal özellikler gibi unsurlar üst üste çakıştırılabilir veya bunlar tek bir haritanın üzerine aktarılarak değerlendirilebilir ve yorumlanabilir.



Şekil 1, Mühendislik jeolojisi haritasını oluşturan temel unsurlara ait haritalar dizisi

Mühendislik jeolojisi haritalarının sınıflandırılması

Mühendislik jeolojisi haritaları amaca, içeriğe ve ölçeğe göre sınıflandırılırlar (Anonim, 1976):

Amaca göre sınıflandırma:

(l) Özel amaçlı haritalar: Mühendislik jeolojisinin özel bir konusunda bilgi sağlayan haritalardır (Şekil 2).

(2) Çok amaçlı haritalar: Bir dizi planlama ve mühendislik amaçları doğrultusunda mühendislik jeolojisinin değişik konularını içerecek şekilde hazırlanmış haritalardır (Şekil 3).

İçeriğe göre sınıflandırma:

(1) Analitik haritalar: Jeolojik çevrenin tekçe elemanlarının değerlendirilmesi veya ayrıntıların sunulması amacıyla hazırlanan haritalardır. Genel bir kural olarak, bu tür haritalara bir açıklama başlığı konur. Örneğin; ***bozunma derecesi haritası, eklem haritası, sismik risk haritası*** bu sınıfta değerlendirilebilir.

(2) Ayrıntılı haritalar: Bu haritalar iki türde hazırlanır. Bunlardan biri mühendislik jeolojisi incelenen çevrenin tüm ana elemanlarını gösteren mühendislik jeolojisi koşullarının haritalanması, diğeri de mühendislik jeolojisi koşulları açısından farklı alanların ***zonlara ayrılıp*** değerlendirilmesi ve sınıflandırılması esasına dayanan haritalardır (Şekil 3).

(3) Yardımcı (tali) haritalar: Dokümantasyon haritaları, yapısal kontur haritaları, izopak haritaları gibi temel unsurları gösteren ve mevcut verilerden yararlanılarak hazırlanan haritalardır.

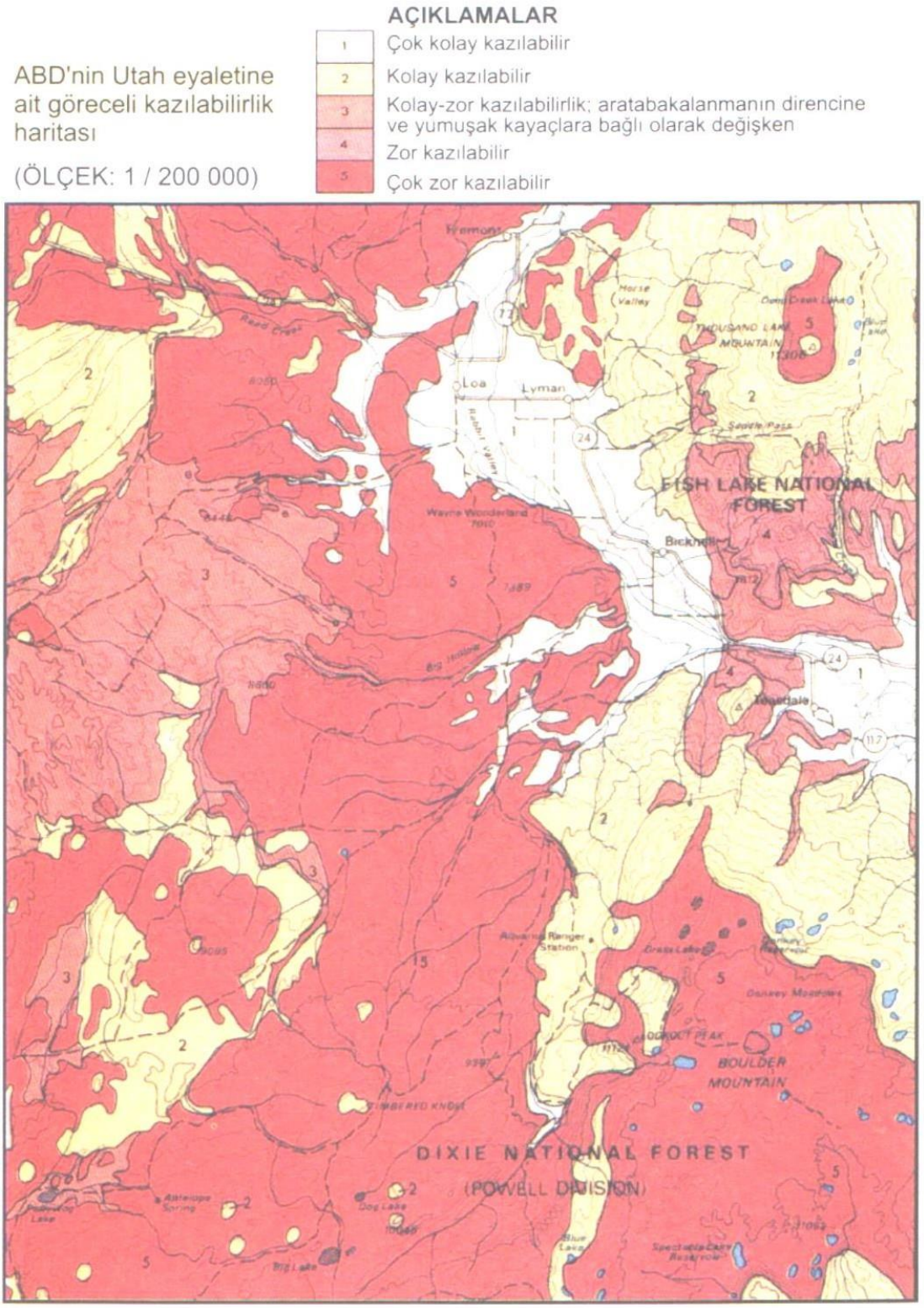
(4) Tamamlayıcı haritalar: Bunlar; jeoloji, tektonik, jeomorfoloji, pedoloji, jeofizik ve hidrojeoloji haritalarıdır. Bu haritalar, mühendislik jeolojisi haritalarıyla birlikte bir takım oluşturan temel veri haritalarıdır (Şekil 4).

Ölçeğe göre sınıflama:

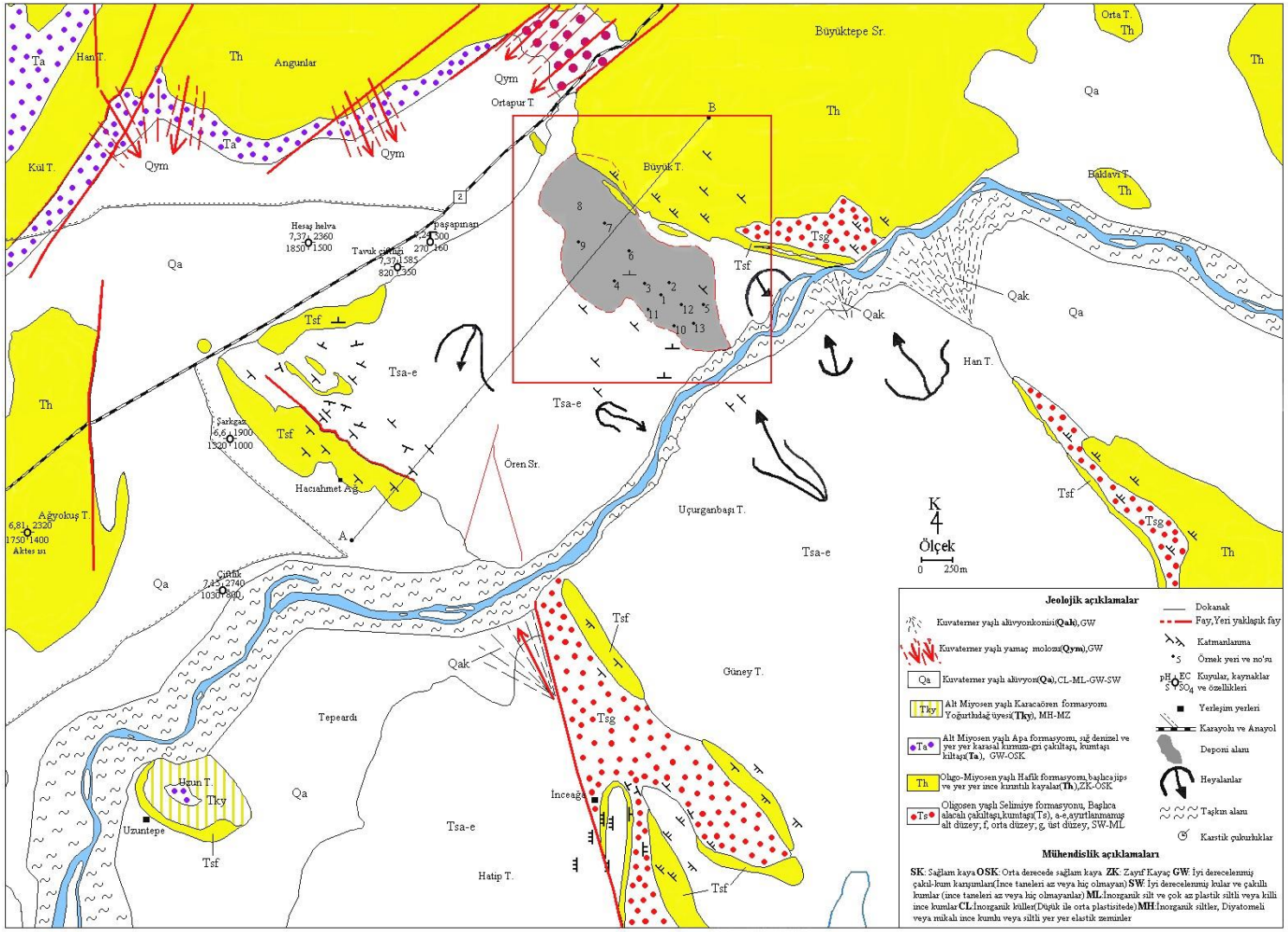
(c.1) Büyük ölçekli haritalar: 1/10.000 ve daha büyük ölçekli haritalar.

(c.2) Orta ölçekli haritalar: Ölçeği 1/10.000'den küçük, 1/100.000'den daha büyük olan haritalar.

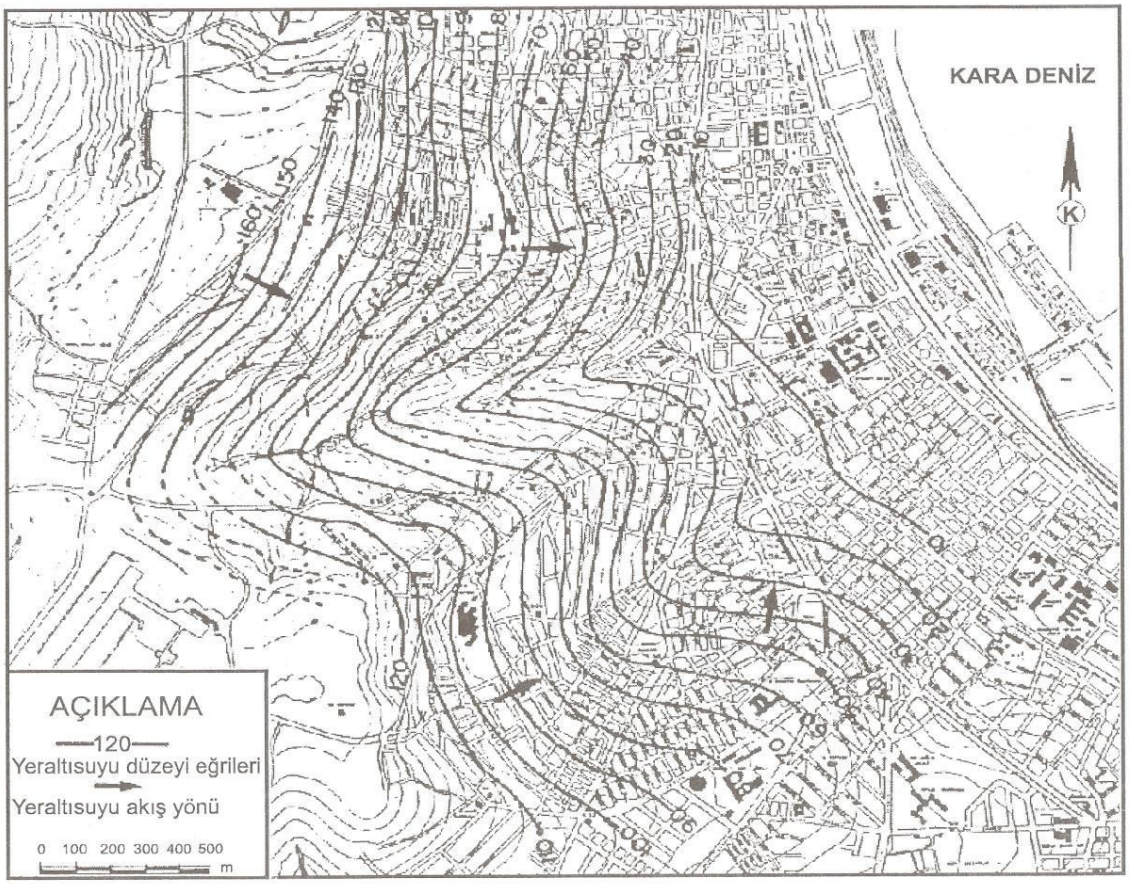
(c.3) Küçük ölçekli haritalar: Ölçeği 1/1 00.000 olan ve daha küçük haritalar.



Şekil 2. Özel amaçlı mühendislik jeolojisi haritalarına bir örnek: kazılabilirlilik haritası (Anonim, 1976; Ulusay, 2001' den).



Şekil 3, Sivas il merkezi deponi alanı dolayının mühendislik jeolojisi haritası (Yılmaz ve Atmaca, 2004).



Şekil 4, Tamamlayıcı haritalara bir örnek: yeraltı suyu haritası (Doyuran ve diğerleri, 1985).

MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ HARİTA ALIMININ PLANLANMASI ve UYGULAMALAR

Mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanmasına başlamadan önce, genel olarak aşağıda özetle değinilen ön çalışmaların yapılmasında yarar vardır:

(1) Proje kapsamındaki inceleme alanını ve yakın dolayını kapsayan topografik haritalar sağlanmalıdır.

(2) Mühendislik jeolojisi haritaları belirli bir amaçla hazırlanır. Bu nedenle, amacın ve/veya projenin tüm ayrıntısı ile bilinmesi gereklidir. Projenin boyutlarına ve özelliklerine bağlı olarak haritalamada gerek duyulacak ayrıntıların önceden belirlenmesi önem taşımaktadır.

(3) Haritanın sunulacağı kurum ve kuruluşlarla sürekli bilgi iletişimi içinde olunmalı ve kuruluş mühendislerinin haritadan bekledikleri ve açıklanmasını istedikleri sorular açık olarak önceden bilinmelidir.

(4) Planlanan çalışma konusunda yararlanılabilecek temel yayınlar (ulusal ve uluslararası) ve ayrıca o saha ile ilgili olarak daha önce hazırlanmış jeoloji haritaları, sondaj logları, rapor ve yayın gibi yazılı belgeler derlenip, veri sayısında sistemli bir azalma sağlanarak zaman tasarrufuna ve gerçekçi bir planlamaya gidilmelidir.

(5) İnceleme alanının mümkün olduğunca güncel sayılabilecek hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri sağlanmalı ve bunlardan çalışmanın her aşamasında yararlanılmalıdır.

(6) Saha çalışmaları için gereksinim duyulacak tüm gereçler (pusula, altimetre, topografya ekibi ve yararlanılması öngörülüyorsa arazi deneyleri için gerekli cihazlar) sağlanmalıdır.

(7) Harita alımı için ilk aşamada, çalışılacak olan bölge belirlenmelidir. Bu belirlemede daha önce benzeri çalışmaların yapıldığı ve/veya en çok sayıda temel yerinin sağlanmış olduğu alanlara

öncelik verilmeli ve buradaki eksik veriler toplandıktan sonra çalışmalar mühendislik jeolojisi açısından bakir olan alanlara kaydırılmalıdır.

(8) Haritalamada kullanıcıların kolayca anlayabileceği ve uluslararası ölçütlerde mühendislik jeolojisi haritaları ve kesitleri için önerilen simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir. Bu amaçla, simgeler seçilip önceden çalışma gruplarına verilmelidir.

Mühendislik jeolojisi haritalama yöntemleri

Mühendislik jeolojisi haritalama çalışmalarında yöntem seçimi, amaca ve ölçeğe göre yapılır.

Yüzeylemelerin (mostraların) haritaya işlenmesi yöntemi:

Bu yöntem, büyük ölçekli haritaların hazırlanmasında ve önemli mühendislik yapılarına ilişkin projelerde tercih edilen bir yöntemdir. İnceleme alanındaki yüzeylemeler öncelikle gözlemle ve altimetre, jeolog pusulası, plançete-jeolog pusulasının yardımıyla haritaya işlenir. Yüzeylemeler arasında kalan bitkisel toprak ve yamaç molozunun kalınlığı değişik renklerle veya simgelerle gösterilir ve bunların altında yer alan temel kaya belirtilir. Belirsizliklerin olması halinde, araştırma veya gözlem çukurları açılarak daha somut verilerin derlenmesine çalışılır.

Haritanın üzerine tüm araştırma ve gözlem çukurlarının, arazi deneylerinin, örnekleme noktalarının ve diğer niteliklerin konumları numaralanarak işlenir. Yüzeyleme sınırları her birim için ayrı renklerle haritanın üzerine çizilir. Yüzeylemelerin, yamaç molozu ve bitkisel toprağın haritaya işlenmesi sistemli olarak yapılır ve bu işlem sırasında birimlerin dokanaklarının ayırtlanmasına çalışılır. Yamaç molozundaki kayatürlerinden birinin yok olması, genellikle bir dokanağın varlığına işaret eder.

Dokanakları izleme yöntemi:

Bu yöntem, genellikle 1/5.000-1/25.000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritalama çalışmalarında uygulanır. Kaya birimi dokanakları izlenerek harita üzerine işlenir. Bununla birlikte, çalışma alanı daha önceden incelenerek, istif ve yanal geçişler hakkında bilgi edinilmelidir. Bu amaçla, izlenmesi kolay ve genel yapıyı belirtecek bir formasyon veya birim seçilerek, bu formasyonun veya birimin alt ve üst dokanakları haritaya işlenir ve jeolojik özellikleri kaydedilir. Haritalamada dokanakların özenle ve doğru olarak işlenmesine dikkat edilmelidir.

Yol boylarını izleme yöntemi:

Bu yöntem, genel olarak 1/100.000 ölçekli veya ön inceleme amaçlı 1/25.000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanmasında kullanılır. Haritalama için birbirine koşut veya birbirini dik olarak kesen yollar seçilerek, yol boyunca gözlenen birimler veya formasyonlar harita üzerinde gösterilir. Daha sonra yol boylarınca belirlenen sınırlar gözeterek birimlerin dokanakları çizilir. Bu yöntem; jeolojisi karmaşık olmayan, ön inceleme aşamasına yönelik kısa süreli projelerde ve Doğu Karadeniz bölgesi gibi ormanlık bir alanda jeolojik yapının ve istifin kısa sürede belirlenmesinin amaçlandığı durumlarda uygulanır.

Kaya ve toprak zeminlerin tanımlanması, sınıflandırılması ve birimlerin türleri

Mühendislik jeolojisi haritalarında gösterilen kayatürü sınırları, mühendislik jeolojisi özellikleri açısından belirli ölçüde birbirlerine yakın kaya ve toprak zeminleri sınırlayan dokanaklardır. Ancak, mühendislik jeolojisi harita alımındaki başlıca sorun, kaya ve toprak zeminlerin fiziksel özellikleriyle yakından ilişkili olan jeolojik özelliklerin seçimidir. Bu nedenle, kaya ve toprak zeminlerin fiziksel ve jeo-mühendislik değişkenlerini iyi şekilde yansıtabilen temel özellikler bu tür çalışmalarda esas alınmaktadır (Anonim, 1976):

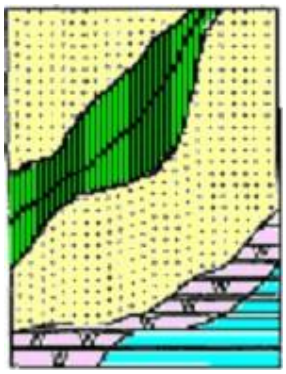
(a) Mineralojik bileşim (özgül ağırlık, Atterberg limitleri ile yakından ilgilidir)

(b) Dokusal ve yapısal özellikler (tane boyu dağılımı; birim hacim ağırlık ve gözeneklilik ile yakından ilgilidir)

(c) Nem içeriği, kıvamlılık, bozunmanın (alterasyonun) derecesi ve eklemler.

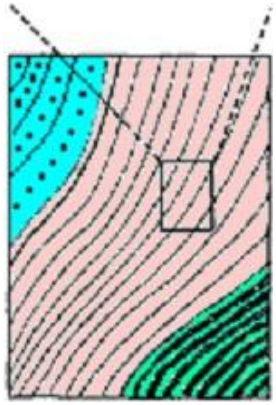
Bu nitelikler kaya ve toprak zeminlerin fiziksel durumu ile ilgili olup, aynı zamanda bu zeminlerin dayanım özelliklerinin, deformasyon özelliklerinin, geçirgenliklerinin ve suda dağılmaya karşı dayanıklılıklarının göstergeleridir. Kaya ve toprak zemin türlerinin mühendislik jeolojisi haritaları için sınıflandırılmaları, kayaların mevcut durumlarında fiziksel ve jeo-mühendislik özelliklerinin: bunların kökenlerinin, geçirdikleri diyajenezin, metamorfizmanın ve tektonik tarihçelerinin ve bozunma süreçlerinin ortak etkisi altında kaldığı ilkesine göre yapılmalıdır. Bu ilke, sadece kaya örneklerinin sınıflandırılması için değil, aynı zamanda çok sayıda örneğe ait saha gözlemlerinin ve ölçümlerinin kullanılarak homojen ve sürekli kaya birimlerini tanımlamak için de kullanılır. Bu ilke çerçevesinde Anonim (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1991) tarafından kısmen değiştirilen grup adları, kayatürü ve kökene dayalı sınıflama sistemi aşağıda sunulmuştur.

Mühendislik birimleri: Bu birimler, fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip birimleri içerir. Kayatürü özelliği ve fiziksel durumu açısından tekdüzedirler. Bu tür birimler, jeomekanik deneylerden elde edilen ve istatistiksel olarak değerlendirilmiş verilerle temsil edilirler. Genellikle büyük ölçekli haritalarda gösterilirler (Şekil, 5A).

		MÜHENDİSLİK BİRİMLERİ	**Ölçek: 1/5000 ve daha büyük**
 A		ÇAMURTAŞI: Açık grimsi kahverengi ince-çok ince tabakalı, sık eklemli, az bozunmuş, yüzeylemede yavaş dağılabilen, orta derecede zayıf	Homojenlik özelliği: Her mühendislik türünde fiziksel durumunun tekdüzeliği Haritalanacak birimlerin sınırlarının belirlenmesine ilişkin yöntemler. Örneğin; bozunma derecesinin belirlenmesi, süreksizliğin sıklığının ve göreceli konumlarının tayini, dayanımı, birbirleriyle uyumluluklar Haritalanacak birimler, fizikse ve mekanik özelliklerin belirlenmesiyle tanımlanırlar.
		ÇAMURTAŞI: Açık grimsi kahverengi ince-çok ince taneli, ileri derecede eklemli, orta-çok bozunmuş, parmaklar arasında ufalanabilen, çok zayıf	
		KUMTAŞI: Koyu kahverengi, iri taneli, orta-kalın tabakalı, geniş aralıklı eklemlere sahip, orta-az bozunmuş, sağlam.	
		KUMTAŞI: Sarımsı kahverengi, iri taneli, orta-kalın tabakalı, yakın-çok yakın aralıklı eklemlere bölünmüş, makaslanmış, oldukça bozunmuş, zayıf	
		KAYATÜRLERİ	**Ölçek 1:5000 – 1:10000**
B		ÇAMURTAŞI: Açık grimsi kahverengi, ince-çok ince taneli, ince tabakalı KUMTAŞI: Koyu kahverengi ve sarımsı kahverengi, iri taneli, orta-kalın tabakalı	Homojenlik özelliği: Mineralojik bileşim, yapı Haritalanacak birimlerin sınırlarının belirlenmesine ilişkin yöntemler: Petrografik inceleme Haritalanacak birimler, sondaj, örnekleme, jeofizik etüt, sınırlı sayıda arazi deneyi ve sistematik laboratuar deneyleri ile tanımlanırlar.

Şekil 5 A, Mühendislik jeolojisi haritalarında tanımlanan birimler, gözetilen başlıca özellikler ve bu birimlere ait harita ölçekleri (Dearman, 1991; Ulusay 2001'den kısmen değiştirilmiştir).

Kayatürleri: Kayatürleri bileşim ve doku açısından ve yapısal açıdan homojen, ancak fiziksel açıdan tekdüze olmayan birimleri içerirler. Birimin mekanik özellikleri için gerçek anlamda ve temsil edici ortalama değerlerin verilmesi mümkün olmayıp, mühendislik özellikleri belirli aralıkları temsil eden değerler şeklinde verilebilir. Kaya türleri, büyük ölçekli veya mümkün olduğundan orta ölçekli haritalarda gösterilirler (Şekil, 5B).

<table>
<tr><td></td><td></td><td>MÜHENDİSLİK FORMASYONLARI (Karmaşık kaya türleri)</td><td>Ölçek: 1:10000 – 1: 200000</td></tr>
<tr><td rowspan="3">  </td><td> </td><td>A formasyonu: Çakıllar, kumtaşları, ve çamurtaşı ardaşımı.</td><td rowspan="3">Homojenlik özelliği: Belirli türler ile bunların kendine özgü düzenlerine göre özel gruplandırma

Haritalanacak birimlerin sınırlarının belirlenmesine ilişkin yöntemler: fasiyes analizi yapılarak alansal haritalama

Haritalanacak birimler, sondaj ve örnekleme, jeofizik ve petrografik inceleme, indeks özellikleri laboratuarda belirlenerek tanımlanır.</td></tr>
<tr><td> </td><td>B formasyonu: Kırıntılı karbonatlı kumtaşı, çamurtaşı ve silttaşı ardaşımı</td></tr>
<tr><td> </td><td>C formasyonu: Kumtaşı ve silttaşı, sığ denizel çamurtaşı ardaşımı</td></tr>
<tr><td>C</td><td></td><td>MÜHENDİSLİK GRUPLARI</td><td>Ölçek 1:200.000 ve küçük</td></tr>
<tr><td rowspan="3">
D</td><td> </td><td>Granit grubu: Granit, amfibolit ve ganys içeren şistlerin kalıntılarının da gözlendiği çok sayıda granit fasiyesini içerir.</td><td rowspan="3">Homojenlik özelliği: Belirli mühendislik formasyonları ile bunların kendine özgü düzenlerine göre özel gruplandırma

Haritalanacak birimlerin sınırlarının belirlenmesine ilişkin yöntemler: Mevcut jeoloji haritaları, ön inceleme amaçlı harita alımı, hava fotoğrafları

Haritalanacak birimler, mevcut veriler değerlendirilerek tanımlanır.</td></tr>
<tr><td> </td><td>Kırıntılı grup: Konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı gibi kayatürlerini içeren topluluk.</td></tr>
<tr><td> </td><td>Karbonatlı grup: Kireçtaşı, dolomit ve karbonatlı çamurtaşı gibi kayatürlerini içeren topluluk</td></tr>
</table>

Şekil 5 B, Mühendislik jeolojisi haritalarında tanımlanan birimler, gözetilen başlıca özellikler ve bu birimlere ait harita ölçekleri (Dearman, 1991; Ulusay 2001'den kısmen değiştirilmiştir).

Mühendislik formasyonları (Karmaşık kayatürü topluluğu): Mühendislik formasyonları, kendine özgü paleocoğrafik ve tektonik koşullarda oluşmuş, kökensel anlamda birbiriyle ilişkili türlerden oluşur. Bu formasyonlar içinde kayatürleri, ayırt edilebilir nitelikte olabilir, ancak karmaşık bir kayatürü, fiziksel durumu açısından tekdüze olmayabilir. Bu nedenle karmaşık bir kayatürü fiziksel özellikleri tanımlamak mümkün olmayıp, sadece karmaşığı oluşturan kayatürleri için veri olarak sunulabilir. Bu tür, orta ve bazı küçük ölçekli haritalarda gösterilebilir (Şekil, 5C).

Mühendislik grupları: Mühendislik grupları, genellikle benzer paleocoğrafik ve tektonik koşullar altında oluşmuş çok sayıdaki karmaşık kayatürü topluluğundan meydana gelir. Bu grubun ancak çok

genel mühendislik jeolojisi özellikleri tanımlanabilir. Böyle bir adlama, küçük ölçekli haritalarda gösterilir (Şekil, 5D).

Genel olarak mühendislik jeolojisi haritalarında litolojik sınıflamanın basit, aynı zamanda bilimsel temele dayalı olması gerekir. Bu amaçla litolojik türlerin sınıflandırılması için iki kavram söz konusudur. Bunlardan biri esas kaya adı, diğeri de birleşik tanımlayıcı isimdir. Esas kaya adı, kökensel açıdan kaya gruplarına (çökel, magmatik veya metamorfik) göre verilir. Birleşik tanımlayıcı isim ise, kayanın mühendislik jeolojisi özelliklerinin ayrıntılı tanımını içerir. Bu adlandırma, yarı nicel olarak tanımlanan aşağıdaki özellikleri esas alır.

(a) Kaya zeminlerin tanımı için:
- Renk
- Doku ve yapı
- Süreksizliklerjn özellikleri
- Bozunmanın derecesi
- İkincil kayatürü özellikleri
- Kayanın dayanımı
- Kayanın geçirgenliği
- Diğer mühendislik özellikleri.

(b) Toprak zeminlerin tanımı için:
- Renk
- Zeminin dayanımı ve yapısı
- Bozunmanın derecesi
- İkincil kayatürü özellikleri ve diğer tanımlayıcı terimler

Yukarıda belirtilen özellikler, sahada yapılan ölçümler ile gözlemlerden ve bu amaçla hazırlanmış çeşitli çizelgelerden yararlanılarak tanımlanır.

Örnekler:
- Açık pembemsi gri, masif, orta derecede aralıklı olarak dizilmiş eklemli, orta derecede bozunmuş, porfirik, GRANİT, dayanıklı, az geçirgen.
- Kırmızı kahve renkli, sıkı, taze, orta plastisiteli, siltli, KİL, düşük derecede geçirgen.

Tanımlayıcı özelliklerin her birim içindeki bölgesel değişiminin belirlenmesi için yerel olarak ölçümlerin yapılması ve farklılık gösteren kesimlerin o birim içinde ayrı olarak haritada gösterilmesi olanağı vardır. Örneğin; bozunmanın derecesi esas alınarak farklı bozunma zonları gösterebilir.

Mühendislik jeolojisi haritaları için kaya ve toprak zeminlerin mühendislik özellikleri

Sert ve yumuşak kayalar, kohezyonsuz çakıllı ve kumlu zeminler ve kohezyonlu zeminler (kil, silt) için bunların özellikleri ayrı ayrı verilmelidir. Bu özellikler dolaylı (indeks) ve esas özellikler olmak üzere iki gruba ayrılır.

Sınıflama, kaya ve toprak zeminleri gruplamak ve sistemli olarak tanımlamak amacıyla yapılmaktadır. Saha çalışmalarının ilk aşamasında basit ve pahalı olmayan yöntemler tercih edilir. Dolaylı (indeks) özellikler, malzemenin fiziksel özellikleri olup, mühendislik hesaplamalarında doğrudan kullanılmayan (birim hacim ağırlık hariç) değişkenleri temsil etmektedir. Bununla birlikte, söz konusu değişkenler; dayanım, deformasyon ve geçirgenlik gibi özelliklerle yakından ilişkili olup, kaya ve toprak zeminlerin mühendislik davranışlarının dolaylı yoldan değerlendirilmesine yardımcı olan özelliklerdir (Çizelge 1).

Çizelge 1, Kaya ve toprak zeminler için seçilmiş dolaylı (indeks) ve esas özellikler (IAEG, 1979). I → Küçük; II → Orta; III → Büyük ölçekli haritalar. S: Sayısal (kantitatif) veri; YK: Yarı Kantitatif; YKS: Yarı kantitatif-sayısal (Parantez içindeki veriler, belirtilen harita ölçeği için zorunlu değildir.) *Örselenmemiş örnekler üzerinde belirlenir.

Homojen kaya türlerinin özellikleri (Mühendislik ve Kayatürleri)		Sert ve yumuşak kayalar			Kohezyonsuz zeminler			Kohezyonlu zeminler		
	Özellikler	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**	**I**	**II**	**III**
Dolaylı (İndeks) Özellikleri	Tane boyu					(S)	S	(S)	S	S
	Özgül ağırlık	(S)	(S)	S		(S)	S		S	S
	Birim hacim ağırlık*	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S
	Porozite*	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S	(YKS)	S	S
	Doğal nem içeriği		(S)	S					(S)	S
	Doygunluk derecesi				YK	S	S		S	S
	Plastik limit							(S)	S	S
	Likit limit							(S)	S	S
	Plastisite indeksi							S	S	S
	Sonik hız*	(YKS)	S	S						
Esas özellikler	Tek eksenli sıkışma dayanımı*	S	S	S					S	S
	Çekilme dayanımı*		(S)	S						
	İçsel sürtünme açısı*			(S)					S	S
	Kohezyon*			(S)					S	S
	Young modülü	S	S	S						
	Dinamik Young modülü	S	S	S						
	Poisson oranı*		(S)	S						
	Geçirgenlik katsayısı		(S)	S					S	S

Esas özellikler, kaya ve zeminlerin fiziksel davranışlarının değerlendirilmesinde rol oynayan ve mühendislik hesaplamalarında doğrudan dikkate alınan değişkenlerdir. Dayanım, deformasyon ve geçirgenlik katsayısı bu değişkenlerden bazılarıdır (Çizelge 1).

Çizelge, 1'de belirtilen değişkenlere ilişkin laboratuvar deneyleri için arazide sondajlardan karot örnekleri veya gözlem çukurları açtırılarak, blok (örselenmemiş) ve örselenmemiş (toprak zeminlerin sınıflama deneyleri için kavanoza veya torbaya alınan) örnekler alınır. Bu örnekler, uluslararası standartlara uygun olarak parafinlenerek laboratuvara taşınır. Ayrıca tek eksenli sıkışma deneyinin yapılamadığı durumlarda, kaya örnekleri üzerinde arazide nokta yükleme deneyi veya Schmidt çekici deneyi yapılabilir. Çizelge 1'deki değişkenler, mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanmasında en yaygın olarak kullanılan değişkenler olup, ayrıca amaca göre diğer laboratuvar deneyleri de yapılabilir.

Mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanmasında, mühendislik özelliklerinin istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi amacıyla, normal olarak, 25-30 adet örneğin alınması önerilmektedir (Anonim, 1976). Bununla birlikte, örnek sayısının çalışmanın ölçeğine ve amacına, birimlerin homojenliğine ve örnekleme koşullarına bağlı olarak projeden projeye değişebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Örnekleme amacıyla yapılabilecek diğer bir uygulama da çalışma alanını bir düzen içinde alt bölgelere ayırıp, her alandan belirli sayıda örnek alarak, alt bölge ve örnek sayılarına göre yapılacak istatistiksel çözümlemelerle, gerçekleştirilen ve/veya planlanan örneklemenin sahayı temsil derecesi göz önüne alınmalıdır.

Hidrojeolojik koşullar

Mühendislik jeolojisi haritalarında kaydedilmesi gerekli başlıca hidrojeolojik koşullar iki türdür. Birincisi yüzeyden sağlanan bilgiler olup, kaynaklar, sızıntılar, akarsular ve göller bu grupta değerlendirilir. Diğeri de mevcut sondaj ve kuyular ile araştırma amacıyla yapılacak sondajlar aracılığıyla yeraltından sağlanan bilgilerdir.

Haritalarda; yüzey sularının ve yeraltı suyunun dağılımı, süzülme koşulları, yeraltı suyunun akış yönü, kaynak ve sızıntılar, su tutan zonlar, su tablasının derinliği ve su tablasındaki değişimler, basınçlı akifer zonları ve piezometrik düzeyler, sülfat içeriği, tuzluluk, bakteri veya diğer kirleticiler gibi hidrojeokimyasal özelliklere yer verilir.

Küçük ölçekli haritalarda hidrojeolojik bilgiler, simgeler ve sayılarla gösterilir. Orta ölçekli haritalarda su tablası konturlarla temsil edilir ve su tablasındaki değişimler sayılarla, basınçlı akiferler ve piezometrik seviyeler ise konturlarla gösterilir. Büyük ölçekli haritalarda ise, hidrojeolojik koşullar izohipslerle ve su düzeyindeki değişimler sayısal olarak tanımlanır.

Jeodinamik süreçler

Jeodinamik kavramı, halen aktif olan jeolojik süreçlerin sonucunda çevrede gözlenen jeolojik özellikler şeklinde tanımlanabilir. Bunlar; sismik ve volkanik faaliyetlerin ürünü diri faylar, yerkaymaları, erozyon ve depolanma, karstik yapılar, toprak zeminlerdeki hacim değişimleri, ince taneli malzemenin yayılması ve toprak altında kalan donmuş zonlardır. Bu özelliklere ilişkin ayrıntıların haritalarda gösterilmesi, haritaların ölçeğine bağlıdır. Küçük ölçekli haritalarda bu özellikler, hava fotoğrafları veya uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılarak ya da saha çalışmalarıyla haritalanabilir.

Sayısal (kantitatif) değerlendirmeler ise geçmişte değişik zamanlarda çekilmiş hava fotoğrafları üzerinde çalışılarak veya arşiv kayıtlarından yapılabilir. Ayrıntılı yüzey haritaları yapılırken, sondaj verilerinden ve jeofizik verilerinin etütlerin sonuçlarından da yararlanılmalıdır.

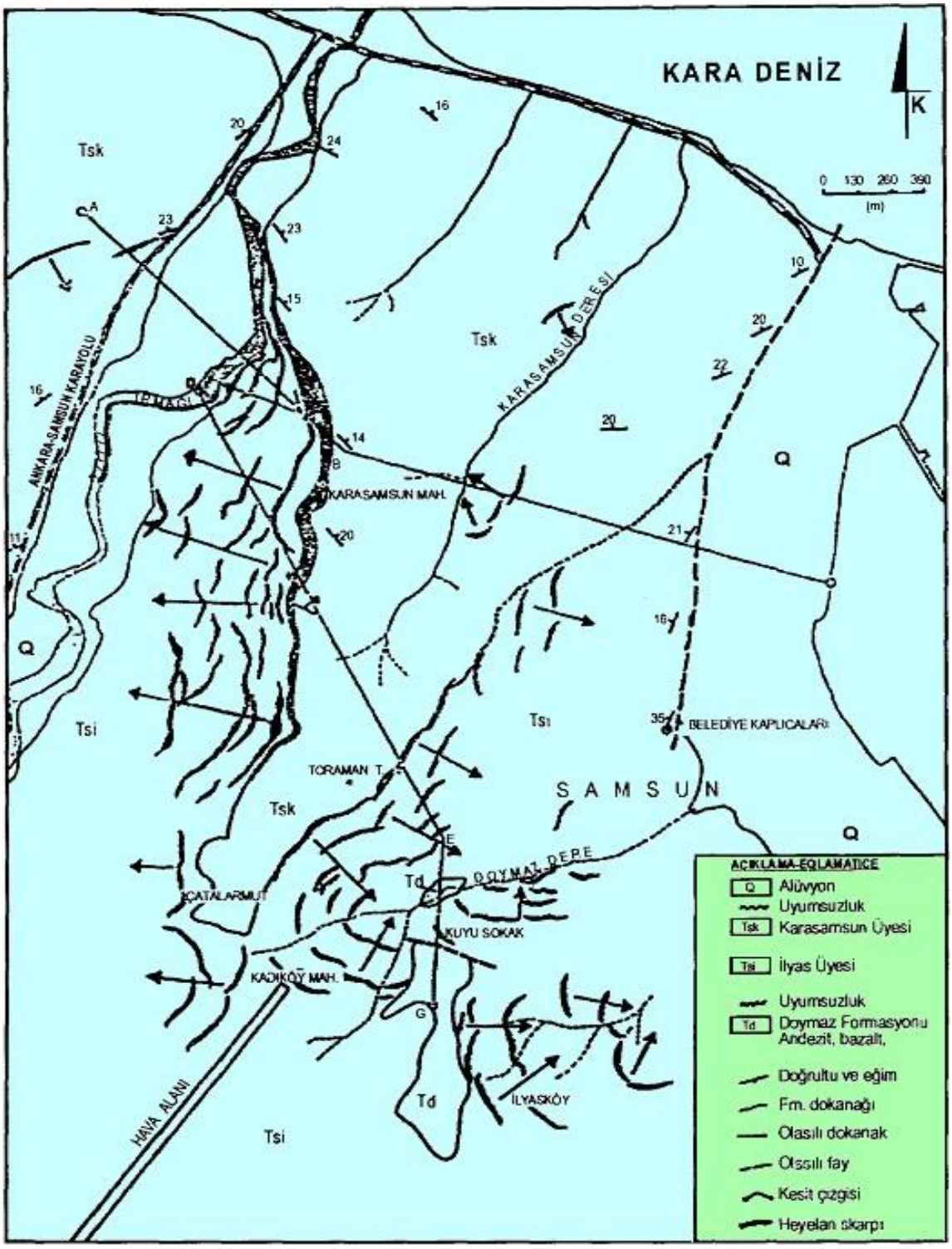
Sismik ve volkanik süreçler: Mevcut kayıtlar kullanılarak ve gözlemler yapılarak; incelenen bölgenin sismik etkinliği, diri fayların konumları ve bunlarla ilişkili yüzey yapıları haritalarda gösterilir.

Mühendislik jeolojisi haritalarında amaç, jeodinamik süreçlerin sadece yayılım ve dağılımlarını göstermek olmayıp, bunların etkinlik derecelerini de belirtmektir. Bu özellikler, küçük ölçekli haritalarda simgelerle gösterilir. Orta ölçekli haritalarda jeodinamik özelliklerin alanları belirtilmeli ve mümkünse başlıca özellikleri tek tek gösterilmelidir. Tüm jeodinamik özelliklerin güncel sınırları ile bu yerlerde oluşan yapılar büyük ölçekli haritalarda gösterilebilir.

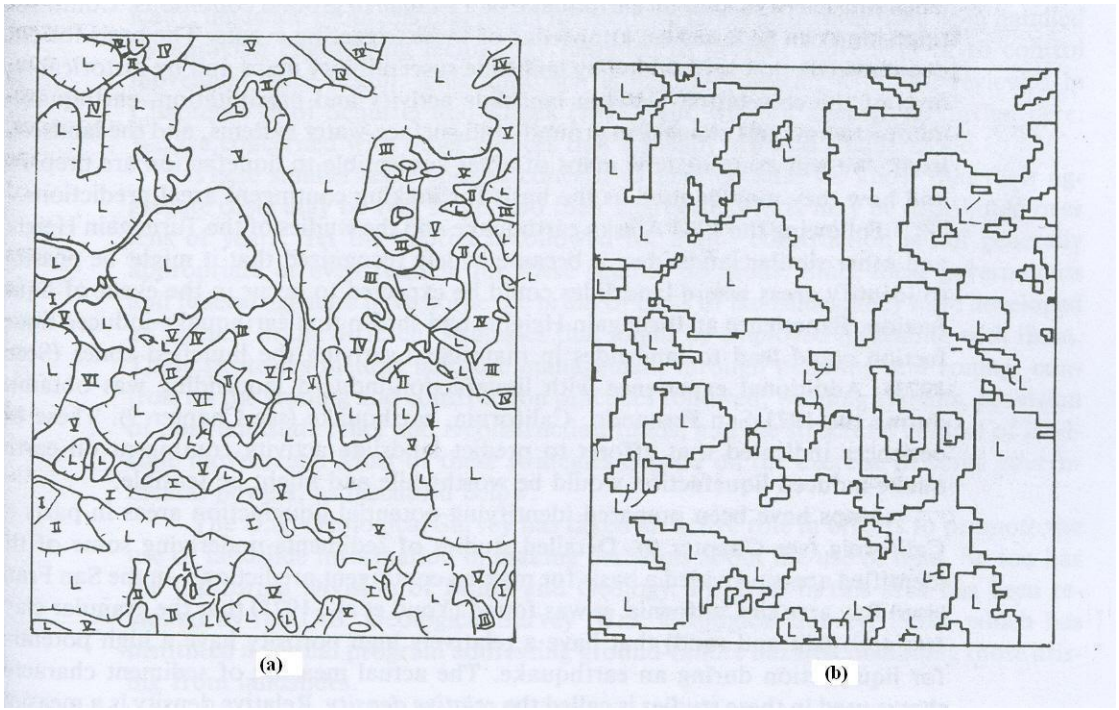
Yer kaymaları (heyelanlar): Bu devinimler, yerçekimi etkisi altında gelişirler ve her türden kaya ve toprak zeminlerde meydana gelen krip, kayma, akma ve düşme gibi duraysız süreçleri kapsarlar. Yamaç hareketlerinin nedenleri bazı ögelere bağlıdır. Bu ögeler, yamacı oluşturan birimlerdeki süreksizliklerin yönelimi ve fiziksel özellikleri tarafından denetlenebileceği gibi, toprak zeminlerde ve ileri derecede bozunmuş veya aşırı derecede eklemli kayalarda gerecin kütle özellikleri önem taşır.

Ayrıca yamacın eğimi, yüksekliği, yeraltı suyunun varlığı gibi faktörler de bu devinimler üzerinde etkin rol oynamaktadır. Yamaç hareketleri için uygun olan koşullar ve bu tür hareketlerin gözlenen sonuçları haritalar üzerinde gösterilmelidir. Doğal eğimler, süreksizliklerin yönelimi, gerilim çatlakları, heyelanların yayılımı, su tablasının konumu gösterilmesi gereken unsurlardır.

Şekil 6'da bir heyelan haritası örneği, Şekil 7'de ise bir heyelan duyarlılık haritası örneği görülmektedir. Burada önce arazi de gözlemlerle heyelanlar incelenerek yapılmış, daha sonra bu veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir.



Şekil 6, Jeodinamik süreçlerin sonuçlarına ilişkin bir heyelan haritası örneği (Doyuran ve diğerleri, 1985).



Şekil 7, Kaliforniya San Mateo bölgesi heyelan duyarlılık haritası. a) Elle çizilen harita: L heyelanlı bölge: V, heyelana karşı az duyarlı; I en az duyarlı bölgeler. b) Bilgisayar ortamında çizilmiş heyelan duyarlılık haritası (Newman ve diğ. 1978'den kısmen değiştirilerek).

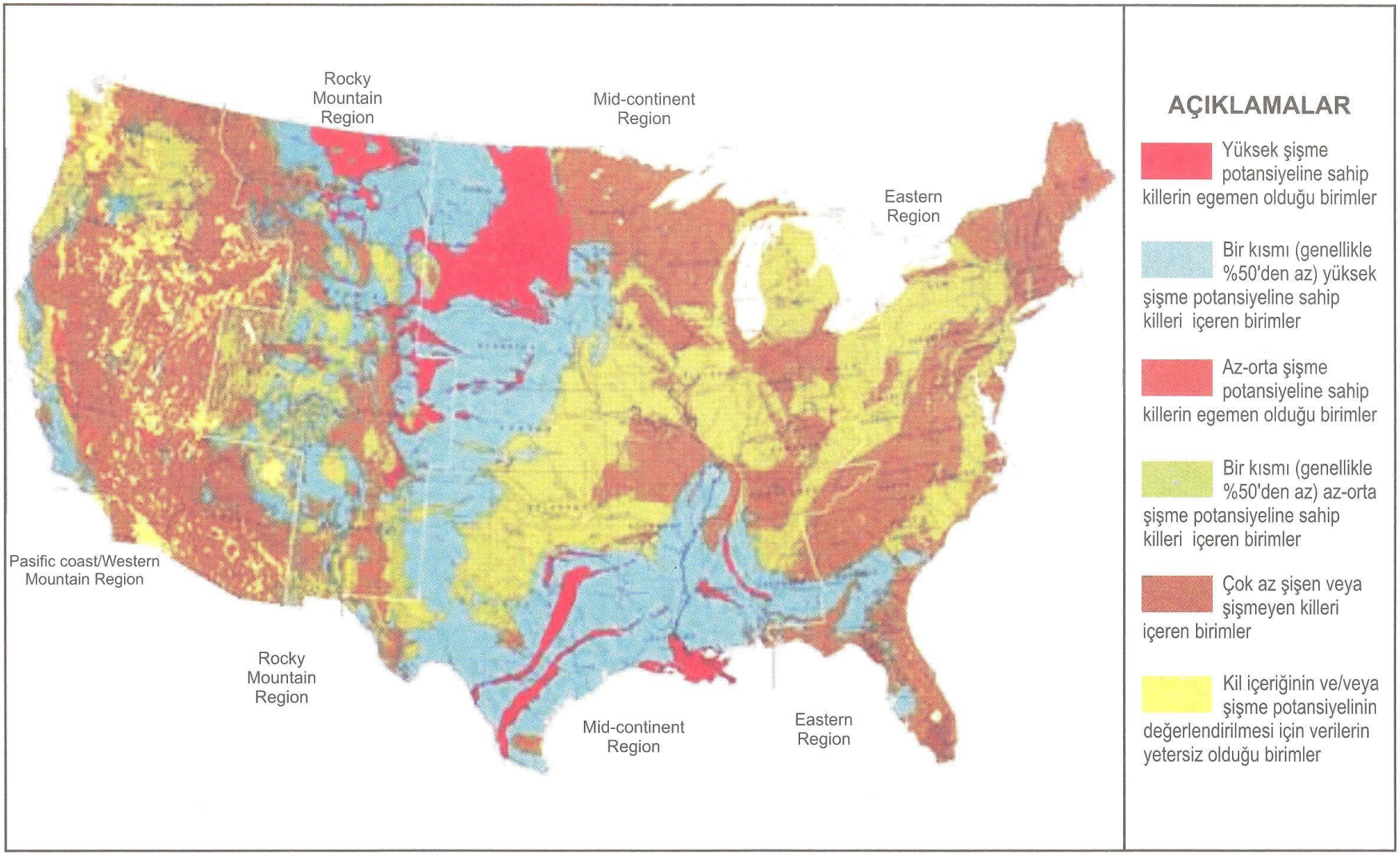
Aşınıp taşınma **(Erozyon):** İleri derecede aşınma, oldukça dik yüzeyli derin açılımlar-yarıklar oluşturur. Ayrıca, yerindeki malzemeyi ortamdan uzaklaştırarak akarsular boyunca yamaçların, rezervuarların ve doğal kıyıların dikleşmesine yol açar. Bu süreç, sadece tarımsal açıdan verdiği zararlar yönüyle değil, aynı zamanda duraysızlık gibi sorunlar yaratması açısından da önemlidir.

İleri derecede erozyon için; düşük geçirgenliğe sahip yumuşak kayalar, orta-dik eğimli yamaçlar, seyrek bitki örtüsü ve kısa sürede aşırı yağışın yoğunlaştığı kesimler en uygun ortamlardır. Mühendislik jeolojisi haritalarında yaygın olarak gösterilen aşınmayla ilgili özellikler; yamaç ve yükselti eteklerindeki derin yarık ve vadiler, nehir kenarları ve aktif olarak aşınmaya uğramış kıyı şeritleridir.

Karstik özellikler: Bu özellik, çözünebilen kayalarda görülür. Örneğin jips ve kireçtaşlarında karstik yapılar sıkça izlenir. En önemli yüzeysel karstik yapılar; erime çukurları (sinkhole) ve dik duyarlı kuru vadiler olup, yeraltında ise değişik boyutlardaki boşluklar ve mağaralardır.

İri taneli gereçlerin yayılması: Özellikle kum ve çakıl gibi pekişmemiş gereçlerin içindeki iri tanelerin suların sürüklemesi sonucu yayılması, ikinci derecede bir jeodinamik süreç olmakla birlikte, özellikle su yapılarının tasarımında önemli sorunlara neden olabilir. Bu davranışlarla ilgili olarak, mühendislik jeolojisi haritalarında yükselen suyun veya yayılmaya neden olan kaynakların yeri gösterilir.

Şişme ve büzülme: Şişme ve büzülme özelliği taşıyan zeminler yapılarda hasara neden olabilirler. Özellikle montmorillonit içeren killer bu açıdan önemlidir. Mineralojik tayinler ve indeks mühendislik özellikleri dikkate alınarak, bu tür zeminlerin sınırları şişme-büzülme derecelerine göre haritalarda gösterilebilir (Şekil, 8).



Şekil 8, Jeodinamik süreçlerle ilgili bir harita örneği: ABD'nin şişen killer haritası (USGS, 2000).

Sel ve Taşkınlar: Mevcut kayıtlardan da yararlanarak sel ve taşkın sınırları, 100 yılda bir gelmesi olası felaketler gözetilerek belirlenir. Özellikle yer seçiminde bu sınırların dışındaki seçenekler tercih edilir.

Çığlar: Özellikle kış koşullarının yoğun olduğu bölgelerde, çığların gelişebileceği yamaçlar ve çığ güzergahları haritalanır ve buna göre çeşitli önlemler alınır.

Donma zonları: Sürekli olarak donmuş ince taneli zeminlerde (silt gibi) inşaat sorunları ile karşılaşılabilir. Bu davranış, genellikle kutup ve kutba yakın bölgelerde görülür.

Jeomorfolojik özellikler

Jeomorfolojik haritalama, vadilerin oluşumu, taraçalar, şevlerin (yamaçların) durumu ve yer şeklinin oluşumunda aktif rol oynayan süreçler gibi morfolojik özelliklerin tarihçesinin açıklanmasında yarar sağlamaktadır. Bu haritalar, mühendislik jeolojisi harita alımının gerekli aşamalarından biri olup, kısa sürede hazırlanabilir.

Jeomorfolojik koşulların değerlendirilmesi, yüzey topografyasının basit şekilde tanımlanması olmayıp, daha ayrıntılı bir sunum biçimi gerektirir. Bu haritalar; jeolojik durum ile yüzey koşulları arasındaki ilişkinin açıklanmasını, jeomorfolojik özelliklerin kökenini, gelişimini ve yaşını, ayrıca bu özelliklerin hidroloji ve jeodinamik süreçler üzerindeki etkisini de içermelidir.

Akarsu kıyılarında yanal yöndeki aşınma (erozyon), kum yığınlarının hareketi, karstik sahalarda veya maden işletme alanlarındaki çökmeler haritalarda gösterilebilecek önemli unsurlardır.

Değişik ölçeklerdeki tüm haritalarda yüzey topografyası konturlarla gösterilir. Noktasal simgeler, küçük ölçekli haritalarda önemli jeomorfolojik elemanların belirtilmesinde kullanılır. Jeomorfolojik özelliklerin güncel sınırları ve ayrıntıları ise, orta ve büyük ölçekli haritalarda gösterilebilir.

Mühendislik jeolojisi harita alımında kullanılan teknikler

Fotojeoloji

Fotojeoloji tekniğinin kullanımı, mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanmasında, özellikle geniş alanların ön değerlendirilmesi için, zaman ve emek açısından uygun bir yöntemdir. Bununla birlikte, fotojeolojik incelemeden elde edilen bulgular ve yorumlar, saha gözlemleriyle denetlenmelidir.

Kaya ve toprak zeminlerin sınırlarının ayırt edilmesi, zeminlerin haritalanması, yamaç duraylılığı, akaçlama (drenaj) ve gereçlerin incelenmesi, yeraltı suyu çalışmaları gibi mühendislik jeolojisi harita alımına esas oluşturacak özellikler için bu yöntemden yararlanılabilir.

Jeofizik yöntemler

Mühendislik jeolojisi harita alımında, yüzeydeki birimlerin yeraltındaki uzantılarını ve kalınlıkları hakkında bilgi edinmek amacıyla, yaygın olarak kullanılan başlıca jeofızik yöntemler, özdirenç (rezistivite) ve sismik yöntemleridir. Bu yöntemlerin kullanımı iki tür bilgi sağlar:

(a) Kaya ve toprak zeminlerin önemli fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve bunların çalışılan sahanın sınırları içinde derinlikle değişiminin belirlenmesi. Bu özellikler, kayaların bozunma derecesi veya süreksizlik yoğunluğu gibi özellikleriyle de karşılaştırılabilir.

(b) Farklı fiziksel özelliklerdeki kaya ve toprak zeminler arasındaki sınırlar ve bunların veya su tablası derinliğinin ve fayların belirlenmesi

Özdirenç (Rezistivite) yöntemi, yerin elektriksel direncinin ölçülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Yerin elektriksel direnci kaya veya toprak zeminlerin gözenekliliğine, kırıklılığına, suya doygunluk

derecesine ve gözenek suyunun tuzluluğuna bağlıdır. Bu yöntemle özellikle su tablasının ve temel kayaların derinliği ve ayrıca kayatüründeki değişimler belirlenebilir.

Sismik yöntemde, kaya ve toprak zemini oluşturan kütlelerin yoğunluğu ve deformasyon modülü, ve bu kütlelerden geçen sismik dalgaların hızı esas alınarak ölçümler yapılır. Sismik hızlar, yüzeyden standart kırınım teknikleriyle tayin edilebileceği gibi, sondaj derinliklerinde patlama yapılarak da belirlenebilir. Bu yöntem, çok kırıklı veya bozunmaya uğramış kayaların belirlenmesi ve özellikle alüvyon örtü altındaki temel kayanının derinliğinin belirlenmesi amacıyla tercih edilir.

Sondaj tekniği

Örselenmiş ve örselenmemiş örnek alımı, arazi deneylerinin uygulanması ve kayatüründe derinliğe bağlı değişimin gözlenmesi amacıyla sondaj yapılır. Bu işlemler, sığ derinliklerde el burgusu kullanılarak yapılabileceği gibi, sondaj makinalarıyla da gerçekleştirilebilir. Alınacak karot örneklerinin çaplarının deney standartlarının öngördüğü boyutlara uygun olması gerekir.

Sondajların dizilimi ve aralıkları jeolojik koşullara göre belirlenmelidir. Ayrıca önceden belirlenen bir karelaj sistemine göre ve çalışmanın amacına uygun derinliklere kadar yapılmak üzere sondaj aralıkları tayin edilebilir. Sonuç olarak, yapılan planlama ışığında sondaj loglarından yararlanarak birimlerin kalınlığı ile özellileri ve yanal değişimleri net olarak belirlenir.

Arazi deneyleri

Çalışmanın amaç ve içeriği doğrultusunda, gereksinim duyulduğunda, kaya ve toprak zeminlerin yerli yerindeki deformasyon özellikleri, sıkılıkları ve makaslama dayanımları, ayrıca piezometrik düzeyler ve geçirgenlik katsayıları gibi değişkenler sondaj kuyularında yapılan pressiyometre, standart penetrasyon gibi deneylerle tayin edilebilir.

Mühendislik jeolojisi amaçlı zonlama çalışmasının genel ilkeleri

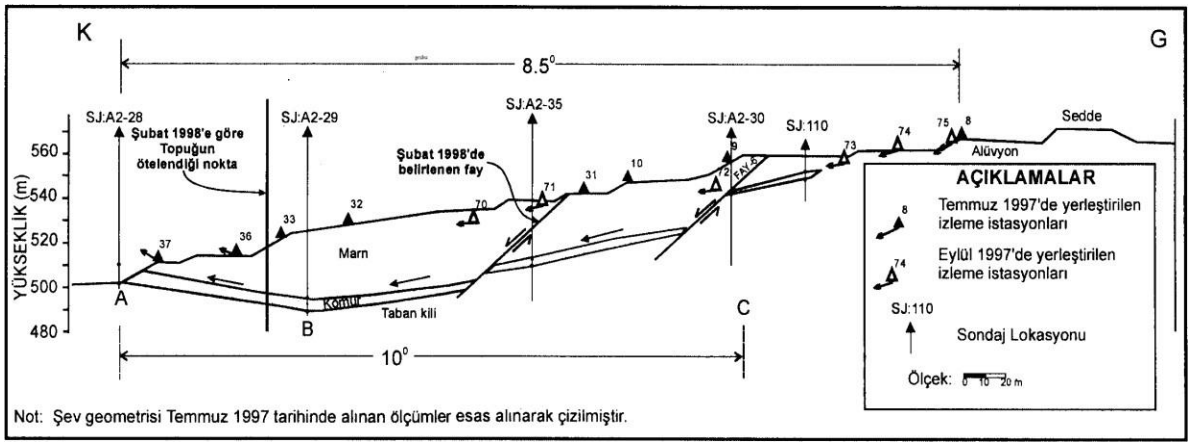
Mühendislik jeolojisi haritalarında zonlama kavramı, jeo-mühendislik özellikleri açısından hemen hemen homojen nitelik taşıyan alanların alt bölgeler şeklinde zonlara ayrılmasıdır. Her mühendislik jeolojisi zonunun homojenlik derecesi ve ayrıntıları, hazırlanan haritanın ölçeğine ve amacına bağlıdır. Örneğin; küçük ölçekli haritalarda zonlama ölçütü, jeolojik çevreyi oluşturan (tektonik yapı, bölgesel jeomorfolojik özellikler gibi) ana unsurlar arasında gözlenen genel benzerliktir. Daha büyük ölçekli haritalarda ise zonlar; kaya ve toprak zeminlerin bileşimindeki, yapısal konumlarındaki, hidrojeolojik ve jeodinamik özelliklerdeki benzerlikler esas alınarak ayırt edilir.

Mühendislik jeolojisi zonlaması ya genel amaçlı veya özel amaçlı olarak yapılır. Genel amaçlı zonlama konusunda aşağıdaki ölçütlerin esas alınması önerilmektedir (Anonim, 1976):

1. ***Bölgeler:*** Tek tek yapısal elemanların benzerliği dikkate alınır.
2. ***Alanlar:*** Tek tek bölgesel jeomofolojik birimlerin benzerliği esas alınır.
3. ***Zonlar:*** Kayatürünün tekdüzeliği ile kaya ve toprak zeminlerin litofasiyesleninin yapısal düzeni esas alınır.
4. ***Alt zonlar:*** Hidrojeolojik koşulların ve jeodinamik süreçlerin benzer olduğu alanlar esas alınır.

Mühendislik jeolojisi kesitleri

Mühendislik jeolojisi kesitleri, her türdeki mühendislik jeolojisi haritalarının ayrılmaz ve gerekli ekleridir. Bu kesitlerin sayısı ve yönleri mühendislik jeolojisi koşulları arasındaki ilişkileri temsil edecek şekilde, jeomorfolojik özelliklere ve jeolojik yapıya bağlı olarak belirlenir. Kesitin yatay ölçeği haritanın ölçeğine eşit veya daha büyük olabilir. Düşey ölçek ise, en üstteki kaya ve zemin birimlerinin yayılımını ve özeliklerini gösterebilecek büyüklükte ve sondaj ile ve diğer kazıların derinliğine göre seçilebilir (Şekil. 9). Harita üzerinde gösterilen tüm bilgiler, kesit üzerinde de belirtilmeli ve kesitin ayrıntıları haritadaki ayrıntılarla uyumlu olmalıdır.



Şekil 9, Bir şev duraylılığı çalışması için hazırlanmış mühendislik jeolojisi kesiti (Ulusay vd., 1998).

Dökümantasyon haritaları

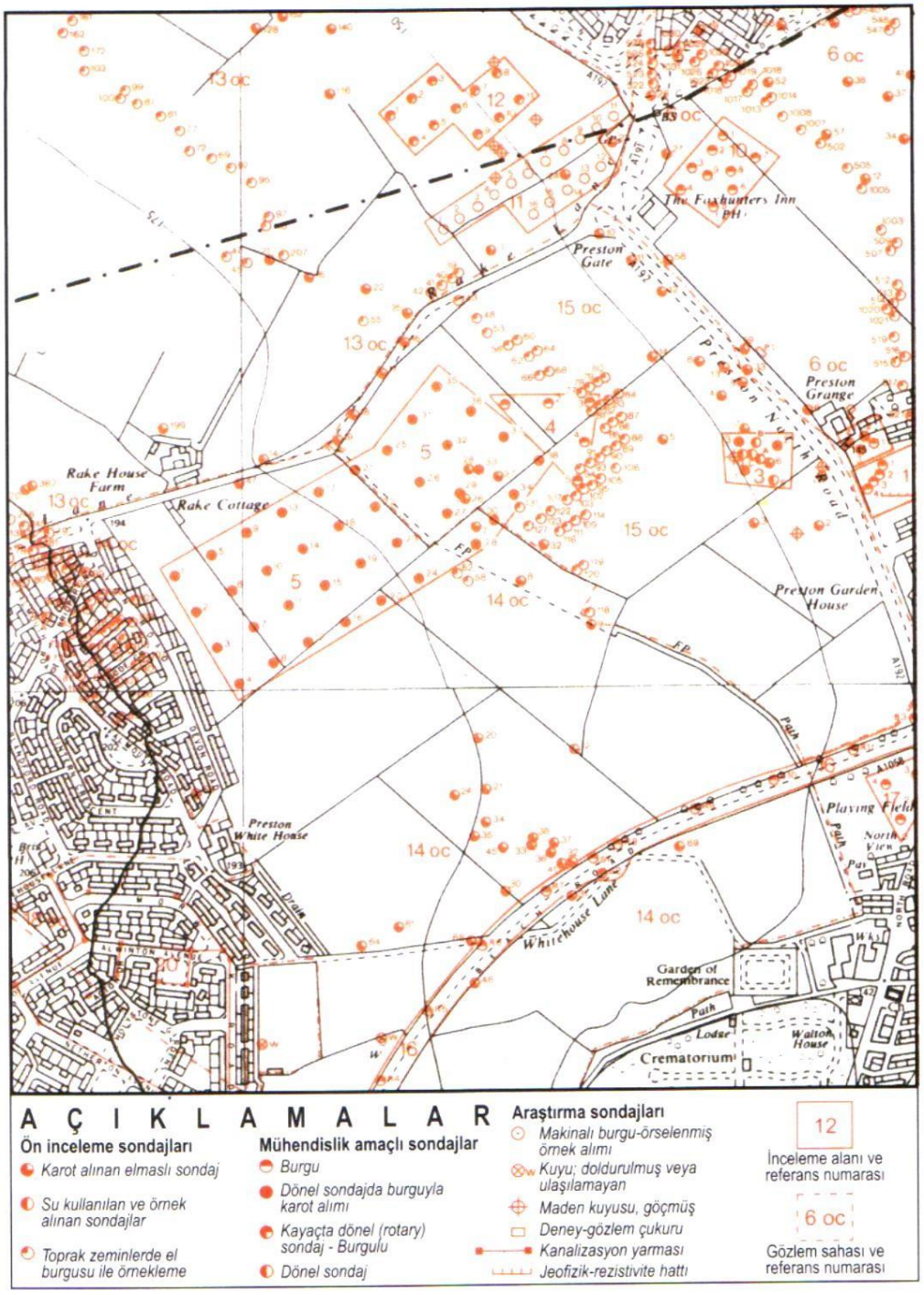
Bu haritalar, mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanması sırasında kullanılan veri kaynaklarının türlerini ve yerlerini gösteren haritalar olup, mühendislik jeolojisi haritası ile aynı ölçekte çizilirler. Bir karışıklığa neden olmaması koşuluyla, hazırlanan harita mühendislik jeolojisi haritası ile birleştirilebilir.

Dokümantasyon haritalarına kaydedilen bilgiler, örneğin; sondajların derinliği, tipi, incelenen yüzeylemelerin, konumları işletme ve taş ocakları, kuyular, kaynaklar, örnekleme türü ve yerleri, yerinde yapılan deneylerin türü ve yerleri, fotoğrafı çekilen yerler olup, bunlar özel simgelerle gösterilirler (Şekil, 10).

Belirteç ve açıklamalar

Mühendislik jeolojisi haritalarında esas alınan ve yukarıdaki bölümlerde değinilen değişik özellikler ve bilgiler özel simgelerle ve/veya renklerle ve sayılarla gösterilir. Bu amaçla çok sayıda değişik simge önerilmiş olmakla birlikte, bir standartlaşmaya gidilmesi ve haritaların herkes tarafından kolayca anlaşılabilir olması açısından Geological Society Engineening Group Working Party (1972) ve IAEG-Comission on Engineering Mapping (1981) tarafından önerilen simge ve renklerin kullanılması tercih edilmektedir.

Tüm simgelerin, renklerin ve sayıların tanımı, açıklama veya belirteç bölümünde verilmeli ve gerekiyorsa, kaya ve toprak zeminlerin jeomekanik özelliklerine, hidrojeolojik koşullara, jeodinamik süreçlere ve zonlama bölgelerinin değerlendirilmesine ilişkin bir özet açıklama, haritanın ekinde sunulmalıdır. Ülkemizde mühendislik jeolojisi haritalarında ve planlarında kullanılan tüm simgeler kitabın sonunda bir ek halinde sunulmuştur.



Şekil 10, Dokümantasyon haritasına bir tipik örnek (Anonim, 1976).

KAYNAKLAR

Anonim, 1976, Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation. The UNESCO Press, 79s.

Erguvanlı, K., 1995, Mühendislik Jeolojisi; Dördüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, Cemal Nadir Sok. Akşam İş hanı, 13/1, 34410, Cağaloğlu, İstanbul, 590 s.

Geological Society Engineening Group Working Party, 1972, The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Q. J., Eng. Geol., 5(4), 295-381.

IAEG-Comission on Engineering Mapping, 1981, Rocks and soil descriptions and classification for engineering mapping. Eng. Geol., 24, 235-274.
Newman, E. B., Paradıs, A. R., ve Brabb, E. E., 1978, Feasibility and Cost of Using a Computer to Prepare Landslide Susceptibility Maps of the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Survey Bull. 1443. 27 s.
Ulusay ,R., 2001 , Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler ;TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları (Genişletilmiş 4. Baskı), no.38, Ankara, 385 s.
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276s.
Yılmaz, A., ve Atmaca, E., 2004, Sivas kenti katı atık deponi alanının çevre jeolojisi: CÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre 2004, 1. Ulusal Çevre Kongresi, Bildirileri, Sivas, 83-99.

Bölüm 18. ARAZİ KULLANIMININ PLANLANMASI, KARAR VERME SÜRECİ VE ÇEVRE JEOLOJİSİ

GENEL BİLGİLER

Ülkemizde arazi Kullanım Potansiyel Haritaları Projesi kapsamında ilk çalışmalara, 1976 yılında, MTA Genel Müdürlüğü çatısı altında, Temel Araştırmalar Dairesi'nde "Ankara Metropolitan Alanı Arazi Kullanım Potansiyeli Projesi" ile başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda Arazi Kullanım Planlaması Yerbilim Verileri Projesi adı ile yürütülen çalışmalar, bugüne kadar 55 ilde gerçekleştirilerek sonuçlandırılmıştır.

Buna göre, Arazi Kullanım Planlaması Yerbilim Verileri Projesi'nin amacı, bölgesel arazi kullanım planlamalarında yararlanılacak temel yerbilimi verilerinin irdelenmesidir. Ayrıca, İl genelini, kentsel yerleşim alanları ve çevresini, yeni kentsel gelişme alanlarını, sanayi alanlarını jeolojik ve jeodinamik süreçler açısından tanıtmak, planlamalarda yerbilimi verilerinin dikkate alınmasını ve gözetilmesini sağlamaktır. Yapılan araştırmalar ve üretilen haritalar, nitelikleri ve haritalama ölçekleri bakımından bölgesel planlamalara katkı ve veri sağlayacak düzeydedir. Bu çalışmalarda, uygulama imar planlarının hazırlanması ve bu planların uygulama sürecinde yönlendirilmesi de amaçlanmıştır (Ateş ve Aktimur, 2019).

Arazi kullanım planlamasının genel amacı, arazinin her parselini en uygun, en pratik ve en verimli bir şekilde kullanmaktır. Bu tür kararlar, jeolojik verilerin yanı sıra arazi kullanım planlaması ve mühendislik jeolojisi birlikte değerlendirilerek verilmektedir.

Genellikle arazi kullanım planlaması büyük ölçüde jeolojik ve jeolojik olmayan birçok faktörleri içermektedir. Örneğin; böyle bir çalışma, arazi kullanımının ekonomik ve pratik yararları ile olası olumsuz çevresel etkileri de içerir. Çoğunlukla, arazi kullanım planlaması bir arazi parçasının en uygun bir şekilde kullanımını değerlendirir. Böylece çevresel etki değerlendirmeye benzer bir yol izlenmiş olur.

Arazi kullanım planlamasında en sık karşılaşılan sorun, enerji seçeneklerinin değerlendirilmesinde ya da kirlilik denetimindeki fayda-maliyet analizlerinde karşılaşılan sorunlardır. Böylece, farklı önemde yaklaşımlarla ilgili kararların verilmesi gerekmektedir. Bir maden yatağı, işsiz bir madenci için elbette tercih sebebi olabilir. Sürekli akan bir ırmak, bir baraja ya da hidroelektrik tesise de tercih edilebilir. Bu bölüm kısaca arazi kullanım planlamasındaki bazı temel ilkeleri ve uygulamaları değerlendirmektedir.

Bazı inşaat mühendisliği yapılarının tarihi en eski uygarlıklara kadar uzanır. MÖ 2400'de Mısır'daki Piramitler, Büyük Çin Seddi, Eski Roma'da yapılan yollar ve su kemerleri önemli mühendislik eserleridir. Yeri oluşturan gereçlerin davranışlarının anlaşılabilmesi için tüm yapıların inşasının yeterli ölçüde incelenmesi gerekir. Mesela, Pizza Kulesi'nin eğilmesi bu kulenin tasarımıyla ya da kullanılan gereçlerle de ilgili değildir. Bu yapının eğilmesi doğrudan doğruya temeli oluşturan kayaların duraysız olması ile ilgilidir. Sö konusu eğilme giderek artmaktadır.

Yaklaşık 200 yıldan beri yapıların inşasında ve planlamasında jeolojik ilkelerin gözetilmesi giderek daha fazla önem kazanmıştır. Mühendislik alanında eğitim görmüş çağdaş bir jeoloji mühendisinin en önemli katkısı, yapıların yer seçimi ve daha duraylı/güvenli yapıların inşasına olan katkıdır. Jeoloji mühendisi hem yapıları hem de bu yapıların jeolojik çevre üzerindeki etkileri göz önüne alır (Yılmaz, 2009).

Günümüzde çevre açısından en güç çalışmalardan biri de arazinin ve doğal kaynakların en uygun bir biçimde planlamasına karar vermektir. Bu çerçevede arazinin işlevi ve gerçek değeri ile insanın arazi ile ilgili olarak geleceğe yönelik tercihlerini gözeterek karar verme zorunluluğu vardır. Arazi kullanımına karar vermeden önce araziyi değerlendirmeye ilişkin güvenilir yöntemleri yasal bir çerçeve içinde geliştirmek gerekmektedir. Yani değerlendirme yöntemleri ve yasal çerçeve arazi kullanımının iki önemli bileşenidir.

Arazi kullanımının planlaması yer seçimi, kırsal estetik ve çevresel etkiler gözetilerek yapılır. Yasal çerçeveye, ***Çevre Yasası*** ile bu yasaya ilişkin yönetmelikler, yani geniş anlamı ile ***Çevre Mevzuatı*** yön vermektedir. Yasal çerçeve, uygulamalı yerbilimlerinin bir konusu değildir. Ancak her zaman, doğal çevreyi etkileyen yasal çerçeve ile uygulamalı yerbilimleri arasında bir köprü kurma gereksinimi vardır (Yılmaz, 2008).

ARAZİ KULLANIM SEÇENEKLERİ

Özellikle nüfusu yoğun olan bölgelerde arazinin herhangi bir parçasının farklı amaçlarla da kullanılması tercih edilmektedir. Bu kullanımlar çoklu kullanım ve ardışık kullanım adını alır (Yılmaz, 2009).

Çoklu yönlü kullanım

Herhangi bir arazi parçasının aynı ya da farklı zamanlarda değişik amaçlarla (2 ya da daha çok amaçla) kullanılmasına çok yönlü kullanım denilmektedir. Örneğin çukurda olan bir alan, futbol sahası olarak düzenlenebilir. Aynı alanın, futbol oynanmadığı durumlarda ve özellikle yağışlı mevsimlerde bir göl olarak değerlendirilmesi mümkündür. Özellikle bu tür alanların, akiferi temsil eden birimlerin üzerinde olduğu durumlarda, böyle bir kullanım uygun düşmektedir. Böylece gölde biriken su zamanla süzülüp akifere ulaşır.

Sonuç olarak aynı alan hem sportif etkinlikler için hem de YAS (yeraltı suyu) kaynaklarına katkıda bulunmak üzere iki amaçla kullanılmış olur. Çok yönlü kullanıma diğer bir örnek, aynı alanın hem çiftlik hem de mera olarak kullanılması verilebilir ya da yerin altında bir maden işletilirken yüzeyde tarımın yapılması çoklu kullanıma örnek verilebilir.

Ardışık kullanım

Aynı alanın birbirini izleyen evrelerde çeşitli amaçlarla kullanılarak değerlendirilmesi ardışık kullanım olarak tanımlanır. Buna örnek olarak terkedilmiş olan yeraltı işletmeleri eğer uygun koşullar taşıyorsa, bir depo olarak ya da tesis, hatta büro olarak kullanılabilir. Örneğin, terk edilmiş bir taş ocağı depo olarak değerlendirilebilir. Bazı ülkelerde de madencilik amacıyla açılan yeraltı işletmeleri laboratuvarlara dönüştürülmüştür. Kuşkusuz böyle bir durumda gerekli güvenliğin ve diğer koşulların sağlanması gerekmektedir. Örneğin, metan gazının uzaklaştırıldığı eski kömür ocaklarının bazıları bir yönüyle tercih edilmelidir.

Ayrıca terk edilmiş olan maden ocakları çeşitli atıkları uzaklaştırma aracı olarak da kullanılmaktadır. Özellikle yüksek düzeyde radyoaktif atıklar içeren gereçlerin bu şekilde uzaklaştırılması tercih edilmektedir. Ocak, deponi alanı olarak değerlendirildikten sonra toprakla örtülür ve ağaçlandırılıp bir park olarak kullanılabilir ya da arazi deponi alanı olarak kullanımından sonra enerji üretimi amacıyla da değerlendirilebilir. Açık bir taş ocağı işletmesi, dinlenme amacıyla kullanılan bir göle de dönüştürülebilir. Ardışık kullanımda arazinin tüm özellikleri yeni kullanım açısından gözden geçirilmelidir.

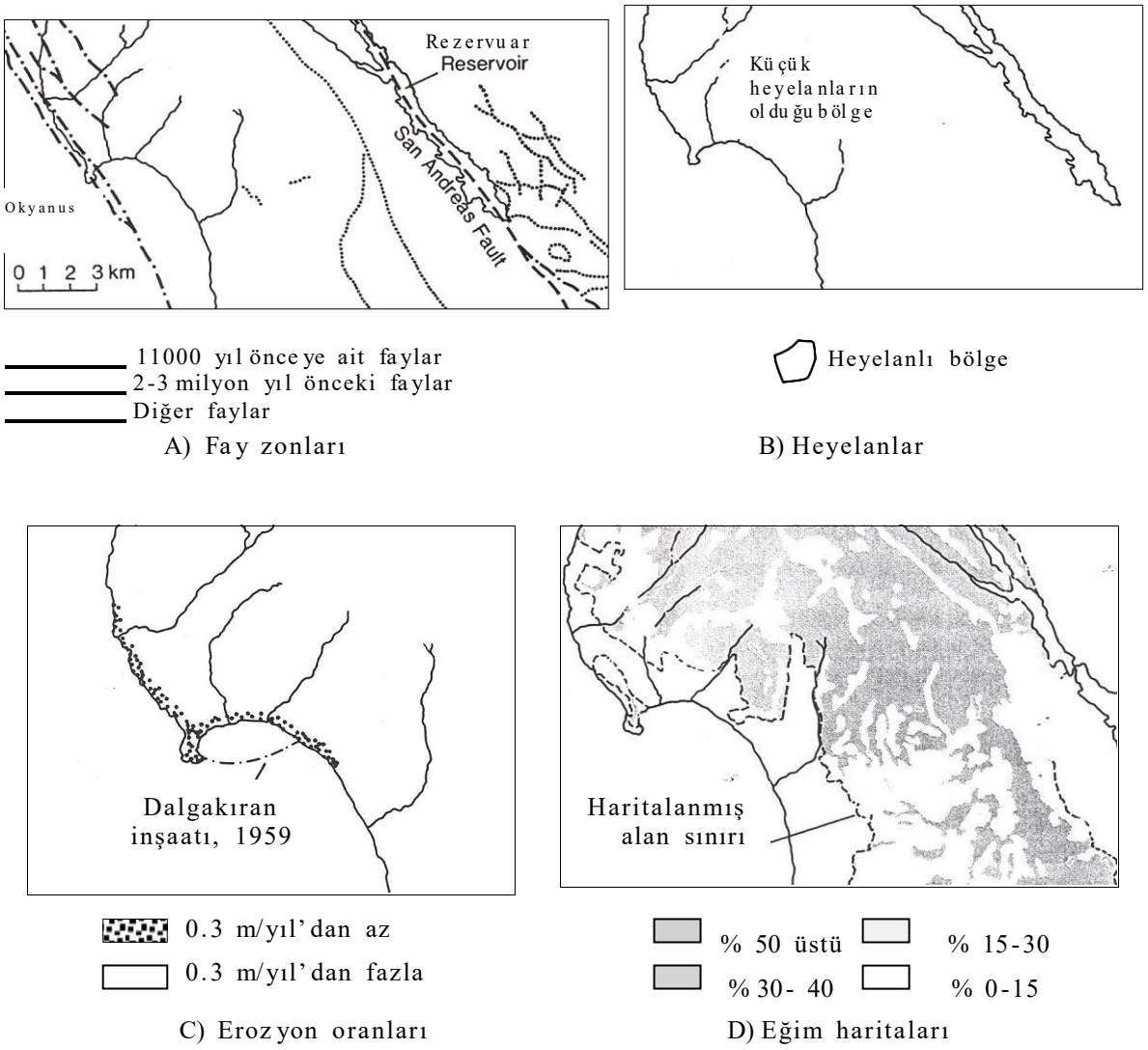
PLANLAMA AMACIYLA HAZIRLANAN HARİTALARIN GENEL ÇERÇEVESİ

Arazi kullanım planında jeolojik ve diğer tüm bilgilere gereksinim duyulmaktadır. Bu bilgilerin tümü çok açık ve net bir biçimde haritaya aktarılmalıdır. Örneğin, topoğrafya, yamaçların eğimi, yüzey ve yeraltının zemin jeolojisi, YAS tablası derinliği, erozyon oranları gibi bilgilerin haritada temsil edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca bu haritalarda aktif faylar, taşkınlar ve heyelanlarla ilgili doğa kaynaklı yer süreçlerinin gösterilmesi zorunludur. Bir fikir vermek üzere, Şekil 1'de ve 2'de bazı örnekler sunulmuştur. Bu tür haritalarda, bitki örtüsü, nüfus dağılımı ve yoğunluğu gibi jeolojik olmayan bilgiler de yer alabilir.

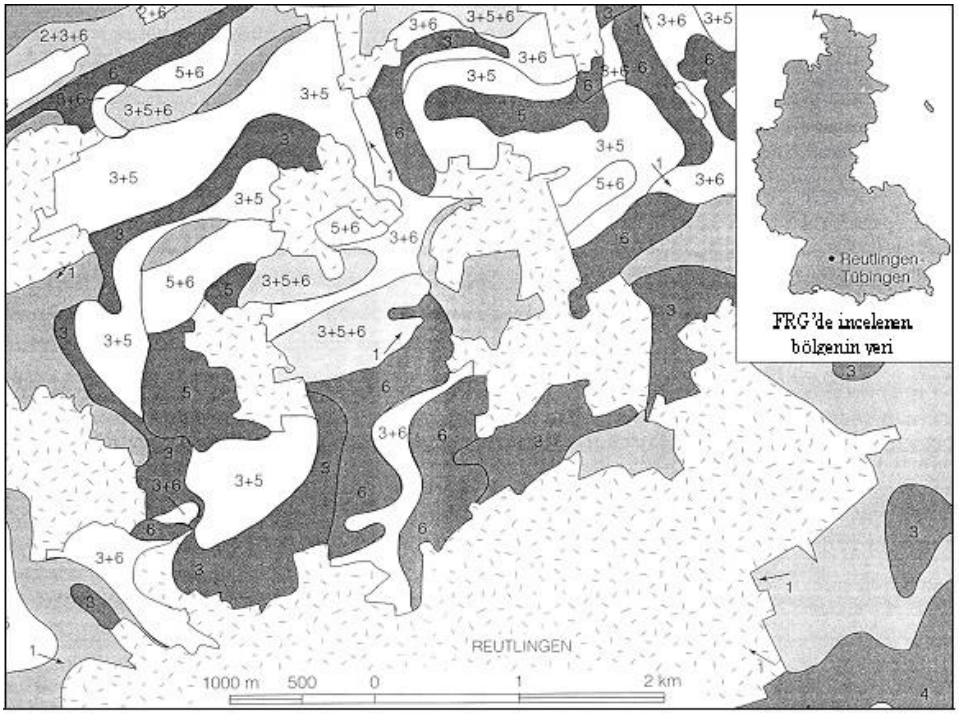
Bir arazi kullanım planlamacısı, arazi kullanım çalışmalarında her kullanıma özgü, gözetilmesi gereken ölçütleri belirlemelidir. Haritalar, gözetilmesi gereken koşulların yeterli olup olmadığını

yansıtmalıdır. Örneğin bir karayolu güzergâhı yer seçiminde, bir planlamacı güzergâhı olabildiğince fay zonlarından uzak olan yerlerden geçirmelidir.



Şekil 1. Çeşitli doğa kaynaklı risk bilgilerini içeren bazı harita türleri (Atwater, 1979).

Son yıllarda arazi kullanım planlama süreçlerinde çeşitli bilgisayar yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu bilgisayarlarda bilgilerin sayısallaştırılması mümkündür. Bunun için önce seçilen bölgenin, enlem ve boylamları tanımlanmalıdır. Bu tanımlamada 1 km^2 ya da en azından 10 km^2 alanı dahi temsil eden alanlar görülmelidir. Şekil 3'de taslak bir uygulama görülmektedir. Burada bilgisayar ortamında çeşitli bilgiler değerlendirilir, böylece her alana karşılık gelen sayısal verilerle, çeşitli süreçleri değerlendirmek mümkün olur.



Korunması gereken unsurlar:
1=Uygun biyoklimatik koşulların korunması
Yüksek radyasyona sahip soğuk hava akıntılarının yönü
2=YAS'nun korunması
Önemli YAS gereksiniminin karşılandığı alanlar
3=Yüzey sularının korunması
Yoğun yağışın olduğu durumlarda bu yağıştan etkilenen alanlar
4=Suların kurumadan korunması
YAS oluşumunun yüksek olduğu alanlar
5=Kırsal ekonominin korunması
Yüksek ürün veren koşulların tam amacıyla korunması
6=Biyolojik bitkilerin korunması
Flora ve fauna türlerinin ve önemli toplulukların olduğu alanlar
7=Doğal kaynakların korunması
Yüzeye yakın kaynakların olduğu alanlar

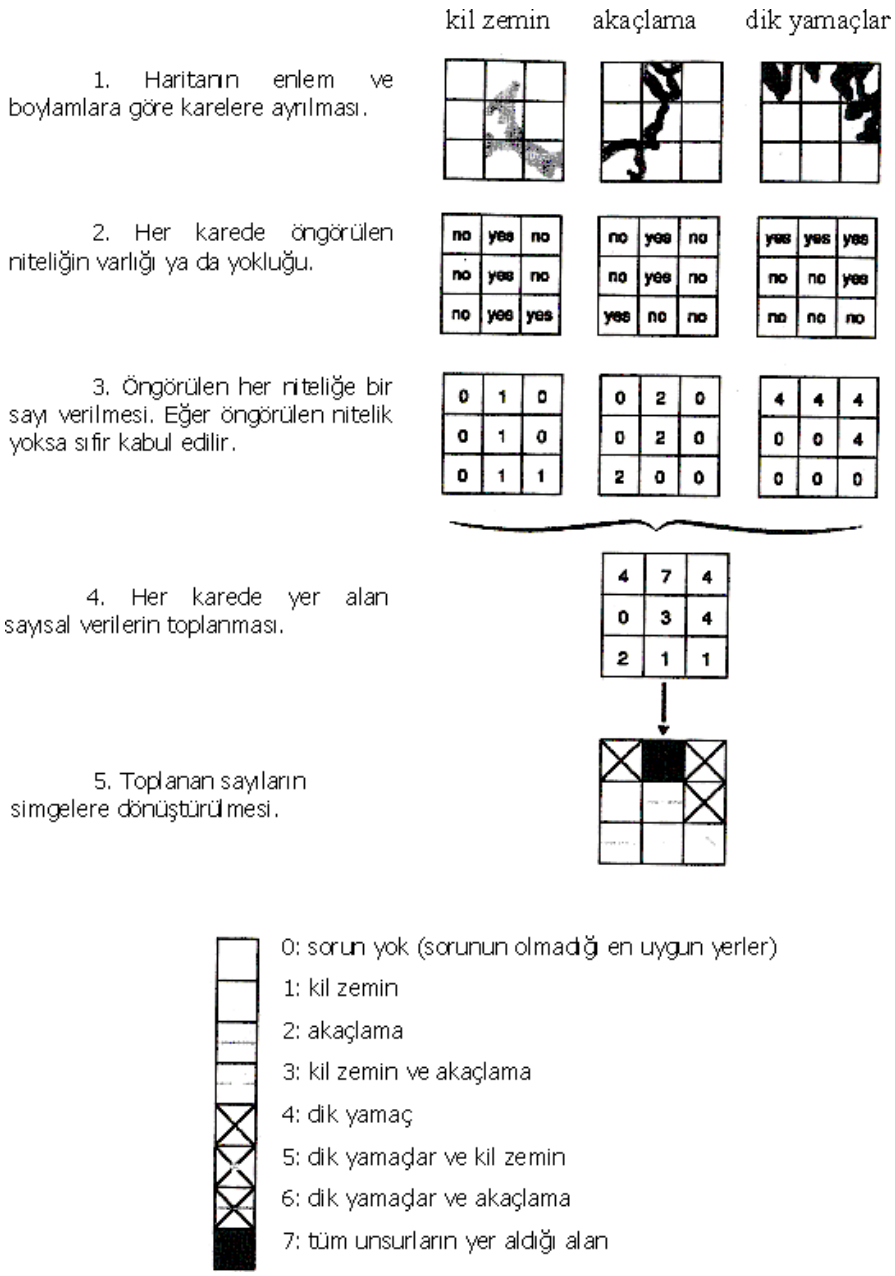
Herhangi bir işlevi olmayan alanlar:
İşlevsiz alanlar
1 işlevi olan alanlar
2 işlevi olan alanlar
3 işlevi olan alanlar
Çökellerle örtülü alanlar

Şekil 2. Almanya Reutlingen/Tubingen dolayındaki çeşitli arazi kullanım biçimlerini yansıtan bir harita. Taranan yerler herhangi bir bölgenin işlevlerini göstermekte, sayılar ise unsurların türünü belirtmektedir (Stenestad ve Sustrac, 1992).

Jeolojik ya da jeolojik olmayan tüm veriler enlem ve boylamlara göre bölümlere ayrılmış bir alan üzerinde gösterilebilir. Bu verileri değerlendirme programları amaca göre düzenlenebilirler. Ancak, haritalarda bazı sınırlamalara da gereksinim vardır. Örneğin her harita için bir ölçek gereklidir. Bu ölçek verilen bir bilgiyi değerlendirebilecek boyutlarda olmalıdır. Örneğin 1 cm, 1 km'yi temsil ediyorsa, böyle bir haritanın ölçeği 1/100.000'dir ve böyle bir haritada tüm küçük yapılar da gösterilemeyebilir. Böyle bir durumda da daha büyük ölçekli haritalara gereksinim duyulur.

Bazen sorun ölçekten çok bilginin kendisinde de olabilir. Örneğin, bitki örtüsü ya da yüzey jeolojisi haritası, uydu görüntülerinden hazırlandığında böyle sorunlarla karşılaşılabilir. Tüm verilerin sahada denetlenmesi gerekir. Topoğrafik, jeolojik ve diğer yerbilimleri ile ilgili haritaların

hazırlanmasında doğrudan arazide gözlem önemlidir. Arazi kullanım kararlarının verilmesinde yetersiz veriler içeren açınsama nitelikli haritaların kullanılmaması gerekir.



Şekil 3. Planlamacılar ve bilgisayarcıların kullandığı verileri içeren sayısallaştırılmış haritalar. Bu örnekte her değişken (kil zemin, akaçlama, dik yamaçlar) her alanda 1 ya da 2 değere sahiptir. Örneğin, bir alan ya kil zemin ya da değildir. Dik yamaçlar var ya da yok gibi (Forelich ve diğerleri, 1979).

MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ ÇERÇEVESİNDE YER SEÇİMİ

Yer seçimi ile ilgili değerlendirmelerde bazı temel jeolojik faktörlerin göz önüne alınması zorunludur. Ancak her proje özelinde gözetilmesi gereken jeolojik faktörler farklıdır. Örneğin toplu konutlarla ilgili büyük jeolojik faktörler geniş bir yelpaze sunarlar. Bu konuda gözetilmesi gereken faktörlerin bazıları aşağıda sunulmuştur:

- Bölgede yer alan kaya türleri nelerdir?
- Bu kayatürleri öngörülen yapıları taşıyabilme dayanımlılığına sahip midir?
- Kayalarda yer alan yapısal unsurlar, örneğin kıvrımlar, faylar gibi düzlemsel yapıların konumu nedir?
- Bu kayaların kırıklı yapıları yaygın mı?
- Kayalardaki gözeneklilik ve geçirgenlik oranı ne durumdadır?
- Yöredeki kayalar, erozyon ve günlenmeden ne oranda etkileniyor?

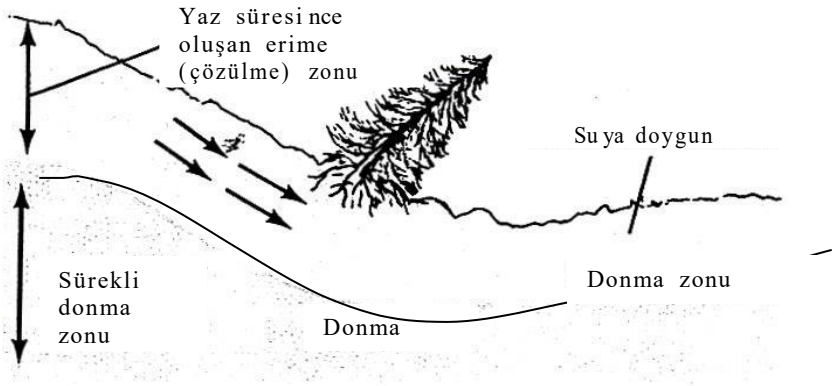
Bu sorunların çoğu gözeneklilik, geçirgenlik, dayanımlılık ve duraylılık ile ilgili olup, zeminlerin temel özellikleri için geçerlidir. Örneğin,

- Bölgede yer kaymaları olasılığı var mı?
- Yapıların kendisinden, yani ağırlığından ileri gelen kayma potansiyeli var mı?
- Zeminler ne ölçüde koheziftir?
- Yerleşme sorunları var mı?
- Nem içeriği nedeniyle zeminlerin şişme potansiyeli nedir?
- Sıkışma sorunları var mı?
- Sel ve taşkın durumu, depremler gibi doğal süreçlerin yapılar üzerinde yaratabileceği sorunlar neler olacaktır?
- Bölgedeki su sorunları nelerdir? Örneğin, yüzey suyu ve yeraltı suyu potansiyeli ve yayılımı ne kadardır?
- Yerleşim birimlerinin akifer sistemini etkileyip etkilememe durumu var mı?
- Eğer bölge foseptik amacıyla planlanmışsa zemin özellikleri topoğrafyaya uygun mu?

Her bölgede olası katastrofik (büyük yer değişimleri yaratan) tehlikeler olabilir. Bunlardan depremler ve volkanlar önemli tehlikeler olup, yer seçiminde gözetilmeleri gerekmektedir. Yer kaymaları, sel ve taşkınlar her ülkede etkili olan tehlikeli yer süreçleridir. Kimi kaya birimleri erime ve çözülmeden dolayı yeraltında çukurluklar meydana getirebilir. Bu tür çukurlar, yeraltı madenciliği sırasında da yapay olarak meydana gelebilir.

Sonuç olarak, jeolojik faktörlerin listesi daha da genişletilebilir. Örneğin, geniş bir alanda yapılan boru hatları gibi çizgisel mühendislik yapıları düşünüldüğünde birçok jeolojik faktörün ve potansiyel sorunun gözetilmesi gerektiği açıktır. Büyük dağ kuşaklarından geçen mühendislik yapılarında birçok vadi ve ırmaklar geçilir. Bu akarsuların bir kısmı kışın donar ve yazın kısmen de olsa çözülür. Güzergâh üzerinde birçok diri fay olabilir. Böyle durumlarda fayların yer değiştirmesi donma ve genişleme sırasında ortaya çıkan sorunlar göz önüne alınarak boru hattı projelerinin tasarımı gerçekleştirilebilir.

Önemli sorunlardan biri de soğuk iklimin egemen olduğu yerlerde ortaya çıkan donma olaylarıdır. Bu gibi yerlerde toprağın üst kısmı donar. Bu donan kısmın bir bölümü yaz aylarında çözünür. Kutuplarda bu çözülme yüzeyden itibaren kısmen gerçekleşir. Daha altta yer alan çözülmemiş olan zona ***donma zonu*** denir. Donma zonu ile çözülmüş zon arasındaki sınıra da ***donma düzeyi*** denir. Bu düzey, YAS düzeyi gibi mevsimsel iklimsel değişiklikleri ile birlikte kimi zaman düşer kimi zaman yükselir (Şekil 4).



Şekil 4. Soğuk iklimlerde donma zonu, donma düzeyi ve yaz aylarında oluşan erime zonu (Mountgomery, 1995).

Donma devam ettiği sürece zemin, yapılar yönüyle herhangi bir sorun yaratmaz. Fakat havalar ısınıp, donma zonu üstü çözüldüğünde daha derindeki donan zon korunsa bile çözünmüş olan kısım, topoğrafyaya bağlı olarak suyun akışı yönünde kayar. Trans Alaska boru hatlarında çalışan personel, bu tür sorunlarla pek çok yerde karşılaşmıştır.

Boru içerisindeki petrol de sorun yaratabilir. Bilindiği gibi petrolün boru içinde akabilmesi için yaklaşık 60 ^{0}C'de olması gerekir. Bu sıcaklık, petrol boru hattı dolayındaki donma zonunda çözünmeye yol açabilir. Bu da kimi zaman boruların bel vermesine ve hatta kopmasına yol açabilir. Bu sorunu çözmek üzere kimi zaman boruların etrafında ısı geçirmeyen malzemeyle izolasyonunun sağlanması gerekmektedir.

Ancak, Çevre Jeolojisi çerçevesinde kapsamlı bir çaba ortaya konulacaksa, jeolojik faktörlerin yanı sıra, toplumu da ilgilendiren sosyoekonomik ve kültürel faktörlerin de gözetilmesi gerekir. Bu ayrıntılara da ayrıca değinilecektir.

ALAN DEĞERLENDİRMESİ

Arazi kullanımının planlaması yer seçimi, yapının tasarımı ve çevresel etkilerin belirlenmesi gibi değerlendirmeler ışığında yapılmaktadır. Bu çalışmaların çeşitli evreleri de vardır.

Arazi değerlendirmesinde jeoloji mühendisinin görevi, planlama, tasarım ve yapılaşmadan önce temel jeolojik bilgiyi sağlamaktır. Çizelge 1'de planlama evresinde jeoloji mühendisleri ile diğer uzmanlar arasındaki olası ilişkilerin bazıları görülmektedir. Bu çizelge, planlamada jeoloji mühendisinin önemini açıkça göstermektedir.

Jeolojiye yönelik uygulamalar, projeden projeye ve sahadan sahaya farklılıklar sunar. Fakat bu uygulamalar arazi kullanım planlanmasında ***'konuya özel' alan değerlendirmesi*** yapılırken aşağıda sunulan temel unsurları içermelidir:

1. Çevre Jeolojisi: Birimlerin kayatürü özellikleri yayılımı ve stratigrafik diziliminin yanı sıra gereçlerin ya da kaynakların temel özellikleri, potansiyeli ve amaca yönelik olarak (örneğin deponi alanları için) kabul edilebilir ölçütler belirlenmelidir.

Çizelge 1. Planlama sırasında disiplinler arası ilişkiler (Turner ve Coffman, 1973'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Birincil katkılar

İkincil katkılar

Katkısı olmayan disiplinler

Ana çalışma konuları	Özgün çalışma konuları	Çeşitli disiplinler: Jeoloji mühendisliği	Coğrafya	İnşaat mühendisliği	Tesisat mühendisliği	Mimari	Peyzaj mühendisliği	Planlama	Bölge planlama	Çevre koruma	Merkezi yasama	Yerel yasama	Sosyoloji	Çevre mühendisliği
Bölgesel ekonomi	Ekonomik temel		İ					B	İ		İ	B		İ
	Kaynak potansiyeli	B	İ	İ		İ	İ	İ	İ	İ	İ	İ	İ	İ
Bölgesel nüfus	Nüfus incelemeleri				İ			B	İ				İ	İ
	Sosyoekonomik çalışmalar							İ	B	İ	İ	İ	B	İ
Ulaşım	Ulaşım-güzergah seçimi	B	İ	B		İ	İ	B		B		İ		İ
	Yerel taşımacılık	İ		B		İ		B			İ	İ		İ
	Park olanakları	İ		B		İ	İ	B		İ		İ		İ
Doğal çevre ve kamu hizmet kurumları	Doğal kaynaklar	B	B	B	İ		İ	B	İ	B				İ
	Doğal afetler	B		B	İ			İ		İ		İ		İ
	Arazi düzenleme	B	İ	B	B			İ		B	İ	İ		İ
	Kamu altyapı hizmetleri	B		B	B			B			İ	B		İ
Toplumsal gereksinimler	Okullar, kütüphaneler	İ		İ		B	İ	B				B	B	İ
	Polis ve itfaiye			İ				B		İ	B	B	İ	İ
	Parklar, dinlenme alanları	İ	İ	İ		İ	B	B	B	B		B	İ	İ
Arazi kullanımı	Genel planlar	B	İ		İ		B	B	İ	B			İ	İ
	Yerel planlar	B	İ		İ	İ	B	B	İ	İ			B	İ
	Ticari gelişmeler	İ	İ	İ	İ	B	İ	İ		İ	İ			İ
	Sanayi gelişmeleri	İ	İ	İ	İ	B	İ	İ		İ	İ			İ
Kamu ve özel mülkiyet binaları	Özel meskenler	İ			İ	B	İ	İ				İ	İ	İ
	Kamu binaları	İ		İ		B	B	İ	İ			B		İ
Estetik	Tarihi, kültürel değerler	İ	İ			B	B	B	B	B			B	İ
	Toplu iyileştirme	İ		B	İ	B	B	B	İ	B		B	İ	İ
	Yasal denetimler				İ	İ	İ	İ				B	B	İ
Yasama ve yürütme	Yasama		İ					İ		İ	B	B	B	İ
	Yürütme							B	İ		B	B	İ	İ
Kaynak	Paranın sağlanması			İ				B	İ		B	B		İ
	Yardım programları			B	İ	İ		B		İ	B	B		İ
Diğer planlama çalışmaları	Tanımlanan amaçlar	İ		B		B	B	B	B	B	İ	İ	B	İ
	Kentsel yenileme programları	B		B	İ	B	B	B	B	B	B	B	B	İ
	Atık uzaklaştırma-yer seçimi	B		B	B			İ	İ	B		İ		İ
	Halk sağlığı	İ		İ	B			İ	İ			B	İ	İ
	Sivil savunma	İ		İ				İ				B		İ

2. Doğal riskler: 2a. Yamaç duraylılığı ile ilgili bilgiler derlenmelidir. 2b. Olası ya da diri faylar, kırık sistemleri ve sonuç olarak sismik duyarlılık belirlenmelidir. 2c. Taşkın alanlarının yayılımı belirlenmelidir.

3. Hidrojeoloji: Yeraltı suyunun derinliği ve akımına ilişkin özellikler.

4. Çevre Jeotekniği: Ana kayanın derinliği ve zeminin mühendislik özellikleri (örneğin gözenekliliği, dayanımı) ile ilgili bilgiler.

5. ÇED çalışmaları: Yani faaliyetin çevre üzerindeki etkileri.

Çizelge 2' de ise arazi kullanımın çok disiplinli bir ilgi alanı olduğu ve arazi kullanımında çeşitli bilgilerin önemi özgün çalışma konularına göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. Arazi kullanımını etkileyen bazı jeolojik bilgiler (Turner ve Coffman, 1973'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

	Arazi kullanım biçimleri						
X Çok önemli 0 Az önemli **Jeolojik Bilgiler**	**Küçük yapılar**	**Büyük yapılar**	**Deponi alanları**	**Taş ocakları**	**Kazı çalışmaları**	**Yol çalışmaları**	**Tarım**
Toprak ve kayaların özellikleri	0	X	X	X	X	X	X
Stratigrafik özellikler	0	X	X	0	0	X	0
Yamaç duraylılığı	X	X	X	X	X	X	0
Taşkın alanının yayılımı	X	X	X	X	X	X	X
Toprak örtüsünün kalınlığı	X	X	X	X	0	X	X
Yeraltı suyu tablasının derinliği	X	X	X	X	0	X	X
Sel ve taşkınlar	X	X	X	X	X	X	X

ARAZİ KULLANIM PLANLAMASI

Arazi kullanım planlamasında gözetilmesi gereken en önemli unsurlardan biri de güvenliktir. Bazı yerler bazı yapılar için güvenli olabilir ya da olmayabilir. Bölgenin temel jeolojisi bu konuda belirleyici bilgi verebilir. Buna göre arazi kullanım planlamasının giderek artan nüfusun gereksinimlerini de göz önüne alarak güncelleştirilmesi gerekmektedir. Nüfusun az olduğu durumlarda bile bazen arazinin bir parçası yanlış kullanılmış olabilir. Örneğin, bir çiftlikteki toprak erozyona uğramış olabilir ve arazi verimsiz hale gelmişse ya da bir akarsu kirlenmiş ya da kurumuş ise buradaki insanların yer değiştirme ve yaşama yeniden başlama zorunluluğu dahi olabilir (Yılmaz, 2009).

Kırsal alanların korunması

Yüzlerce yıl evvel kırsal alanlar yeteri kadar genişti. İnsanlar için kırsal alanlar yeterli bir konumdaydı. Fakat zamanla bu nitelikteki yerler azaldı. Ülkemizde de kırsal alanların çeşitli amaçlarla yeni kullanım alanlarına dönüştüğü görülmektedir. Ancak, her ülke kendi kırsal alanlarını koruma yükümlülüğü vardır.

Planlamada bazı yaklaşımlar

Planlamada sadece güvenlik yetmez. Aynı zamanda en uygun kullanım biçiminin de gözetilmesi gerekir. Jeolojik yaklaşımlara da bazı sınırlamalar gerekmektedir. Bu sınırlamalara ek olarak bir arazinin kaynak olma potansiyeli, kirliliğe karşı duyarlılığı, erozyonu ve diğer unsurların gözetilmesi de gerekir. Ayrıca nihai kararın verilmesinde biyolojik, ekonomik ve politik faktörlerin de gözetilmesi zorunluluğu vardır. Bu arada estetik faktörler de gözetilebilir. Yellowstone National Park oldukça güzel bir jeotermal kaynağı temsil eder ve korunması gerekir. Aynı şekilde önemli vahşi yaşamın hüküm sürdüğü alanların korunması, jeotermal bir tesisten daha önemlidir. Enerjiye çok büyük bir ihtiyaç olduğu durumlarda bile bu doğal güzelliklerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu nedenlerle bazen çok önemli bir maden yatağı dahi gözden çıkarılabilir.

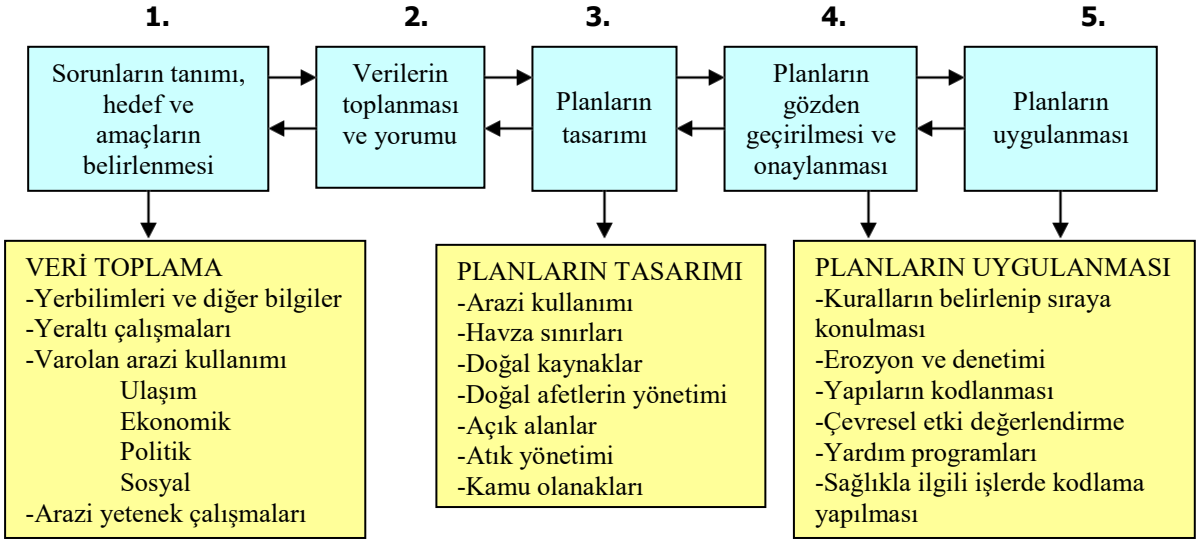
Ayrıca arazi kullanımının çeşitli biçimleri vardır. Örneğin tarım, kentleşme, ulaşım ağları, kırsal alan olarak kullanım, doğal yaşam için barınakların yapılması, parklar ve diğer dinlenme alanları arazi kullanımının çeşitli biçimleridir. Jeoloji mühendisleri, arazi kullanımının insan açısından önemli olduğunu gözeterek arazi kullanım planlamasına katkıda bulunmaktadır. Bunun için öncelikle arazinin temel

özellikleri, yani çeşitli birimlerin temel özellikleri ile stratigrafik düzenleri ortaya konulmalıdır. Bu çalışmalar yeterince ayrıntılı bir biçimde yapılmadan herhangi bir konuda karar vermek güçtür. Her özel kullanım için, uygun bir arazinin planlanmasına yönelik yoğun bir çaba gösterilmelidir.

Son yıllarda yukarıda da tanımlandığı gibi, kentlere yakın olan arazilere olan yoğun gereksinim, bu arazilerin sürekli bir amaçla kullanımından ziyade ***çok yönlü kullanım*** (multiple use) ya da ***ardışık kullanım*** (sequential use) gibi kavramların doğmasına yol açmıştır. Dünyada pek çok örnek olmasına karşın, ülkemizde henüz örnek gösterilebilir ardışık kullanım uygulamaları sınırlıdır. Arazi kullanımının planlama süreçleri ise aşağıda sunulmuştur (Şekil 5):

- Sorunların tanımlanması,
- Hedef ve amaçların belirlenmesi,
- Verilerin toplanması ve yorumu,
- Arazi kullanım planlarının tasarımı,
- Gözden geçirme ve planların onaylanması,
- Planların uygulanması.

Arazi kullanım planlama süreçlerinde verilerin toplanması ve analizi evresi çok önemlidir. Olabildiğince verilerin güncel olmasına özen gösterilmelidir. Özellikle kullanılan haritalar ve temel bilgiler, arazi yetenek haritalarının hazırlanmasına altyapı oluşturacak düzeyde ayrıntılı olmalıdır. Örneğin doğal afetlerin etkilerinin azaltılması için bir çalışma yapılıyorsa, doğal afetlerin doğal süreçlere bağlı olarak gelişeceğini gözeterek ilk iş olarak sorunlu sahaların belirlenmesine öncelik verilmelidir.



Şekil 5. Arazi kullanım planlama süreçleri (Keller, 1979'dan kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Doğal yer süreçleri Yer'in dinamik yapısından ileri gelmektedir. Çizelge 3'de tehlikeli olan doğal yer süreçlerinin bazıları sunulmuştur.

Çizelge 3. Arazi kullanım planlamasında bazı önemli tehlikeli doğa kaynaklı afetlere ilişkin süreçler ve doğa kaynaklı afetlerin öz olarak tanımı (Keller, 1979'dan değiştirilerek alınmıştır).

Süreçler		**Doğa kaynaklı afetlerin tanımı**
Deprem	Faylanma	Yerkabuğunda gelişen büyük kırıklar boyunca komşu kayaların göreli olarak yer değiştirmesi
	Yer sarsıntıları	Deprem nedeniyle oluşan yer sarsıntıları
	Sıvılaşma	Depremler nedeniyle toprağın kimi yerlerde çamur-sıvı haline gelme durumu
Yer kayması (heyelan)		Toprak ya da kayaların belirgin biçimde yamaç aşağı devinimi
Sel ve taşkınlar		Ani yağışlar, uzun süreli yağmurlar, tropikal fırtınalar yada mevsimsel olarak gelişen buzulların erimesiyle suyun akarsu yataklarını taşarak akması; suyun barajları aşması yada barajların yıkılması; yeterli akaçlamanın olmaması nedeniyle suyun geri vurması yada gölcükler oluşturması.
Deniz kenarındaki uçurumların gerilemesi		Aşınma ve yer kayması sonucu deniz kenarındaki uçurumların yıkılıp gerilemesi
Genişleyip yayılan topraklar		Su aldığında şişen ve kuruduğunda çekilip büzülen killi topraklar
Aşınma (erosion) ve çökelme		Toprak ve kayaları oluşturan gereçlerin yüzey sularıyla aşınarak taşınması ve bu gereçlerin taşkın ovalarında yada deltalarda çökelmesi
Çökme		Yerin gerilme rejiminin etkisinde kaldığı yerlerde alçalarak çökmesi; yeraltı suyu, petrol ve gazın çekilmesiyle gevşek olan arazilerin göçmesi; doğal mağaralar yada yeraltı kazılarından oluşan boşluklar nedeniyle meydana gelen çökmeler
Su tablasının yükselmesi		Yeraltı su tablasının, fosseptik sistemleri, çeşitli yapıların temelleri ve özellikle deponi yerlerini de etkileyerek yeryüzüne kadar yükselmesi
Tuzlu su baskınları		Deniz suyunun kara içine doğru ilerlemesiyle tatlı su kaynaklarının kirlenmesi
Plaj gerilemesi		Kıyılardaki çakıl ve kumların aşınıp taşınması nedeniyle plajların zarar görmesi
Kumulların göç etmesi		Bitki örtüsünün yok olması, rüzgarın da etkisiyle kumulların kara içinde taşınarak göç etmesi

Doğa kaynaklı afetlere ilişkin süreçler, araziye özgü nitelikler gözetilerek değerlendirilmelidir. Nükleer santraller, barajlar, karayolu üstgeçitleri, hastaneler, okullar ve yüksek binalar risk taşıyan yerlere yapılmamalıdır. Jeoloji mühendisliği, doğa kaynaklı afetlerin yönetimin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Doğa kaynaklı süreçlerin ürünü olan afetlerin azaltılması yönünde ise çeşitli önlemler vardır:

1. Arazi kullanımı, potansiyel olarak tehlike sunan taşkın ovaları, duraysız yamaçlar gibi doğal afetlerin oluşabileceği yerler belirlendikten sonra programlanabilir.
2. Sel ve taşkınların etkilerini en alt düzeye indirmek üzere çeşitli önlemler alınabilir. Örneğin sel ve taşkın sularının yapay akaçlamalarla göller oluşturmadan uzaklaştırılması mümkündür.
3. Doğa kaynaklı afetlerin etkileri en alt düzeye indirilebilir. Örneğin yapıların tasarımında ve uygun malzemelerin kullanılması halinde depremlerin etkileri azaltılabilir.
4. Doğa kaynaklı afetlere ilişkin süreçler ayrıntılı bir biçimde irdelenip, bu süreçlere uygun erken uyarı sistemlerini geliştirerek, gerektiğinde risk altındaki bölge olası afetlerden önce boşaltılabilir.

Yukarıda belirtilen yöntemlerin seçiminde jeoloji mühendisi, karar verme sorumluluğunu taşıyan ekip içinde önemli bir konuma sahiptir. Doğa kaynaklı afetlerin fiziksel, çevresel, sosyal, politik ve ekonomik açılardan irdelenmesi bir bütünsellik içinde gerçekleştirilmelidir.

Arazi kullanım planı

Arazi kullanım planı dört temel unsur içermektedir:

1. Arazi kullanım konularını, amaç ve hedeflerini içeren bir karar,
2. Verilerin toplanması ve analizini içeren bir özet,
3. Bir arazi sınıflama haritası,
4. Yöreyi çevresel açıdan değerlendiren bir rapor (Geçmişteki kullanım biçimlerini de gözeten bir rapor).

Amaç ve hedefleri içeren bir karar, en azından on yıllık bir zaman için geleceğe yönelik planlamalara yardım edebilecek ve katkıda bulunabilecek düzeyde olmalıdır. Bu çalışmalar, halkın ve kamu kuruluşlarının iş birliği ile hazırlanmalıdır. Karar, kültürel, tarihi ve diğer görsel kaynaklar, doğal kaynaklar, ekonomik ve nüfusa ilişkin bilgilerin yanı sıra doğal çevrenin korunması ile ilgili temel bilgiler içermelidir.

Verilerin toplanması ve analizi, mevcut nüfus, ekonomi, arazi kullanımı, planlar, politikalar ve genel kurallar; arazi potansiyeli, su, kanalizasyon, okullar gibi topluma yönelik hizmetlerde sınırlamalar; nüfus, ekonomi, arazi ve diğer hizmetlerin gelecekteki konumları ve buna göre geleceğe yönelik gereksinimleri kapsamaktadır.

Çizelge 4'de ABD'nin Kuzey Carolina eyaletinde ilgililerce yapılan değerlendirme sonucunda belirlenmiş olan bir arazi kullanım planlaması için öngörülen unsurlar ve gerekli olan, bilinmesi tercih edilen veriler sıra ile sunulmuştur. Planlama, arazi sınıfı gözetilerek yapılmalıdır. Ülkenin her tarafının arazi sınıflama haritası olmalı ki, planlamada kolaylıkla bir karar verilsin. Çizelge 5'de arazi sınıflama sistemine ilişkin bir örnek sunulmuştur.

Arazi sınıflama haritası, arazi kullanım planının kalbidir. Bu tür haritalar, arazi kullanım politikasının bir göstergesi olarak beş temel amaca hizmet eder.

1. Yerel yönetimlerin ve devletin arazi kullanım politikaları arasındaki uyuma ve eşgüdüme hizmet ederler.
2. Kamunun araziye yönelik yatırımlarına rehberlik ederler.
3. Okullar, yollar, kanalizasyon ve su şebekeleri gibi yapıların planlanması ve bütçenin ayrıntıları için yol gösterici bir çerçeve sağlarlar.
4. Yol gösterici politika ve kararların eşgüdümünü sağlarlar.
5. Arazi vergilerinin adil bir biçimde toplanmasına ilişkin genel ilkeleri oluşturmaya yardım ederler.

Rapor ise, arazi sınıflama haritasıyla beraber, özellikle denetlenemeyen ve çevreye uyumlu olmayan faaliyetlerin onarılamayacak ölçüde zarar verebileceği alanlara dikkat çeker. Bu alanlar, özellikle kıyılarda yer alan bataklıklar, haliçler, yenilenemeyen kaynaklar (su bölümü çizgileri, doğal setler, akiferler), ve duyarlı, tarihi ya da doğal kaynakların yer aldığı yörelerdir. Dolayısıyla rapor ilgili alanın geçmişteki kullanım biçimlerine de ışık tutmalıdır. Ayrıca rapor, söz konusu alanların, izin verilebilir kullanım biçimlerine ışık tutmalı ve bu durumu belirgin bir hale getirmelidir.

Yukarıda sunulan temel bilgilere bakıldığında, bir arazi kullanım planını hazırlamanın karmaşık olduğu ve bir ekip çalışması gerektirdiği görülür. Uygulamacı bir jeoloji mühendisinin ürettiği bilgi, çevrenin tanımlanmasında ve arazinin belli bir amaç için doğru olarak kullanılması ve doğal kaynakların değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Buna göre, konuya ilişkin en yüksek düzeyde bilgi üretmek ve plancılara yardımcı olacak çevre jeolojisi haritalarını geliştirmek gerekmektedir.

Çizelge 4. Arazi kullanım planlarında öngörülen unsurlar, gerekli olan ve bilinmesi tercih edilen veriler (North Carolina Coastal Resources Comissions, 1975'den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Unsurlar	Gerekli olan veriler	Bilinmesi tercih edilen veriler
1. Mevcut geçerli unsurlar		
a. Nüfus ve ekonomi	Kısa analizler, varolan bilginin kullanımı	İnsan kaynaklarıyla ilgili ayrıntılı analizler (nüfus bileşimi, göç oranları, eğitim durumu gibi) ve ekonomik gelişme faktörleri (iş gücü özellikleri, pazar alt yapısı, işsizlik vb)
b. Var olan arazi kullanımı	Genel çerçevede haritalamalar	Bina envanteri dahil daha ayrıntılı analizleri içeren haritalamalar
c. Güncel planlar, politikalar ve kurallar		
1. Planlar ve politikalar	1. Öz bilgiler ve listelerin oluşturulması	1. Arazi geliştirme yapılarına ilişkin plan ve politikaların ayrıntılı etki analizleri
2. Yerel kurallar	2. Kuralların uygulanma biçimlerinin tanımı ve ilgili listelerin oluşturulması	2. Uygulamanın derecesi ve yeterliliği ile ilgili ayrıntılı değerlendirme
3. Genel kurallar	3. Çevre ve Orman Bakanlığı'nca sağlanan öz bilgiler ve listelerin oluşturulması	
2. Sınırlamalar		
a. Arazi potansiyeli	1. Aşağıdaki unsurların (yeterli bilgi sağlanabildiği durumlarda) analizi:	
1. Fiziksel sınırlamalar	• Tehlikeli alanlar • Topraklara ilişkin sınırlamaların olduğu alanlar • Suyun sağlanmakta olduğu kaynaklar • Dik yamaçlar	1. Gereksinim duyulan yerlerin genel haritalanması ve ayrıntılı analizi ile konuya özel ek unsurların haritalanması ve analizi: • Su kalitesi sınırlı alanlar • Hava kalitesi sınırlı alanlar • Diğer alanlar
2. Duyarlı alanlar	2. Aşağıdaki unsurların (yeterli bilgi sağlanabildiği durumlarda) analizi: • Yağmurlu (nemli) alanlar • Kumullar • Plajlar • Özgün vahşi yaşam alanları • Manzaralı yüksek yerler • Güzel doğal alanlar • Diğer yüzey sularının yer aldığı duyarlı alanlar	2. Gereksinim duyulan yerlerin genel haritalanması ve ayrıntılı analizi ile konuya özel ek unsurların haritalanması ve analizi
3. Kaynakların yer aldığı alanlar	3. Aşağıdaki unsurların (yeterli bilgi sağlanabildiği durumlarda) analizi: • Orman yönetimine gereksinim duyulan yerler • Verimli tarım arazileri • Maden alanları • Kamu alanları, ormanlar, parklar, oyun alanları ve diğer dinlenme yerleri • Özel vahşi yaşam yerleri	3. Gereksinim duyulan yerlerin genel haritalanması ve ayrıntılı analizi ile konuya özel ek unsurların haritalanması ve analizi: • Vahşi yaşam yönetimi için uygun potansiyel alanlar • Kırsal dinlenme yerleri • Manzaralı ve turistler için uygun yerler

(Çizelge 4 devam ediyor…)

b. Kamu olanakları	• Varolan suların tanımı ve kanalizasyon şebekelerinin yerleri • Su arıtma tesisleri, kanalizasyon, okul ve özel yolların tasarım kapasitesi • Yukarda belirtilen kullanımları yüzdesi	Ayrıntılı kamu çalışmalarının dökümü ya da planlar (iskan, ulaşım, dinlenme, su ve kanalizasyon, polis, itfaiye vd)
3. Tahmin edilmesi gereken unsurlar		
a. Nüfus ve ekonomi		
1.Nüfus	1. Varsa nüfus idaresinin on yıllık tahminlerine dayanan rakamlar	1. Nüfus idaresi ve yerel yönetimlerin modellerini kullanarak yerel koşullara uyarlanmış ayrıntılı tahmin ve analizler
2. Ekonomi	2. Ekonomide önemli olan unsurların ve büyük yönelimlerin tanımlanması	2. Ayrıntılı ekonomik incelemeler
b. Gelecekte olası arazi gereksinimleri	Yaklaşık on yıllık tahminlere dayalı verilerle tayin edilmiş toprak sınıfları	Ticari, yerleşim ve sanayi kolları için tayin edilmiş arazilerin ayrıntılı tahminleri
c. Kamu hizmetleri gereksinimleri	Temel gereksinim boyutlarının yaklaşık ortaya konulması	Tüm kamu hizmetlerinin ya da bazılarının gereksinim ve maliyetlerinin tahminleri

Çizelge 5. Arazi sınıflama sisteminin bir örneği ((North Carolina Coastal Resources Comissions, 1975'den kısmen deştirilerek alınmıştır).

a. ***Uygun*** -araziler, nüfus yoğunluğunun orta ve yüksek, gereksinim duyulan kamu hizmetlerine ilişkin arazi kullanımlarının uygun olabileceği yerler.

b. ***Geçiş***-arazileri, yerel kamu planlarının orta ve yüksek düzeyde gelişmeyle uyumlu olduğu ve geleceğe ilişkin on yıllık zaman diliminde gerçekleşecek büyümeye uygun temel kamu hizmetlerinin olabileceği yerler.

c. ***Kamu***-arazileri, şimdi ya da gelecekte kullanıma gereksinim duyulmayan ve geleceğe ilişkin on yıllık zaman diliminde yerleşim açısından düşük yoğunluklu gelişmeye açık yerler.

d. ***Kırsal***-araziler, tarım, ormancılık, madencilik, su kaynakları gibi doğal kaynak potansiyeline dayalı kullanımın olduğu yerler.

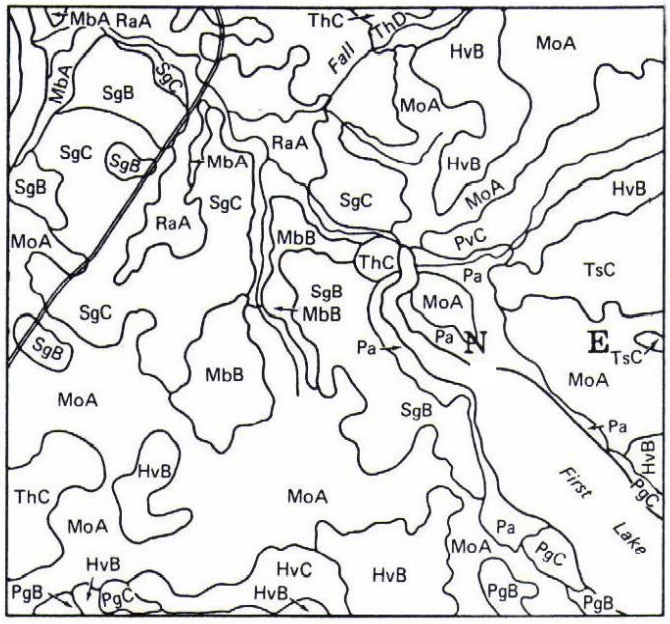
e. ***Korunması gereken***, duyarlı, tehlikeli ve diğer araziler, halk sağlığı, güvenlik ya da refah yönüyle ve sağlıklı doğal bir çevrenin korunması ve böyle bir ortamın sürdürülmesi için gereksinim duyulan yerler.

Zemin (Toprak) incelemeleri ve arazi kullanım planlaması

Ayrıntılı zemin haritalarından sağlanan temel bilgiler, arazi kullanım planlamasında oldukça yararlı olabilir. Zeminler yerleşim, hafif sanayi, fosseptik sistemleri, yollar, dinlenme yerleri, tarım ve ormancılık gibi arazi kullanımının gereksinimleri ışığında sınıflandırılabilir.

Belli bir amaca yönelik arazi kullanımının belirlenmesine ışık tutan temel özellikleri ise başlıca yamaç eğimi, su içeriği, geçirgenlik, ana kayanın derinliği, aşınmaya (erosion) karşı duyarlılık, büzülme-şişme potansiyeli, gerilme (bina gibi bir yapıdan ileri gelen bir yüke dayanma yeteneğine) ve çürümeye karşı dayanma potansiyeli şeklinde sıralanabilir.

Sınıflama, ayrıntılı zemin haritaları ve bunlarla beraber zemin türlerinin tanımlamalarından yararlanılarak yapılabilir. Dinlenme alanlarındaki binalar için zemin sınıflamalarını belirlemek üzere karar vermeyi kolaylaştırmaya ilişkin sunulan bir zemin değerlendirme örneği, zemin incelemelerinin önemini gözetecek biçimde olmalıdır. Şekil 6'da Maine'de Aroostock County bölgesinde 4.1 km^2'lik alanın zemin tanımlamalarını içeren ayrıntılı bir zemin haritası sunulmuştur. Çizelge 6'da ise dinlenme alanlarındaki binalar için hazırlanan zemin sınıflarına ilişkin liste görülmektedir (Bartelli vd., 1966).



HvB, Howland çok kayalı toprak %0-8 eğimli yamaçlar
HvC, Howland çok kayalı toprak %8-15 eğimli yamaçlar
MbA, Madawaska ince kumlu toprak, %0-2 eğimli yamaçlar
MbB, Madawaska ince kumlu toprak, %2-8 eğimli yamaçlar
MoA, Monarda ve Burnham silt toprak %0-2 eğimli yamaçlar
Pa, Turba ve bataklık çamuru
PgB, Plaisted çakıllı toprak %2-8 eğimli yamaçlar
PgC, Plaisted çakıllı toprak %8-15 eğimli yamaçlar
PvC, Plaisted ve Howland çok kayalı toprak %8-15 eğimli yamaçlar
RaA, Redttook ve Atherton siltli topraklar
SgB, Stetson çakıllı toprak %2-8 eğimli yamaçlar
SgC, Stetson çakıllı toprak %8-15 eğimli yamaçlar
ThC, Thorndike şeylli silt toprağı %8-15 eğimli yamaçlar
ThD, Thorndike şeylli silt toprağı %15-25 eğimli yamaçlar
TsC, Thorndike ve Howland toprakları, %8-15 eğimli yamaçlar

Şekil 6. Maine'nin Aroostock County'deki 4km^2'lik bir alanın ayrıntılı toprak haritası (Bartelli ve diğerleri, 1966).

Arazi türü (Şekil 6) ve özellikleri (Çizelge 6'daki bilgiler), birlikte değerlendirilerek, Şekil 7'de görüldüğü gibi binaların yapılabileceği alanlar belirlenir. Sınıflar standart olup, aşağıda gibi tanımlanırlar:

Hafif sınırlamalı zeminler (zayıf ve ince topraklar), planlı kullanımı etkileyen sınırlamaların göreceli olarak dışında kalan yada küçük sınırlamalara sahip zeminlerdir.

Orta-zeminler (topraklar), orta derecede sınırlamalara sahip, doğru planlama dikkatli tasarım ve iyi yapılaşma ile normal olarak üstesinden gelinebilir zeminlerdir.

Sert sınırlamalı zeminler (topraklar), tarım dışı amaçla kullanım olanağı olmayan ve sert sınırlamalara sahip zeminlerdir. Doğru planlama, özenli tasarım ve yapılaşmada gerekli görülen önlemler mutlaka ortaya konulmalıdır. Bu zeminler (topraklar), yalnızca tarımsal işlerde değerlendirilmelidir.

Çizelge 6. Dinlenme alanlarında binalar için yer seçimi amacıyla hazırlanan zemin sınırlamalarının derecelendirilmesi (Bartelli ve diğerleri, 1966).

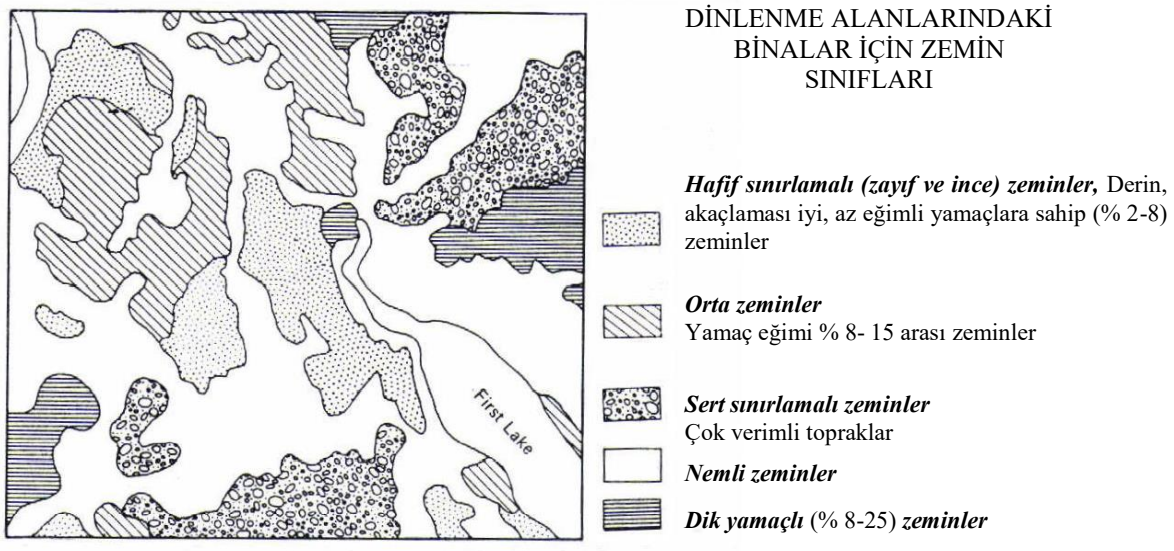
Arazi kullanımını etkileyen özellikler	Zemin sınırlamasının derecesi[a]		
	Hafif (1)	Orta (2)	Sert[b] (3)
Nem (rutubet)	Göllenme ya da sızıntıya yol açmayacak biçimde akaçlanması iyi yapılmış topraklar, Mevsimsel su tablasının 1.2 m üzerinde	Seyrek olarak göllenme ve sızıntıya yol açan ve akaçlanması zayıf olarak yapılmış topraklar, Mevsimsel su tablosu 0.6- 1.2 m arasında[c].	Göllenmeye yol açan ve akaçlanması oldukça zayıf yapılı topraklar
Sellenme	Sellenmeye uğramayanlar	Sellenmeye uğramayanlar	Sellenmeye uğrayanlar
Yamaç eğimi	%0-%8	% 8- 15	% 15 ve üzeri
Kayalık[d]	Yok	Az	Orta ve çok
Taşlık[d]	Oldukça az	Orta	Orta ve çok
Ana kayanın derinliği	1.5 m[b]	0.9- 1.5 m[c]	1 m'den az

[a] Gevşek kumun olduğu ve nemin düşük derecede de olsa gözetildiği durumlarda, fosseptik alanlar ve yamaçlar için hazırlanmış toprak sınırlamaları. Bu özellikler gözetilerek arazi sınıflamaları geliştirilmektedir.

[b] Estetik yada kullanım amacıyla planlanan yazlıklar için hazırlanmış arazi sınırlamalarının derecelendirildiği zeminler. Bu durumlarda daha özenli bir hazırlık ve bakım gerekmektedir.

[c] Bu özellikler sadece temel ve yer altı yapılarının planlandığı yerlerdeki sınırlamalarda gözetilmektedir.

[d] ***Kayalık,*** çapı 25 cm'den daha büyük kaya parçalarının, ***taşlık,*** çapı 5- 15 cm arasında olan kaya parçalarının egemen olduğu durumları göstermektedir.



Şekil 7. Önceki şekilde sunulan 4 km²'lik alanın binalar için hazırlanmış toprak sınırlamaları (Amerika Toprak Bilimi Kurumu'nun (Bartelli ve diğerleri, 1966).

Çevre jeolojisi haritalarının yapısı

Çevre jeolojisi haritalamasının temel amacı planlamacılara yol göstermektir. Dolayısıyla, jeolojik bilgi ve kayaların ya da zeminlerin mühendislik özellikleri, kolaylıkla anlaşılabilecek bir biçimde sunulmalıdır. Yani, çevre jeolojisi haritaları planlama için gerekli önemli bilgileri içermeli ve konu dışı verileri de özenle ayıklamalıdır.

Uygulama yönüyle en iyi çevre jeolojisi haritaları, jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik-mühendislik özelliklerini birlikte sunan haritalardır. Arazinin jeolojik haritalaması, toprak haritalarında olduğu gibi, arazi kullanım biçimleri gözetilerek konuya özel hazırlanmalıdırlar. Temel amaç olası tüm arazi kullanımları için bir dizi haritanın üretilmesidir. Çevre Jeolojisi haritası, özü itibariyle jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik-mühendislik verilerini beraber, geniş bir kitlenin anlayabileceği düzeyde olmalıdır.

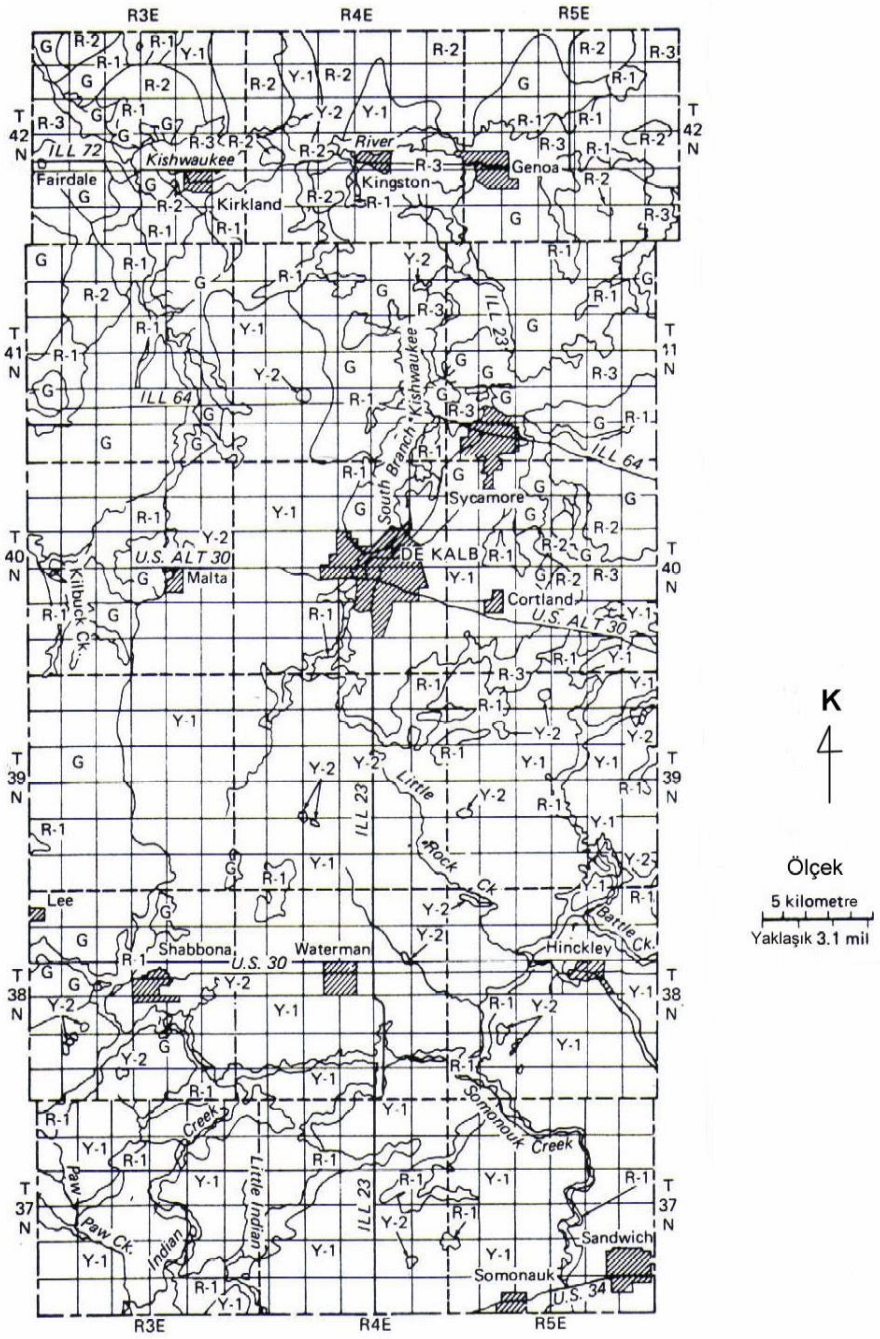
Arazi kullanımı amacıyla hazırlanmış haritalar, bir renk kodunu içermektedir. Buna göre yeşil uygun koşulları, sarı uyarı niteliğinde, kırmızı ise uygun olmayan koşulları ya da sorunlu yerleri temsil etmektedir. Her üç rengin tonları ise farklı türde sınırlamalara işaret etmektedirler. Şekil 8, De Kalb County yöresindeki bir deponi alanı özelinde hazırlanmış değerlendirmeye ilişkin bir analizi göstermektedir. Burada G, Y ve R harfleri renkleri, 1, 2 ve 3 rakamları ise her rengin tonunu temsil etmektedir. Örneğin G-1 (Green-Yeşil-1) en az sınırlamanın olduğu kesimi, R-3 (Red-Kırmızı-3) en sorunlu ve uygun olmayan kesimleri göstermektedir.

Deponi alanı özelinde yapılan yer seçiminin değerlendirilmesinde, topoğrafya, zeminde yer alan pekişmiş gereçlerin türü ve kalınlığı, yüzey ve yer altı sularının mevcut durumu ve potansiyel kaynakları ile ana kayanın türü konularındaki temel bilgilere gereksinim vardır. En uygun yerler, varolan ya da potansiyel yeraltı akiferlerinin en üst kesimi ile atıkların tabanı arasında yer alan geçirimli olmayan düzeyin en azından 9 m kalınlıkta olduğu alanlardır.

Şekil 8'de G ile gösterilen yerler, akiferin üzerinde en azından 15 m kalınlığında geçirimli olmayan gereçlerin yer aldığı alanlardır. Bunu doğrulamak için, her deponi alanı özelinde birkaç sondajın da yapılması gerekmektedir. Uygunluğu daha iyi olan yerler, haritanın özellikle güney kesiminde yer alan Y-1 ve Y-2 ile gösterilen yerler olup böyle yerlerde kum ve çakıl düzeyleri buzulların erimesiyle oluşan ince taneli gereçlerle ardalanmalıdır. Bu gibi tek düze olmayan istiflerde daha özenli ayrıntılı inceleme yapmanın yararı vardır.

R-1, R-2 ya da R-3 ile gösterilen yerler, deponi alanı olarak uygun olmayan alanlardır. R-1 ile temsil edilen yerler, silt, kum ya da kum ve çakıllı düzeylerinden oluşan örtünün 6 m^2'den daha az kalınlıkta olduğu yerlerdir. Bu tür yerler, genel olarak çeşitli boyutlarda gereçlerin biriktiği akarsu yatakları olup, ayrıca yüzey sularının deponi alanı atıklarının sızıntı nedeniyle kirlendiği alanlardır. R-2 ile gösterilen yerler, ana kaya üzerinde yer alan buzul çökellerinin en azından 15 m kalınlıkta olduğu alanlardır.

Ana kayanın akifer niteliğinde olması durumunda, ana kayanın üzerinde 9 m kalınlığında geçirimli olmayan gerecin serilmesi gerekmektedir. Böyle yerlerde, deponi yerini belirlemeden önce bazı sondajlar yapılmalıdır. R-3 ile temsil edilen yerler ise, silt, kum ya da kum çakıllı düzeylerden oluşan örtünün 6 m'den az kalınlıkta olduğu ve katı sınırlamaların yapılması gereken alanlardır. Çünkü böyle yerler, deponi alanı sızıntı sularının olduğu durumlarda ciddi kirlilik sorunlarına gebedirler. Ancak R-3 ile gösterilen alanlarda da siltli çökel örtünün kalın olduğu yerler, bir deponi yeri olarak değerlendirilebilir.



Şekil 8. Ilinois, De Kalb County yöresindeki bir deponi alanı özelinde hazırlanmış uygun yerleri gösteren bir harita (Gross, 1970'den alınmıştır).

Hazırlanan çevre jeolojisi haritaları, plancılar için değerli olmakla beraber çoğu küçük ölçeklidirler. Jeolojik birimlerin dokanaklarını daha doğru bir biçimde gösteren ayrıntılı büyük ölçekli haritalar tercih edilir. Haritanın ölçeği, jeolojik bilginin ayrıntılarını ve güvenirliliğini belirlemektedir. Örneğin küçük ölçekli haritalarda dokanakların sınırları kesin değilse, kesik çizgili olarak gösterilebilir. Ama büyük ölçekli haritalarda dokanakların yeri devamlı ve kesin bir çizgi ile gösterme zorunluluğu vardır.

Çevre jeolojisi haritalamasının diğer yararı, gelecekte önemli yer tutan ***çevre kaynağı birimi*** (ÇKB) kavramı çerçevesinde yapabileceği katkıdır. Bunun için tüm doğal çevrenin, jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve biyolojik tanımlanması ve analizi yönünde çok disiplinli bir ekip çalışmasını gerektiren yöntemler uygulanmaktadır.

Çevrenin benzer fiziksel ve biyolojik özelliklere sahip bir bölümü, ÇKB olarak adlandırılır. Her ÇKB, kayalar, topraklar, bitki örtüsü gibi yapısal bileşenler ve aşınma (erosion), yağış, toprak oluşumu ve doğal yaşamın verimliliği gibi doğal süreçler yönüyle benzer özellikler sunar.

Colorado'da Morrison yöresi dolayında 10.4 km^2'lik bir alanda gerçekleştirilen çalışmada, çevre kaynağı birimlerine ilişkin bir çerçeve ortaya konulmuştur. Şekil 9 alanın topoğrafyasını, Şekil 10 ise ÇKB'nin sınırları esas alınarak düzenlenmiştir (Turner ve Coffman, 1973).

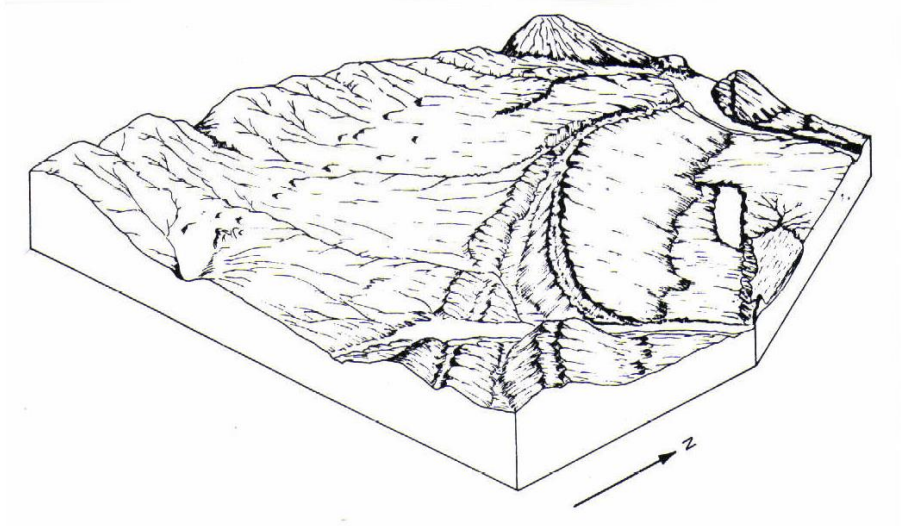
İlk birim, ***dağ ormanı* ÇKB** olup, çam ve köknar türü ormanların yer aldığı sırt ve derin vadilerden yapılı topoğrafyayı temsil etmektedir. Akarsuların ve büyük boyutlu atıkların oluşturacağı süreçler, arazinin biçim değişiminde önemlidirler. Egemen ekolojik denetim, yükseklik ve yüzeylemelere bağlı olarak değişim gösteren nem rejimi çerçevesinde gerçekleşmektedir.

İkinci birim, ***taşkın ovası ormanı* ÇKB** olup, kanal ve akarsu kenarlarında günümüzde de oluşumlarını sürdüren alüvyal çökellerden oluşmaktadır. Bu ÇKB, bol oranda su gereksinimi olan kavak-söğüt türü ağaçların egemen olduğu ormanları temsil etmektedir.

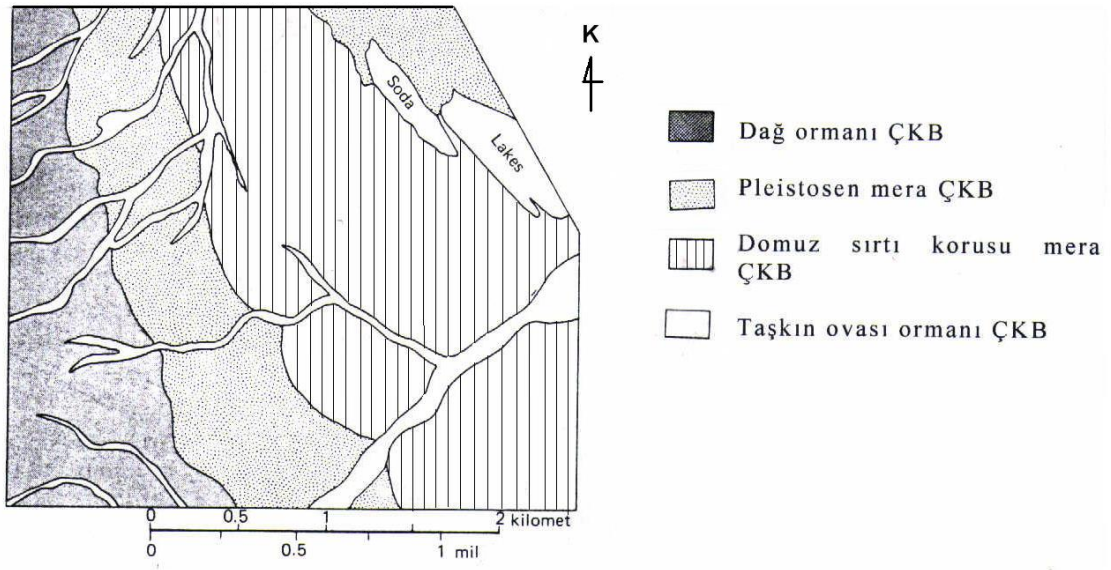
Üçüncü birim, ***domuz sırtı korusu ve mera ÇKB*** olup, dik sarp yamaçlar ve hafif eğimli yamaçlara sahip eğim kazanmış çökel kaya birimlerinden ya da kimi birikintilerden yapılı hafif eğimli yamaçlar ya da çökmüş vadilerden oluşmaktadırlar. Büyük boyutlu atıklardan ileri gelen süreçler yamaçlar ve yüzeylemeler tarafında denetlenmektedir. Sarp yamaçlar ve derin vadilerde çimenler, eğimli yamaçlarda ise ardıç türü ağaçlar egemendir.

Dördüncü birim, ***Pleistosen yaşlı meralarından yapılı ÇKB*** olup, artık devam etmeyen önceki süreçlerde çökelmiş eski alüviyal ve birlikte çökelmiş karmaşık gereçlerden oluşmaktadır. Doğal bitki örtüsü çayır çimendir. Oysa, bu ÇKB'nin büyük bir bölümü tarım amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Çevre kaynağı birimleri, yapılaşma ile ilgili planları ortaya koymak üzere kullanılmaktadırlar. Bunlar, arazi yetenekleri ve uygunluk derecelerini belirlemede değerli bilgiler sağlarlar.



Şekil 9. Morrison yöresinin morfolojik (fizyografik) görünümü (Turner ve Coffman, 1973).



Şekil 10. Morrison yöresinin çevre kaynağı birimleri (Turner ve Coffman, 1973).

ÇKB kavramı, sistemli yaklaşımlarla tanımlanan tüm çevreye yönelik en değerli bilgileri ifade etmektedir. Bu birimlerin özel arazi kullanımları için ayrı yada toplu olarak analiz edilmeleri gerekmektedir.

ÇKB'nin oluşturulması için jeoloji mühendisleri, toprak bilimcileri, biyologları, mimarları ve plancıları içeren çok disiplinli bir ekip çalışmasının gerçekleştirilmesine gereksinim vardır. Bu ekip, özellikle sahada çalışarak ya da uzaktan algılama etkinliklerini kullanarak farklı birimleri tanımlarlar. Daha sonra verilerin bilgisayarlar yardımıyla haritalara aktarılıp bunların analizi ve sunumu yapılmaktadır.

YER SEÇİMİ VE DEĞERLENDİRMENİN AMACI

Yer seçimi, insan etkinliklerini gözeterek çevreyi fiziksel açıdan değerlendirme sürecidir. Bu, mühendislikte, çevre mimarisinde, planlamada, yer bilimlerinde, sosyal bilimlerde ve ekonomide uzmanlaşmış elemanlar tarafından beraber gerçekleştirilen bir sorumluluktur. Böylece, çevrenin çok disiplinli bir çerçevede incelenmesi amaçlanmaktadır.

Son yıllarda, ***fizyografik gereklilik*** olarak bilinen yer seçimi değerlendirmesinin felsefesi ortaya atıldı. Bu felsefenin temel amacı, ***doğayla uyum içinde tasarım***dır. Yani, gelişi güzel bir tasarım ya da plandan çok, doğanın sağladığı uyuma göre bir planın gerçekleştirilmesi amaçlanmalıdır. Plancılar, bu yöntemi kullanarak sosyal ve ekonomik harcamaları en alt düzeye indirirken, kırsal alanların doğal yönlerinin ve yer seçiminin fiziksel koşullarının avantajlarını da en üst düzeye çıkarma çabası içindedirler.

Örneğin, boru hatlarının güzergâ h seçiminde izlenen yol, toprakların aşınıp taşınmasına yol açıyorsa, en kısa güzergâ htan bile vazgeçilebilir. Tasarlanan güzergâ h, her şeyden evvel toprağın aşınıp taşınma potansiyelinin en az olduğu bir güzergâ h olmalıdır. Böyle bir güzergâ hın, yüksek bir maliyete sahip ve daha uzun bir güzergâ h olsa bile, doğanın avantajları gözetildiğinde kabul edilebilir ölçüler içinde yer alması beklenmektedir.

Doğa ile uyum gözetilerek yapılan çalışmalar oldukça yararlı ve yol gösterici olmakla beraber, kimi zaman yer seçiminde gözetilmez. Halk, satın aldıkları arazinin, ne için uygun olduğunu bile gözetmeden tasarladıkları çeşitli faaliyetler için arazi almaya devam etmektedir. Yapılaşmanın terk

edildiği, sınırlı üretimin olduğu, giderek artan harcamalara yol açan kötü yer seçiminin yapıldığı pek çok örnekler vardır.

West Coast Nükleer Santralı'nın yapımı, yörede yer alan diri faylar ve kırıkların yanı sıra temelle ilgili ciddi sorunlar ortaya çıkınca durduruldu. Büyük bir tavuk çiftliği olarak kullanılan bir arazi, daha önce aynı arazinin yeraltı suyu gereksinimlerini karşılamak üzere kapatılması nedeniyle, bu bölgede tavuk çiftliğinin üretimi sınırlandırılmıştır. Kuzey Indiana'da bir inşaatçı, arazi satın alıp, bu arazide, şeylden oluşan ana kayanın yüzeyde olduğu birkaç alanda konutlar yapılmıştır. Böyle bir yerde yeraltı fosseptik sistemler yapılamaz. Ama atık su arıtma tesisleri yüzeyde inşa edilebilir. Ayrıca, sert bir ana kaya üzerinde temel açmak da bir hayli pahalı olmaktadır.

Özel bir arazi kullanımı için yer seçiminin amacı, seçilen yerin doğal uyumunu gözeterek planlama yapmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için yaşamsal değerde jeolojik bilginin sağlanmasında yer bilimcinin işlevi önemlidir. Söz konusu bilgi, kaya/toprak türleri ve yapısal unsurlar (özellikle kırıklar), akaçlama özellikleri, yeraltı suyunun özellikleri, arazi biçimi ile ilgili bilgiler, sel ve taşkınlar, yer kaymaları, depremler ve volkanik faaliyetlere ilişkin tehlikeli yer süreçlerinin kestirimi konuları içermelidir. Ayrıca jeoloji mühendisi, ilgili birimlerin mühendislik özelliklerini belirlemek üzere örnekler alır ve örnekler üzerinde çeşitli testler (limit deneyleri, elek analizi, vb.) yapar.

Yer seçimi süreçleri

Yer seçimi süreçlerine, tasarlanan bir etkinliğin genel amaçları ve özel gereksinimleri ortaya konularak işe başlanır. Daha sonra, fiziksel sınırlamalar ve fiyatlar ışığında olası seçenekler irdelenip arazi kullanımı yönüyle en uygun seçeneğe karar verilir.

Jeolojik açıdan aşağıdaki aşamalara gereksinim duyulur:

1. Olası sorunlara dikkat ederek yer seçimi ile ilgili ön bilgilerin derlenmesi,
2. Jeolojik raporlar, topoğrafik haritalar, hava fotoğrafları, toprak haritaları, mühendislik raporları, su aramaları, iklim kayıtları gibi yöreye ilişkin bilinen verilerin toplanması,
3. Toprak, kaya ve su analizleri gibi, gereksinim duyulan yeni verilere ilişkin çalışmaların yapılması,
4. Tüm bilgilerin değerlendirilip, yer seçimine karar verilmesi.

Yer seçiminde jeolojik bilgi son derece önemlidir. Seçenekler, jeolojik bilgiye göre sıraya konulur. Örneğin, büyük bir baraj ya da nükleer bir tesis için yer seçimi yapılırken, temeli temsil eden ana kayaların kayatürü ve yapısal özellikleri öncelikle gözetilir. Fayların diri (aktif) olup olmadığı ayrıntılı irdelenmelidir. Diri olmayan faylardan ileri gelen sorunlar, özel mühendislik yöntemleri kullanılarak aşılabilir. Ancak diri fayların yaratabileceği sorunların önüne geçmek her zaman mümkün olmayabilir.

YER SEÇİMİ VE DEĞERLENDİRMESİNİN YÖNTEMLERİ

Yer seçiminde, yerin uygunluğuna ilişkin çalışmalar arazi kullanım amaçlarına göre yönlendirilmekte ise de, yerin uygun olup olmadığını değerlendirmede kullanılan bazı yöntemler vardır. Özellikle barajlar, karayolları, kanallar, parklar ve dinlenme alanları gibi büyük mühendislik yapılarının yer seçiminde gözetilen bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ikisi sıkça kullanılmaktadır:

1. Maliyet-fayda analizleri,
2. Coğrafik gereklilik.

Maliyetin olabildiğince düşürülebileceği fiziksel ve sosyal yararların olabildiğince en üst düzeye çıkarılabileceği seçenekler yeğlenmelidir. Yani ekonomi ile çevreye uygunluk ve yarar arasında bir denge kurulmalıdır.

Maliyet- fayda analizleri

Maliyet-fayda analizleri, karayolları ya da dinlenme alanları gibi önemli projelerin uzun-vadeli değerlendirilmesinde yapılır. Değerlendirmede fayda ile maliyetin oranı gözetilir. Yani, belli bir zaman aralığı için toplam faydanın dolar olarak değeri, projenin toplam maliyetiyle karşılaştırılır. En uygun projeler, faydanın maliyete oranının birden büyük olduğu, yani faydanın daha yüksek olduğu projelerdir. Amaç, maliyeti en alt düzeyde, yararı ise, en üst düzeyde tutacak bir şekilde yer seçimini gerçekleştirmektir.

Maliyet-fayda analizlerinde, tüm ilgili fiyatların belirlenebileceği kabul edilmektedir. Ancak, bu konuda güçlükler yaratan üç temel sorun vardır:

1- Hangi maliyetlerin ve yararların gözetileceği,
2- Gözetilen maliyetlerin ve yararların nasıl değerlendirileceği,
3- Maliyetlerin ve yararların çevresel değerlere nasıl yansıtılacağı.

Maliyet-fayda analizleri üç tür projede başarıyla uygulanmıştır:

1. Su kaynakları projeleri, özellikle sulama sistemleri, hidroelektrik enerji sistemleri, sel ve taşkın denetimi ya da çok amaçlı diğer su kaynakları projeleri,
2. Ulaşım projeleri, başlıca karayolları, demir yolları, akarsu ve kanal projeleri,
3. Arazi-kullanım projeleri, özellikle kentsel planlama ve dinlenme amaçlı yerlerin seçimine ilişkin projeler.

Örneğin, bir sel ve taşkın denetimi projesinde gözetilen maliyetler ve faydalar öncelikle tanımlanır. Böyle bir projenin maliyeti kolaylıkla hesap edilebilir. Bu maliyete, projenin ömrü gözetilerek bakım ve onarım harcamaları da eklenir. Faydalar ise sel ve taşkın denetimiyle can ve mal kaybı gözetilerek hesap edilir. Mal kayıpları, mülk, ev eşyası ve diğer ürünleri içerir. Genel ilkeler, sel ve taşkının 10 yıl ya da 25 yıl aralıklarla olacağı varsayımına dayandırılır. Buna göre yıllık kayıp ve zararlar hesap edilir. Toplam maliyetin yöre halkı tarafından vergi olarak verilip verilemeyeceği ya da böyle bir vergiyi vermek isteyip istemeyeceği araştırılır. Diğer yararlar ise can kaybında, afetzedeler için kullanılan acil yardım ve korunma sırasında kullanılan kaynaklardaki azalma gözetilerek hesap edilir.

Coğrafik gereklilik

Coğrafik gerekliliğe dayalı olan bu yöntemde, doğaya uyumlu en iyi tasarımın yapılandırılmasına yönelik ***fiziksel, sosyal ve estetik veriler*** kullanılır. Bu verilerin coğrafik dağılımı önemlidir.

Yer seçimi, fiziksel, sosyal ve estetik değerleri içeren faktörlerin seçimini de zorunlu kılmaktadır. Her faktör, açık gri ile koyu gri arasında değişen tonlarla ifade edilen üç ya da fazla düzeye ayrılarak haritalara aktarılır. Koyu tonlar, faktörlerin olumsuz olduğu, açık tonlar ise faktörlerin olumlu olduğu durumları yansıtmaktadır. Bu yöntemle, en uygun yerler, en açık renkte olan yerler olarak görsel bir biçimde ortaya konulabilmektedir.

Arazi kullanım biçiminin belirlenmesi için, fiziksel değerlerin yanı sıra sosyal ve estetik değerlerin ortaya konulmasıyla ilgili faktörler ve bu faktörlerin ekonomik boyutu tanımlanır. Ancak, bu yaklaşım eleştiriye ve gelişmeye açıktır. Öncelikli eleştiri, kişiye özgü değerlendirme ve seçilen faktörlerin belirleyici olmasıdır. Örneğin, bir karayolu güzergâ hının seçimine ilişkin değerlendirmede, arazi fiyatları önemli kabul edilirse, güzergâ hın geçmesi gereken pahalı yerler koyu gri olarak sunulur. Bu da, arazi kullanımı için verilecek kararı ve dolayısıyla planlamacıyı da etkileyecektir.

Diğer bir eleştiri de fiziksel, sosyal ve estetik değerlerin eşit ağırlıkta kabul edilmesidir. Yani, temele ilişkin gereçlerin uygunluğu ya da erozyona duyarlılık gibi doğal faktörlerin, görsel ya da dinlenme amaçlı sosyal değerlerle eşit ağırlıkta kabul edilmesi eleştirilmektedir. Ancak tüm

eksikliklerine karşın, fiziksel verilerle sosyal ve estetiğe ilişkin verilerin birlikte değerlendirilmesinde coğrafik gereklilik, doğruyu bulmada bir aşama olarak kabul edilebilir.

BAZI MÜHENDİSLİK PROJELERİNE İLİŞKİN ÖZ DEĞERLENDİRMELER

Jeoloji mühendisi, barajlar, karayolları, hava alanları, tüneller ve büyük binaların yer seçimi ve planlama evrelerinde çok önemli bir sorumluluğa sahiptir. Bu sorumluluk, coğrafik gerekliliğe dair fiziksel, sosyal ve estetik verilerin iyi bir biçimde değerlendirilmesiyle yerine getirilebilir. Her mühendislik faaliyetinin gereksinim duyduğu fiziksel sınırlamalar da farklıdır. Aşağıda önemli bazı mühendislik faaliyetlerine ilişki fiziksel sınırlamalar sunulmuştur.

Barajlar

Barajlar, mühendislik faaliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Örneğin, beton, taş-dolgu ya da toprak-dolgu barajların inşaatı, daha planlama evresinde ayrıntılı jeolojik haritalama ve bazı temel testlerin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmalar, aşağıda belirtilen bir içeriğe sahip olmalıdır:

1- Baraj yeri ve vadinin uygunluğuna ilişkin değerlendirme,
2- Özellikle barajın kurulacağı yerde, barajın duraylılığını etkileyeceği gözetilerek kayalarda ve toprakta kırık zonları gibi olası sorunların tanımlanması,
3- Baraj gölü havzasında çökellerin birikme miktarının hesap edilmesi,
4- Barajın inşaatında kullanılan gereçlerin sağlanmasına yönelik değerlendirme.

Ayrıca, akarsu vadisinin erozyon evreleri de gözetilerek, inşaat sırasında jeolojik haritalama güncelleştirilmelidir. Böylece inşaat, işletme ve barajların bakımında ortaya çıkması olası sorunlar aşılabilir. Öte yandan, projenin inşaat evresinden önce, doğrudan ve dolaylı jeolojik araştırmalar ışığında, barajları ve barajların göl alanlarını etkileyebilecek sorunlar belirlenip önemi vurgulanmalıdır.

Barajların temelleri, baraj dolayındaki kaya türlerine göre farklılıklar sunar. Genellikle, bir baraj yerinin temeli için granit gibi magmatik kayalar ve bazı piroklastik kayalar tercih edilirler. Temeli oluşturan kırıklar boyunca sızıntılar olabilir. Dolayısıyla, kırıkların çimento, ince taneli çökeller ve sudan oluşan bir karışımla doldurulup sıvanması gerekir.

Yapraklanması, baraj eksenine koşut olan metamorfik kayalar da barajlar için tercih edilen bir temel kabul edilebilir. Kireçtaşı gibi çökel kayalar ve özellikle şeyller çeşitli sorunlara yol açabilir. Kireçtaşı büyük yeraltı mağaralarını içerebilir. Şeyller ise barajdan ileri gelen yük nedeniyle kolaylıkla deformasyona uğrarlar. Çökel kayaların duraylılığı, bu kayaların nemlenmesi, kuruması, donması ve çözülmesine bağlı olarak bozulmaktadır. Kaliforniya'daki St. Francis Barajı, temeli oluşturan çökel kayaların nemlenmesi nedeniyle yıkılmıştır.

Karayolları

Karayolu güzergâh seçimi, ayrıntılı jeolojik haritalamanın ışığında yapılmalıdır. Yapılan haritalamada topoğrafya, yamaçların duraylılığı, sel ve taşkın riskleri ile temeli oluşturan kayaların dayanımlılığına ilişkin temel bilgileri içermelidir. Ayrıca, yol boyunca kullanılabilir gereçlerin yakın bir yerden sağlanıp sağlanamayacağı gözetilmelidir.

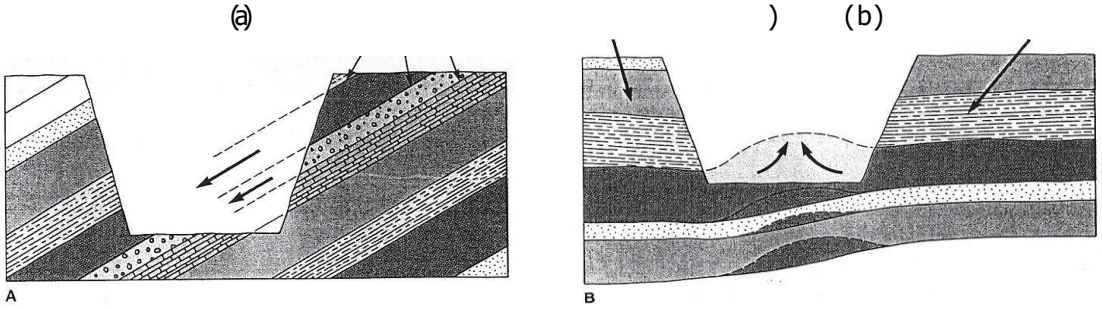
Havaalanları

Havaalanlarının yer seçiminde gözetilmesi gereken jeolojik bilgiler üç bölümde irdelenebilir. Önce, topoğrafyanın olabildiğince düz ya da hafif eğimli ve akaçlamanın kolay olabileceği bir yapıda olmasına dikkat edilmelidir. İkinci olarak, zeminin iri taneli ve taşıma kapasitesinin yüksek olmasına özen gösterilmelidir. Son olarak da kullanılacak inşaat gereçlerinin sağlanmasına ilişkin kolaylıklar olmalıdır.

Kanallar: Panama Kanalı örneği

Panama Kanalı'nın açılması görüşü, 1528 yılında Kortezli bir yurttaş tarafından önerilmiştir. Ancak bu kanalın inşaatına 1888 yılında bir Fransız şirketinin öncülüğünde başlanmıştır. Kanalın başlangıçtaki tasarımı Süveyş Kanalı'nda olduğu gibi Atlantik'i Pasifik'e bağlayan deniz düzeyinde düşünülmüştür. Bu yaklaşım, mühendislerin tercihinden çok projenin harcamalarını karşılayan ve projeyi yöneten şirket yetkililerine aittir. Bilindiği gibi Süveyş Kanalı yağışın az olduğu bir iklimde çakıl, kum ve topraktan oluşan bir zeminde açılmıştır. Fakat Panama Kanalı'nın açıldığı düşünülen güzergâh boyunca topoğrafyanın çok yüksek ve volkaniklerden yapılı olması nedeniyle deniz düzeyinde bir kanalı açabilmek için oldukça fazla gereci kazıyıp uzaklaştırmak zorunluluğu vardır.

Bölgenin jeolojisi daha önce yeterli bir ayrıntıda incelenmemiştir. Kanal güzergâhı boyunca ise genç volkanik kayalar, lav akıntıları ve piroklastik oluşukların şeyl ve kumtaşı ile ardalandığı bir yapıdaydı. Bu katmanların çoğu yerde eğimi kanala doğru olduğu için kazı ilerledikçe katmanların bu bölümü kanala doğru kaymaya başlamıştır (Şekil 11 a). Daha sonra bölgenin yağışlı olması dolayısıyla kaymalar artmıştır. Kimi yerlerde ise kanalın iki tarafındaki katmanlar ağırlıkları nedeniyle kıvrımlanarak yükselmiştir. Yer yer 10 m'ye varan yükselme kanalda daha fazla gerecin kazılmasına ve uzaklaştırılmasına yol açmıştır (Şekil 11 b).



Şekil 11. Panama Kanalı'nda gerçekleşen (a) kaymalar; (b) kıvrımlanmalar (Montgomery, 1995).

Bu jeolojik sorunların yanı sıra sıcaklık, nem ve sivrisineklerin neden olduğu sarıhumma gibi bulaşıcı hastalıklar birçok işçinin ölümüne yol açmıştır. Yedi yıl süren bir hayal kırıklığından sonra Fransız şirketi iflas etti. Kazıya beş yıl ara verildi. Daha sonra başka bir Fransız şirketi de kanal inşaatına başladı ve o da tasfiye oldu.

1903 yılında ABD, bu projenin tüm haklarını üstlendi. İşte böyle bir noktada projenin tasarımı ile ilgili yaklaşımlar gözden geçirildikten sonra, deniz düzeyinde bir kanal açmak yerine daha karmaşık bir tasarım öngörüldü. Bu tasarıma göre, kanalın yaklaşık ortasında bir akarsuyun da boşaldığı bir gölün oluşturulmasına ve gemilerin zincirlerle bir okyanustan göle ve gölden de diğer okyanusa aktarılması planlandı. Böylece daha az kazı yapılacak bir seçenek üretildi. Zincir tasarımının, ekolojik açıdan bir yararı da iki taraftaki okyanusa ait koşulların bu okyanuslara ait ekosistemler üzerindeki etkilerini denetlemesidir.

Bütün bu önlemlere rağmen kanalın bitirilmesi kolay olmamıştır. Örneğin 1910 yılına kadar yer kaymaları ile birlikte kazıları incelemek üzere bu çalışmaya herhangi bir jeolog katılmamıştır. Bu arada denetlenemeyen birçok heyelan olmuş ve bunlar denetleme altına da alınamamıştır. Gerçekten kayma ve kazılar uzun süre devam etmiş ve maliyeti de artmıştır. Bölgenin jeolojisinin yeterince dikkate alınmadığı inşaat evresinde, kaya mekaniği ile ilgili kayma sorunları da aşılamamıştır. Bununla beraber duraysızlık ile ilgili bazı sorunlar önceden sezilerek, o sorunları çözme yönünde olabildiğince çaba harcanmıştır. Ancak maliyetler gerçekten tam doğru olarak hesap edilememiştir. Bu da kanalın açılmasının 1914 yılına kadar uzamasına neden olmuştur.

Panama Kanalı bir tatlı su koridorudur. Bu kanal Gatun Gölü'nü Karayip yamacından Rio Chagres Nehri'ne ve Pasifik yamacında ise Rio Grande Nehri'ne bağlamasına rağmen hayvan toplulukları birbirine karışmamıştır. Burada Gatun Gölü düşük tuzluluğa uyum sağlayabilen denizel canlı

topluluklarının yayılmasını engelleyici bir yapı sunar. Şimdiye kadar Atlantik kökenli 7 yengeç ve ıstakoz türü kanalın Pasifik'e açıldığı yerde; Pasifik kökenli tek bir yengeç kanalın Atlantik'e açıldığı yerde belirlenmiştir. Esas önemli olan bir nokta da bu türlerden hiçbirinin kanal çevresi dışında bir topluluk oluşturmamasıdır.

Panama Kanal'ının iki tarafında da tropikal denizler olmasına karşın bu denizlerin yıllık su sıcaklıkları farklıdır. Bunun da nedeni mevsimsel olarak meydana gelen dünyanın dönüşü ile birlikte aralıklarla oluşan sert rüzgârların kıyılardaki yüzey suyunun denizlerin açığına sürüklenmesi ve dipte bulunan suyun onun yerini almasıdır. Böylece birbirinden farklı su kütleleri yer değiştirmektedir. Bu değişim de ekosistemleri etkilemektedir.

Karayip tarafında döngüsel düzensizlikler bile belirli bir düzen içinde gerçekleşmekte ve bu bölgede ekolojik açıdan sert koşullara dayanıklı türler yaşayabilmektedir. Atlantik tarafında ise canlı toplulukları en küçük değişimlere bile uyum sağlayamamaktadır. Panama kanalı ise hem Gutan Gölü'nün bariyer özelliği hem de kanalda bulunan gemi havuzları sayesinde denizel organizmalar için uygun ortam sağlamaktadır (Demirel, 2011).

Tüneller

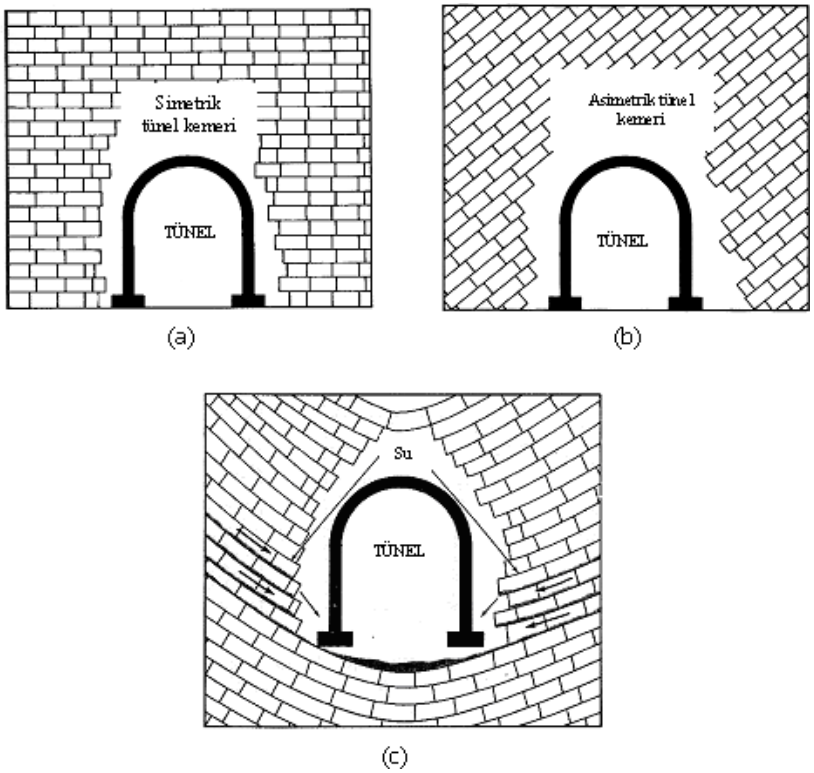
Tünellerin yapımı, güzergâh boyunca gereksinim duyulması son derece ayrıntılı jeolojik bilginin yanı sıra, inşaat yöntemlerinin seçimini gerektirmektedir. Jeolojik bilgi, projenin ekonomik açıdan uygun olup olmadığını belirlemede son derece önemlidir. Dolayısıyla, tünel güzergâhı boyunca ayrıntılı jeolojik haritalama, tünel inşaatından önce tamamlanmış olması gerekir. Hazırlanan jeolojik profil, yüzeydeki jeolojik ayrıntıların yanı sıra yeraltı hakkında da bilgi verici olmalıdır. Ayrıca, tünel açılmaya başladıktan sonra, tünellerin ilerideki bakımı sırasında gereksinim duyulacak tünel içi haritalama eksiksiz yapılmalıdır.

Tünel güzergâhında, dayanımlı ve kohezyona sahip kayalar bulunabileceği gibi, akmaya ya da yıkılmaya yatkın kayalar da bulunabilir. Bu sorunlar, kayaların taneli ya da kırıklı olmasına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Kırıklar ya da eklemler birbirine ne kadar yakın olursa, yıkılma o oranda artmaktadır. Granitlerde ya da yatay katmanlı kayalarda tünellerin kemeri boyunca yıkılmalar simetrik bir yapıda, eğimli kayalarda ise asimetrik bir yapıda olmaktadır (Şekil 12a ve b). Olabildiğince, tünel güzergâhının kırıkların en az olduğu yerlerden geçirilmesinde yarar vardır.

Tünellerin güzergâhı, zorunlu olarak fayların ve kıvrımların yaygın olduğu yerlerden de geçebilir. Tüneller bir senklinalden geçtiği durumlarda, yeraltı suları, doğal olarak tünel içine doğru boşalabilir (Şekil 12c). Böyle bir durumda tünelin çatısında yer alan anahtar taşı (keystone) için destek gerekebilir. Antiklinallerin olduğu yerlerde ise çok önemli sızıntı sorunlar görülmemektedir.

Tünellerde görülen faylar, suyun açık kırıklar boyunca kolaylıkla akması nedeniyle çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Dolayısıyla tünellerin olabildiğince faylara dik olarak geçirilmesine özen gösterilmelidir. Böylece, fayların etkileyebileceği alan minimum düzeye indirilir. Yumuşak kayalarda tünellerin yüzeye yakın olması tercih edilmelidir. Bu da yeraltı ile ilgili bilgilerin derlenmesini kolaylaştırmaktadır.

Tünellerin açılması sırasında yeraltı suları önemli sorunlar yaratmaktadır. Kumlu gereçler su ile doygunluğa eriştiğinde tünel boşluğuna doğru akabilir ve hatta tüm tüneli doldurup kapatabilir. Dolayısıyla, yumuşak kayalarda tünellerin açılması sırasında yöreye ilişkin, zemin ve hidroloji ile ilgili verilerin ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi gerekir



Şekil 12. Yatay katmanlarda (a), eğimli katmanlarda (b) ve bir senklinalde (c) tünellerin konumu ve sökülme ile olası yeraltı su sorunları ilişkileri (Keller, 1979).

Büyük binalar

Büyük binaların yer seçiminde, jeoloji mühendisinin görevi özellikle bina temeli için gerekli jeolojik bilgiyi sağlamaktır. Bunun için zemin ve kaya örnekleri çeşitli yöntemlerle alınıp bunların mühendislik özellikleri belirlenir. Zeminin geçirgenliği, dayanımlılığı ve diğer nitelikleri tanımlanır.

Büyük yapılardan nükleer tesislerin temellerine ilişkin jeolojik araştırmalarda, kayaların yapısal özelliklerini de içeren ayrıntılı haritalama son derece önemlidir. Hatta küçük kırık sistemlerinin de diri (aktif) olup olmadığı özenle irdelenmelidir. Ayrıca, eski kırıkların boyu, genişliği, kırık düzlemleri boyunca yer alan kayaların günlenme derecesi gibi özellikleri, inşaat öncesinde olası mühendislik önlemlerini belirlemek amacıyla ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmelidir.

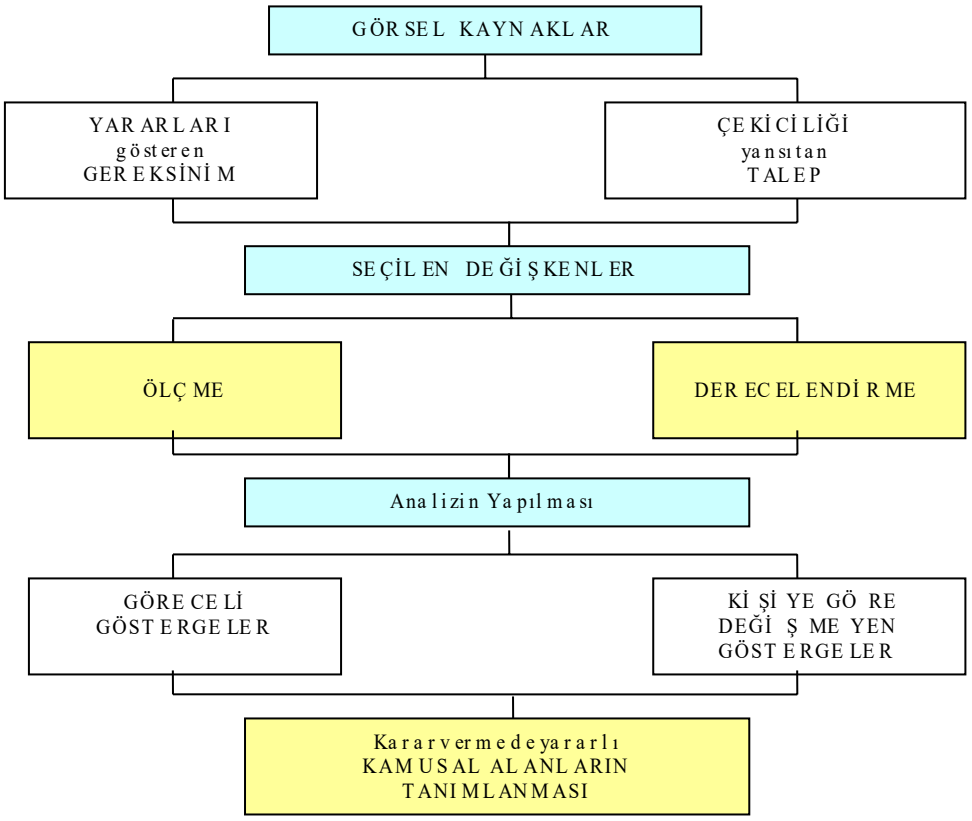
PEYZAJ ESTETİK: KAYNAKLARIN GÖRSEL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tüm dünyada doğal kaynakların görsel açıdan değerlendirilmesi ve korunması çabaları giderek artmaktadır. Tanımlanabilen varlıklar, ulaşılabilen görsel yollarla ifade edilir. Sunum, yani ifade önce kendimize, sonra da çevremize yapılır. Her şey görmekle başlar. Görsel düşünmekle, aklının ve gönlünün işleyişini görsel olarak tanımlamakla sürer. Burada öncelikli amaç görsel duyarlılığın gelişmesidir. Örneğin, Kaliforniya'da Yosemite Vadisi, doğal bir kaynak olarak tanımlanıp gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra 1864 yılında hizmete açılmıştır. Daha sonra bu tür yerler koruma altına alınmıştır. Görsel kaynaklarla ilgili olarak halkın bilinci arttıkça, bunların korunması ve yönetimi kolaylaşır. Toplumlar, kırsal bölgeleri de tümüyle doğal kaynaklar olarak benimsemektedir.

Bir bölgenin ekonomik gelişmesinde su, ormanlar ya da maden yatakları gibi doğal kaynakların doğru bir biçimde değerlendirilmesi, belirleyicidir. Akarsulardaki ve göllerdeki sular enerji ya da diğer kullanımlar için değerlendirilebilir. Orman kaynakları, ağaçların sayısı, türü ve büyüklüğü gözetilerek kereste, kâğıt ya da diğer amaçlarla değerlendirilebilir. Maden yatakları ise bu kaynakların rezerv miktarı ve tenörü, dolayısıyla ekonomik olup olmayacağı gözetilerek değerlendirilebilir. Benzer

değerlendirmeler, görsel kaynaklar için bazı temel ölçütler oluşturularak yapılabilir. Ancak, bu konuda belirlenen ölçütler henüz sınırlıdır.

Bir bölgenin ya da alanın görsel kaynakları estetik deneyimin bir parçası olarak tanımlanabilir. Estetik, yani güzel görünüm belirleyicidir. Bu tür yerler için ***biricik*** olma niteliği aranır. Dolayısıyla bu gibi yerler benzeri olmadığı için korunması zorunlu olan bir yeri temsil etmelidir. Arazi kullanım planlamasının bir parçası olarak görsel kaynakların ya da çevresel etkilerin değerlendirilmesi daha çok öznel yöntemlerle yapılmaktadır. Şekil 13'de, görsel kaynakların tanımlanmasında ve görsel değerleri belirlemede izlenen aşamalar ve öngörülen göstergeler görülmektedir (Coomber ve Biswas, 1972).



Şekil 13. Görsel kaynakların tanımlanmasında ve görsel değerleri belirlemede izlenen aşamalar ve öngörülen göstergeler (Coomber ve Biswas, 1972, Ecological Systems Branch, Canada; Keller 1979'dan alınmıştır).

Değerlendirmede gereksinimin niteliği ve geçerliliği, gereksinimi karşılama düzeyi, maliyet ve yararın yanı sıra güvenlik, özgünlük ve biricik olma gibi nitelikler sorgulanmalıdır. Seçilen değişkenler ne ölçüde ölçmeye ve derecelendirmeye uygun ise analizin yapılması da o ölçüde kolay olur. Görsel kaynakların değerlendirilmesinde kullanılan genel felsefi çerçeve aşağıda sunulan ilkeleri kapsamaktadır (Keller, 1979).

1. Görsel kaynaklar, ***estetik görünüm*** esas alınarak değerlendirilebilir. Estetiğin algılanması kişiden kişiye farklılık göstermekle beraber neyin estetik olmadığına ilişkin kararlar daha evrenseldir.
2. Toprak ve diğer kaynaklar gibi kaynakların görsel kalitesi yerin konumuna göre değişmektedir. ***Topoğrafik ve doğal görünüm,*** yani arazi biçimi ve renk yönüyle canlılık

görsel kalitenin önemli ve olumlu özelliklerini, ***Yapay değişim,*** yani insan eliyle meydana gelen değişim ise kalitenin en olumsuz niteliğini temsil eder.

3. Yerin ***biricik olma niteliği*** oldukça önemlidir.

Görsel kaynakların değerlendirilmesine ilişkin tüm tercihler, özel olarak seçilmiş bazı faktörler ışığında gözleme ve ölçmeye dayalı olarak yapılmaktadır. Yapılan değerlendirmeler, öznel olmakla beraber, ilgili faktörler, doğru bir şekilde seçildiği sürece, olumlu bir sonuca ulaşılmaktadır. Ancak, görsel kaynakların analizinde herkesin benimseyebileceği tümüyle nesnel bir yöntem yoktur.

Ne var ki, estetik değerlendirme, bir sanat eserinin ya da yapısının niteliklerini içermelidir. Örneğin sanat eserini üreten kişiye 'özne', üretilen esere 'obje', onunla ilişkiyi kurana da 'süje' denir. Sanatçı (özne), eser (obje) ve sanatsever (süje) arasındaki diyalektik ilişki, ne sanatçının tatmin olması, ne de süjenin 'yontulması' esasına dayanır. Söz konusu etkileşimlerin ve buluşmaların kavşağı estetik olarak tanımlanabilir. Yani, estetik yapı, doğal yapının insan eliyle yeniden üretilmesi ya da yaratılmasıdır. Neşeli ya da hüzünlü tüm ezgiler; renkli ya da kasvetli tüm resimler; açık ya da gizemli tüm sözler estetiğin birer parçasıdır.

Örneğin, 'İspanya iç savaşında binlerce ölü ve yaralıyı göz önüne getirelim. Bu iç savaştan bir yıl sonra Picasso tüm zamanların en önemli savaş karşıtı tablosu kabul edilen Guernica'yı yaptı. Bu tabloyu dikkatle izlerseniz, parçalanmış bedenlerin kokusunu alabilir, yaralıların çığlıklarını duyabilirsiniz'. İşte sanat böyle bir şeydir.

Görsel kaynakların günümüzde kullanılan yöntemleri irdelendiğinde, genel olarak üç grup faktörün tercih edildiği görülür:

Birinci grup faktörler, ***topografik görünümünün*** (***arazi biçiminin tanımlanması)*** ile ilgili olup, bunlar bölgenin özgün görünümüne ilişkin daha çok farklılığı yansıtan ve görsel kaliteyi belirleyen unsurlardır. Bu unsurlar, görsel kaynakların omurgasını oluşturur.

İkinci grup faktörler, ***bölgenin doğal tanımlanması*** ile ilgili olup (su, orman, çalılık, bataklık ya da sulak alanlar gibi) doğal alanların bölgedeki tüm alana göre yüzdesi ve bitki örtüsü çeşitliliğini yansıtan ve görsel kaliteyi arttıran unsurlardır.

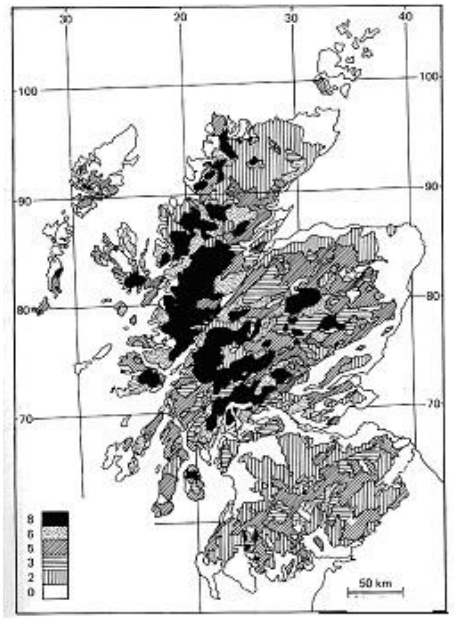
Üçüncü grup faktörler ise ***bölgenin yapay tanımlanması*** ile ilgili olup, daha sonra insan tarafından inşa edilmiş yapay alanların bölgedeki yüzdesini yansıtan ve görsel kaliteyi azaltan unsurlardır. Tarıma ayrılan yerler ve ormanın olmadığı kırsal bölgeler nötr olarak kabul edilebilir. Sunulan bu modele göre görsel kalite indeksi (GKI) aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır:

$$GKI = AT + DT - YT$$

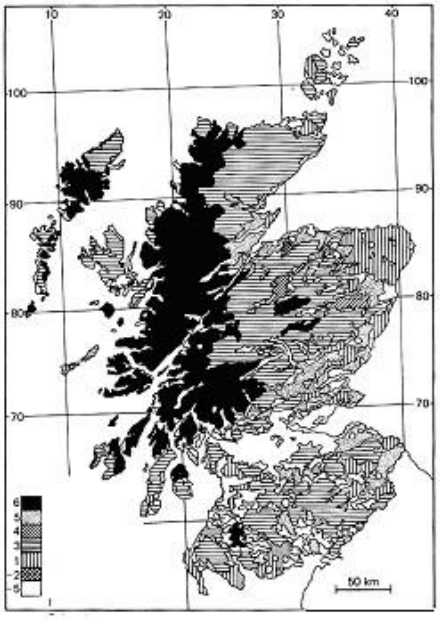
AT, arazi biçimi tanımlaması; DT, doğal tanımlama; YT, yapay tanımlama. Her grupta yer alan faktörlerin sayısı ve olası ağırlıklarının belirlenmesi, yukarıda da vurgulandığı gibi öznel bir konudur.

Görsel kaynakların değerlendirilmesine ilişkin nesnel yöntemlerin kavranabilmesi için, iki farklı uygulamanın tartışılmasında yarar vardır. Yapılan uygulamalardan biri, İskoçya'nın görsel kaynakların değerlendirilmesine ilişkin bölgesel bir incelemedir. Yönteme göre arazi biçiminin tanımlanmasında geçerli olan arazi biçimleri sayısal olarak değerlendirilmiştir (Şekil 14 a).

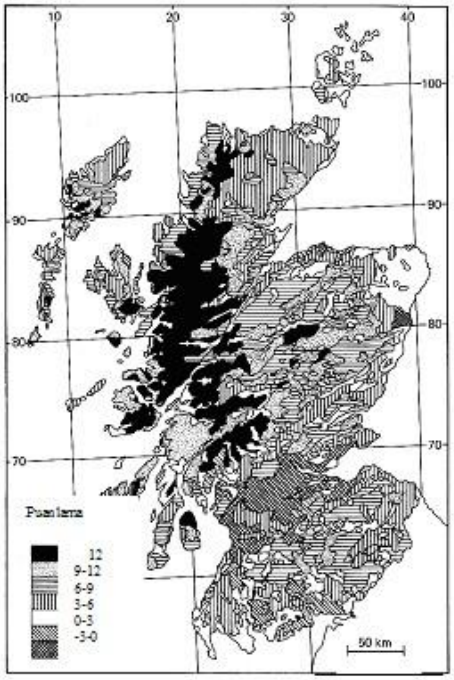
Yüksek yerlere, düşük kotlu yerlere göre, daha özgün ve değişime uğramamış olmaları nedeniyle yüksek değerler öngörülmüştür. Ayrıca, arazi kullanımı (yapay tanımlama) esas alınarak doğal ve kırsal yerler için yüksek, kentsel sanayi bölgeleri için daha düşük sayısal değerlere göre başka bir haritalama gerçekleştirilmiştir (Şekil 14 b).



(a)



(b)



12 puandan yüksek yerler, siyah
+9 - +12 puan, Noktalı
+6 - +9 puan, Yatay çizgili
+3 - +6 puan, Dikey çizgili
0 - +3 puan, Beyaz
0 - -3 puan, Eğik çizgili
-3 - -6 puan, Koyu çapraz çizgili

(c)

Şekil 14. İskoçya'nın topografik ve doğal görünümünün (arazi biçiminin) tanımlanması (a), yapay tanımlama (arazi kullanım) haritası (b) ve görsel kalitenin dağılımı (c) (Linton, 1968'den).

Daha sonra bu iki harita birleştirilerek İskoçya için görsel kalite indeksi haritası ortaya koyulmuştur (Şekil 14 c). Her ne kadar bu bir genel yaklaşım ise de üretilen son haritada, görsel kalitedeki değişim görülebilmektedir. Sonuç olarak, arazi biçimleriyle arazi kullanımı arasındaki ilişkiye dayalı olarak kaynakların görsel kalitesi ortaya koyulabilmektedir. Olanaklarım el verseydi, güzel ülkemizin görsel kalite indeksi haritasını yapmak isterdim. Gelecekte, bu konularda çalışacak meslektaşlarımın çok mutlu olacaklarına inanıyorum.

İkinci uygulama ise, nadir kırsal bölgelerin tanımlanmasına yönelik olarak yapılmıştır. Böyle yerler toplum açısından önemlidir. Yöntemin matematiksel değerlendirilmesi ayrı bir konudur. Bununla beraber, önemli bazı ayrıntılar açıklanabilir. Bu yöntem, akarsu vadileri, kıyılar ve karayolu güzergâ hı için oldukça yaygın kullanılmakta olup, bu alanların fiziksel görünümü, biyolojik kalitesi ve yapay kullanım biçimleri değerlendirilerek önce her alana ilişkin değişkenler belirlenmekte ve daha sonra bu değişkenlerin (verilerin) analiziyle ***eşsizlik indeksi değerleri*** belirlenmektedir. Buna göre bir bölgenin diğerlerine göre hangi açıdan farklı olduğu ortaya konulmaktadır. Buraya kadar, tek öznel konu, kullanılacak değişkenlerin seçimidir.

Şekil 15 a'da, Indiana'daki beş akarsuyun eşsizlik indeksi değerleri görülmektedir. Bu sunum biçimi fiziksel görünüm, biyolojik kalite ve insana dair kullanıma ilişkin değişkenlerin toplam eşsizlik indeksi değerleri içindeki oranlarını göstermesi yönüyle de önemlidir.

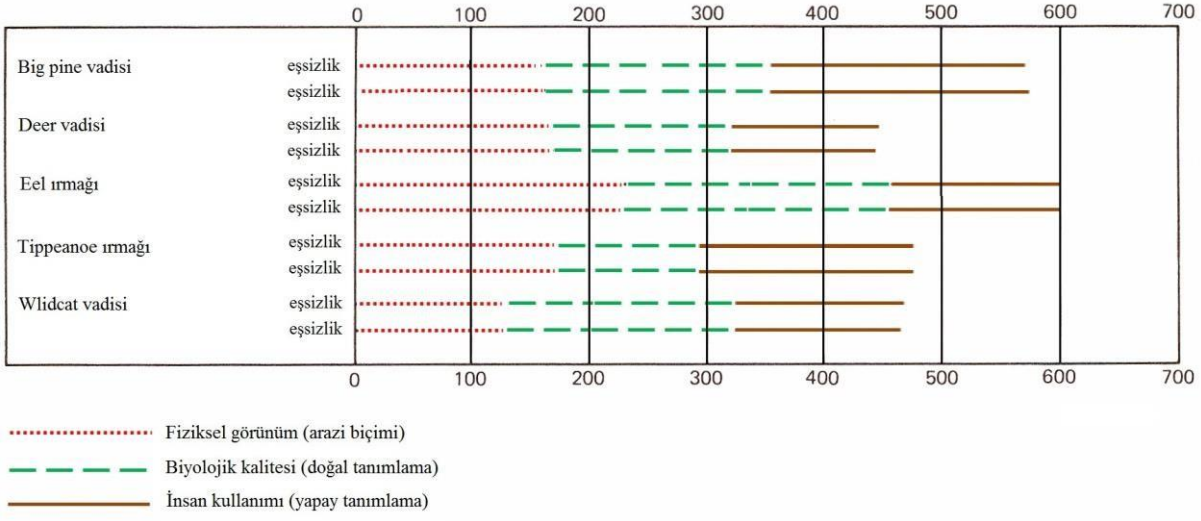
Burada sadece ***göreceli eşsizlik*** tanımlansa da yöntem bir ölçüde uygulanabilir. Örneğin, en eşsiz bir yer, kirlenmemiş ve değişime uğramamış akarsu vadisi ya da fiziksel açıdan en görsel bir alan olabilir. Dolayısıyla, değerlendirmenin ikinci aşaması, yerin niçin özellikle en eşsiz bir yer olduğunu belirlemeyi gerektirmektedir. Görsel kaynaklar aracılığı ile en eşsiz yerlerin en görsel yerler olduğuna karar verilebilir. Bunu gerçekleştirmenin yolu da neyin insanı etkilediğine bağlıdır. Burada bir kişiye çirkin gelen bir nesnenin çoğu insanlara da çirkin gelip gelmediğine karar vermek belirleyicidir.

Akarsular olayında, görsel kaliteye sahip bir ırmak, ***gölcükler oluşturmadan derin ve genç vadilerin yanı sıra şelaleler oluşturarak akan, ancak kimi yerlerde değerlendirme amacıyla da olsa ulaşılabilir bir ırmak*** olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, ayrıca, temiz akan, kirlenmemiş ve atıkların karışmadığı akarsuları da içermektedir. Bu bilgileri kullanarak, yani ideal görsel kaliteye sahip bir ırmağın eşsizliğine ilişkin verileri, herhangi bir akarsuya ilişkin verilerle karşılaştırarak, söz konusu akarsuyun ne ölçüde görsel açıdan kaliteli bir kaynak olduğuna karar verilebilir. Bu bakış ile görsel akarsu indeksi oluşturup, derecelenme de yapılabilir.

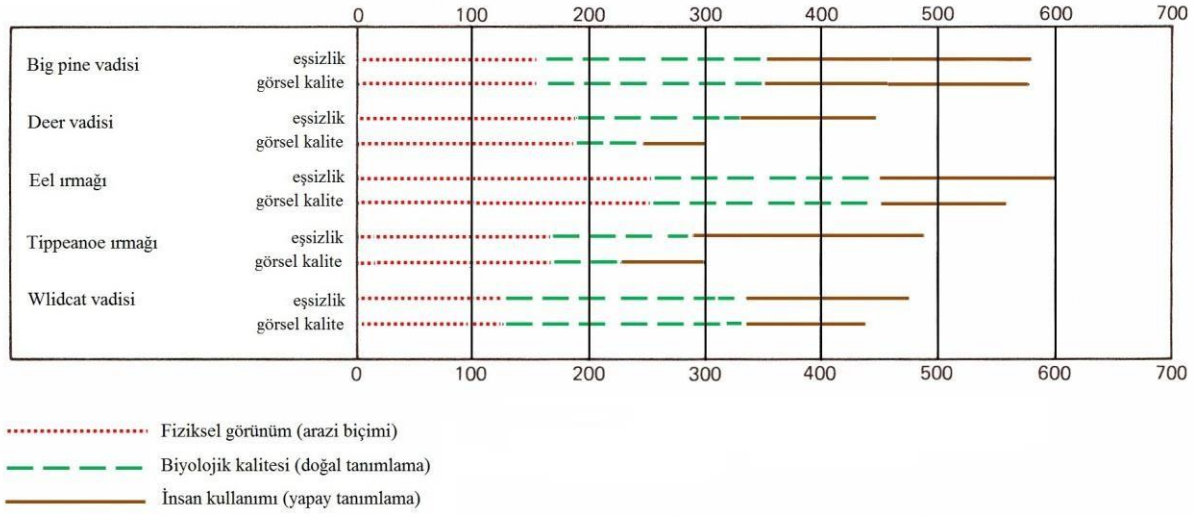
Şekil 15 b' de Indiana' daki beş akarsu için hazırlanmış eşsizlik ve görsel akarsu indisleri sunulmuştur. Her akarsuya karşılık gelen üstteki çizgi eşsizliği, alttaki çizgi görsel kalite indeksini temsil etmektedir. Çizelge 10b'de sunulan böyle bir bilgi, eşsizlik ile görsel kalite indeksini birlikte özetleyerek sunduğundan daha değerli bir bilgi olarak kabul edilebilir.

Görsel kaynakların derecelendirilmesi önemlidir. Böylece farklı kaynaklar görsel açıdan sınıflandırılabilir. Yönteme ilişkin sayısallaştırma başka bir işlem olup, bu değerlendirme çevresel etki analizlerinde ya da arazi kullanım planlamasına ilişkin kararlarda çok büyük yararlar sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntemle daha gerçekçi ve duygulardan öte sağlıklı bir bilgi altyapısı sağlanabilir. Fiziksel çevreye duyarlılık; resim, heykel ve mimariye yönelik duyarlılık toplumun ortalama kültürel düzeyini yansıtır.

(a) Akarsuların eşsizlik indeksi değerleri



(b) Akarsuların eşsizlik ve görsel kalite indeksi değerleri



Şekil 15. Indiana' daki beş akarsuyun eşsizlik indeksi değerleri (a) ve aynı akarsuların eşsizlik ve görsel kalite indeksi değerleri (b) (Melhorn ve diğerleri, 1975).

ÜLKEMİZDEN BİR UYGULAMA: BURSA ÖRNEĞİ

Yerbilimi verileri, kentsel-bölgesel planlamalarda, yararlanılan en önemli veri grubudur. Planlama çalışmalarının ilk aşamasında, yerbilimi verilerinin karar vericilerce gözetilmesi, bu verilerin planlama ve uygulama sürecine katkısını arttıracaktır. Bu anlayış çerçevesinde sunulan çalışmada, Bursa İli'nin bölgesel arazi kullanım planlamalarında yararlanılabilir temel yerbilim verileri sunulmuştur (Ateş ve Aktimur, 2019).

Çalışma Yöntemi

Arazi çalışmaları, proje amaçları doğrultusunda, İl'in bölgesel ve çevre düzeni planlamalarına hizmet edecek nitelikte, 1/150 000 ve 1/25 000 ölçeklerinde gerçekleştirilmek üzere planlanmıştır. 1/ 150 000 ölçekli araştırmalar İl genelinde, 1/25 000 ölçekli araştırmalar ise Bursa kentsel yerleşim alanı ve çevresi ile İl'in 14 ilçe merkezi ve çevresinde yürütülmüştür. Nilüfer, Yıldırım ve Osmangazi ilçeleri Bursa kentsel alanı içinde değerlendirilmiştir.

Hidrojeolojiye ilişkin çalışmalarda birimler, arazide hidrojeolojik gözlemler yapılarak geçirimlilikleri, su iletme özellikleri ve genelleştirilmiş tablolar kullanılarak sınıflandırılmış ve İl genelini kapsayan alanın 1/150 000 ölçekli hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur. Yüzey ve yeraltı sularının niteliklerini belirlemek amacıyla, elektiriksel iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen miktarı, sıcaklık gibi bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri arazide ölçülerek, su kimyasına yönelik veriler toplanmıştır. Kayaçlarda sık gözlemler yapılarak litolojik ve genel jeo-mühendislik özellikleri araştırılmış, dayanımlılık, bozunma ve süreksizliklerin özellikleri gibi parametrelerin belirlenmesinde ISRM (1981) ölçütlerinden yararlanılmıştır.

Gözetilen yerbilimi verileri

Öncelikle, Bursa ili ve yakın dolayının ayrıntılı jeolojik incelemesi yapılmıştır. Bu kapsamda önceki jeolojik veriler de eleştirel olarak gözden geçirilmiş ve yörenin stratigrafik ve kayatürü özellikleri ayrıntılı irdelenmiştir. Daha sonra kayabirimlerinin mühendislik ve hidrojeolojik özellikleri de gözetilerek, yüzey ve yeraltı sularının konumu, potansiyeli ve kimi yerlerde oluşan kirlilik düzeyleri tanımlanmıştır. Ayrıca, başta depremsellik ve heyelanlar olmak üzere doğa kaynaklı risk haritaları hazırlanmıştır.

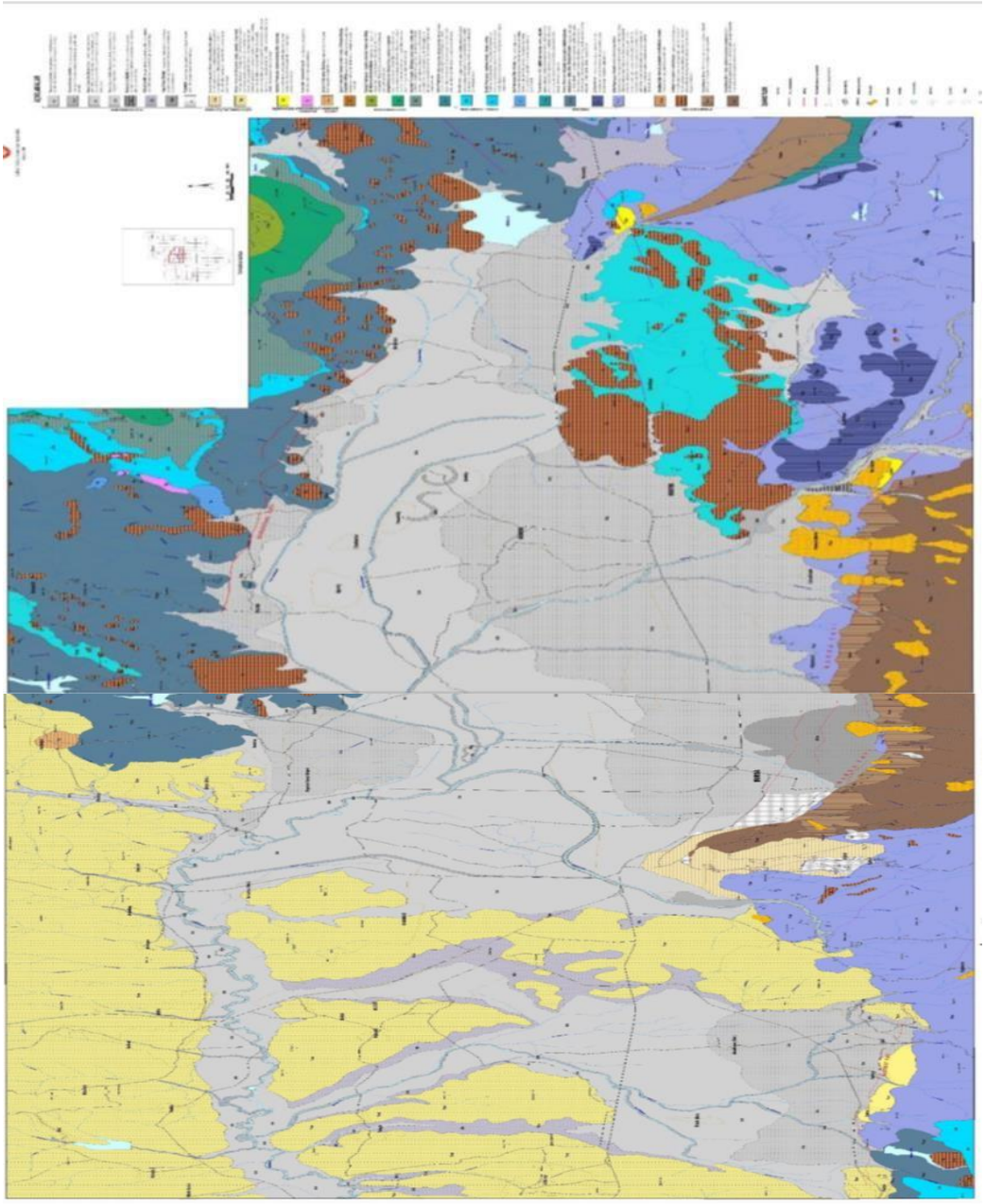
Bu çerçevede eğim haritalarının ve İl ile ilçe merkezleri özelinde güncel oluşukların ve jeomorfolojik yapıların analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, Şekil 16'da sunulan Bursa kentsel yerleşim alanı ve çevresinin mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır. Haritaya ilişkin açıklamalara Ateş ve diğerleri (2009)' den ulaşılabilir. Haritanın ölçeği nedeniyle aşağıdaki sunumlarda ne yazık ki görülememektedir.

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Bursa İli'nin bölgesel arazi kullanım planlamaları ve çevre düzeni planlamalarında yararlanılacak temel yerbilim verileri araştırılmıştır. Araştırmalar jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji, mühendislik jeolojisi, jeomorfoloji ile kütle hareketleri (heyelanlar)- depremsellik gibi doğa kaynaklı afetlere dair süreçler konularında yoğunlaşmıştır. Sunulan bu çerçeve ışığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Bursa İli genelinin jeoloji, hidrojeoloji ve doğa kaynaklı afetler konularında araştırmalar yapılmış ve bu konulara dair 1/150 000 ölçekli harita üretilmiştir. Bu çerçevede, jeoloji haritasında yer alan kayatürlerinin özellikleri, dağılımları ve yapısal özellikleri irdelenmiştir.

2. İnceleme alanındaki birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre geçirimsiz, yarı geçirimli ve geçirimli olarak sınıflandırılmış ve 1/150 000 ölçekli hidrojeoloji haritası üretilmiştir. Ayrıca:



Şekil 16.Bursa kentsel yerleşim alanı ve çevresinin mühendislik jeolojisi haritası.
Açıklamalara Ateş ve diğerleri (2009)'den ulaşılabilir.

· Alüvyal çökellerde, sıvılaşma potansiyeline yaklaşımlarda bulunmak ve hidrodinamik yapının anlaşılması amacıyla Bursa, Çayırköy, İnegöl, Yenişehir, İznik, Orhangazi ve Karacabey ovalarının yeraltı suyu eş derinlik eğrileri oluşturularak hidrojeoloji haritalarına eklenmiştir.

· Yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda, sadece üç kaynak örneğinde Mg kirliliği, bir kaynakta Ca kirliliği bir kuyuda ise SO_4 kirliliği gözlenmiştir. İnegöl ilçesine bağlı Kınık'tan alınan örnekte ise Eİ, K, Na, Ca, Mg ve B değerleri TS 266'da belirtilen sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır.

· Analiz sonuçlarına göre; Nilüfer Çayı bölgede kirlilikten en çok etkilenen akarsudur. Analiz sonuçları, Nilüfer Çayında NH_4, Fe, K, As, Eİ, Cl, SO_4 ve Na kirliliği olduğunu ortaya koyulmuştur. Uluabat Gölü çıkışında NH_4, Fe, Cr, As, Kocasu Çayının Hayırlar Köyü mevkiinde Fe ve As kirliliği olduğu görülmüştür.

Mustafakmalpaşa Çayında Fe, B, As, ve Mg kirliliği, Orhaneli Çayında ise Fe, Mg, As ve B kirliliği olduğu belirlenmiştir.
· 2007 yılı itibarıyla Bursa'daki yeraltı suyu kaynakları potansiyelinin yaklaşık %87'si kullanılmaktadır. Kentin sanayi ve tarım sektörlerindeki gelişme potansiyeli gözetildiğinde, yeraltı suyu kaynaklarının kullanımıyla ilgili ciddi bir planlama yapılmasının zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

3. Doğa kaynaklı afetlere dair süreçlerle ilgili araştırmalar yapılmış, deprem üretme potansiyeli taşıyan diri (aktif) faylar, kütle hareketleri (heyelanlar) haritalanmış ve bunların dağılımları ve nitelikleri belirlenmiştir.
· İl ve çevresinde deprem oluşturma potansiyeli taşıyan önemli aktif fayların; Kuzey Anadolu Fayı Sistemi (KAFS)'nin kuzeydeki ana kolu ile güney koluna ait faylar olduğu belirlenmiştir.
· Güney Marmara Bölgesindeki fayların bir bölümü, M>7'den büyük depremler oluşturma potansiyeline sahiptir.
· 1999 yılında, Kuzey Anadolu Fayının kuzey kolu üzerinde, 1964'te de güney Marmara'da Manyas Fayı üzerinde büyük yıkıcı depremler olmuştur. Tarihsel dönemlerde de 1855 Bursa depremi, Bursa fayının etkinliğine bağlı olarak oluşmuştur.
· Kuzey Anadolu Fayının güney kolu üzerinde de önemli yıkıcı depremler en son 1419 tarihinde olmuştur. Birkaç yüz yıldır, fayın bu bölümü üzerinde deprem olmaması nedeniyle, bu fay sistemi bölgede deprem oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Bursa Fayı üzerinde de yaklaşık 150 yıldır deprem olmaması, bölgede deprem olasılığını arttırmıştır.
· Kütle hareketleri aktivitelerine, türlerine ve alansal yayılımlarına göre sınıflandırılarak, 1/150 000 ölçekli İl'in Heyelan Envanter Haritası oluşturulmuştur.

4. Bursa kent alanı ve çevresi ile İl'in 14 ilçe merkezi ve çevrelerinde mühendislik jeolojisi, jeomorfoloji ve eğim analizleri konularında araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların sonucuna göre, İl-İlçe merkezleri ve çevrelerinin topoğrafik yapısı ve yerleşime uygunluk açısından bilgi sunan, 1/25 000 ölçekli haritalar hazırlanmıştır.
· Kaya ve güncel çökellerin kayatürü, gözleme dayalı mühendislik özellikleri belirlenerek 1/25 000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritaları yapılmıştır. Kentsel planlamalardaki önemi nedeniyle, güncel çökeller (Kuvaterner yaşlı) fasiyeslerine göre, 1/25 000 ölçekli ayrıntıda haritalanmıştır. İl-İlçe merkezi ve çevresinin, aşınım yüzeyleri, dolgu düzlükleri, bataklık alanları, akarsu yatakları, erozyon alanları, yamaç özellikleri incelenmiştir.

SONUÇLAR

Arazi kullanım planlaması çok yönlü bir konudur. Bunun için, karar verme sürecinde çevre jeolojisinin birikimlerinden yararlanmak zorunludur. Mühendislik jeolojisi, yapıların olabildiğince güvenli ve duraylı olması ve çeşitli doğa kaynaklı tehlikelerden korunması yönünde temel birikimler içerir. Çevre jeolojisi ise, jeolojik ve jeolojik olmayan, yani daha kapsamlı bir değerlendirmeyi bağrında taşır. Çevre jeolojisinin bir uzantısı olan arazi kullanım planlaması da jeolojik ve jeolojik olmayan yaklaşımları gözeterek, aynı amaca hizmet eder.

Arazi kullanım planlamacısının amacı ise, çevre jeolojisinin çerçevesinden bakarak, sınırlı bir alanda ve alana özgü birçok faktörleri göz önüne alarak, arazinin her parseli için en uygun en verimli kullanım biçimini belirlemektir. Böylece, aynı arazi parçasının, aynı zamanda ya da dönemsel olarak ardışıklı kullanılması, arazi kaynaklarının korunması yönünde bir yaklaşımı da gerçekleştirir. Jeoloji mühendisi ya da arazi kullanım planlamacısının başarısı, arazi kullanımı amacıyla belirlenen verilerin doğruluğuna ve eksiksiz olmasına büyük ölçüde bağlıdır.

KAYNAKLAR

Ateş, Ş. ve Aktimur, T. 2019. Arazi Kullanım Planlaması Yerbilim Verileri ve Araştırma Yöntemleri: Bursa Örneği. 27. Dönem, 1. Çevre Jeolojisi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Eğitim Semineri, JMO Konferans Salonu, Ankara.

Atwater, B., 1979. Land-use controls arising from erosion of seacliffl, landsliding, and fault movement, In U.S. Geological Survey Professional Paper 950.

Bartelli, L.J., Klingebiel, A.A., Baird, J.V. ve Heddleson, M.R., 1966. Soil Survey and Land Use Planning, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

Canter, L.W., 1977, Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.

Demirel, N., 2011, Denizler arası yapay kanallar ve ekosistem. Bilim ve Gelecek, 88, 26-30.

Forelich, A.J., Garnaas, A.D. ve Van Driel, J.N., 1979. Planning a new community in an urban setting: Lehigh, In U.S. Geological Survey Professional Paper 950, ss.69-68.

Gros, D.L., 1970. Geology for planning in De Kalb Country, Environmental Geology Notes, no.33, Illinois State Geological Survey, Illinois.

ISRM., 1981, Rock characterization testing and monitoring: I.S.R.M. suggested methods, editör: E. T. Brown. Pergamon Press, 211 s.

Keller, E.A., 1979. Enviromental Geology, Second Edition: Charles E. Merril Publishing Company, A. Bell ve Howell Company, Glumbus, Ohio 43216, USA, s.548.

Linton, D.L., 1968. The assessment of scenery as a natural resource, Scottish Geographical Magazine 84, 219-38.

Melhorn, W.N., Keller, E.A. ve McBane, R.A., 1975. Landscape aesthetics numerically defined (land system): application to fluvial environments: Purdue University Water Resources Research Contel Technical Report, No.37.

Montgomery, C.W, 1995. Environmental Geology, Fourt Edition, Printed In USA by Wm. C. Brown, Communication, Inc. 496 s.

North Carolina Coastal Resources Commission, 1975. State guidelines for local planning in the coastal area under the Coastal Area Management Act of 1974, Raleigh, North Carolina.

Press, F. ve Siever, R., 1974. Earth, W.H. Freeman and Company, San Francisco, USA, 945 s.

Stenestad, E. ve Sustrac, G., 1992. The role geoscience in planning and development, in geology and environment in Western Europe, ed. By G.I. Lumsden, by permission ofOxford University Pres, Oxford.

Turner, A.K. ve Coffman, D.M., 1973. Geological for planning: a review of environmental geology, Quarterly of the Colorado School of Mines, 68/3, 68 s.

William, S., Lighton, F.B. ve Baxter, M., 1976. Earth-science information in land-use planning-guidelines for earth scientists and planners, US Geological Survey Circular, 721.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, no. 116, Sivas, 276s.

Bölüm 19. ÇEVRE JEOLOJİSİ-JEOTEKNİĞİ TASARIMI, TEMEL BİLGİLER

GENEL BİLGİLER

'Mühendis olmanın, insanlığa, yaşanan coğrafyaya, topluma, kültüre karşı büyük sorumluluğu vardır. Üstelik Türkiye'nin bu konuda ilginç bir yeri olduğunu düşünüyorum. Çünkü böyle bir sorun, Avrupalı insan için ya da Amerikalı bir mühendis için çok farklı algılanabilir. Onlar için, düzenin mühendisi olmaya, yaşadıkları ahlaki, kültürel ve sosyolojik, sosyoekonomik yapıları gereği mümkün olabilir. Ama bizim gibi, çatışmaların, çelişkilerin, inanılmaz tuhaflıkların olduğu, yani teknolojiyi zaten transfer yoluyla dışardan alan kültürlerde, mühendislerin konumu, olaylara bakışı ve tavrı çok farklı olmalıdır.'

Jeoloji mühendisliğinin genel jeoloji, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik amaçlı uygulamalarındaki işlevi/bakışı somutlaştırılmalıdır. Bu çaba içinde, doğadaki jeolojik ortam irdelenmeden mühendislik işine başlanamayacağı bilinmelidir. Yol, tünel, baraj, demiryolu ve kaya içi saklama (rock storage) gibi büyük ölçekli mühendislik yapı projeleri ülke genelinde giderek artmaktadır. Bu tür projeler, disiplinler arası yapıları gereği, çeşitli konularda uzmanlaşmış mühendisler arası eşgüdümü (coordination) zorunlu kılmaktadır.

Mühendislikler arası eşgüdümle, mühendislik yapı projeleri irdelenirken öncelikle

1. Maliyet
2. Emniyet-Güvenlik
3. Zaman
4. Estetik-Çevre gibi olgular gözetilmelidir.

Mühendisliğin amaçlarından biri de en ucuz, en güvenli, en kısa zamanda ve çevreye uyumlu en güzel yapıların üretilmesine katkıda bulunmaktır. Çeşitli meslekler (jeoloji, jeomorfoloji, jeofizik, inşaat, maden, harita ve çevre mühendislikleri) jeoteknik tasarımın ortaya konulmasında değişik katkılar sağlamaktadır. Ancak tüm disiplinlerin ortak ilkesi, yukarıda sunulan çerçeveye dayanır. Söz konusu tüm projelerde 'Ulusal Servet'in sorumluca değerlendirilmesi zorunludur.

Örneğin, jeoteknik tasarım sırasında bazı öncelikler (Yılmazer ve diğerleri,1999) aşağıda sunulmuştur:

- Bazı ayrıntıların bir şekille ifade edilmesi son derece yararlıdır. 'Bir şekil bin sözcük' deyimlerle kazanılmıştır.
- Örneklemelerin güncel ve ulaşılabilir olması yeğlenmelidir.
- Gözlem ve deneylere dayalı sınıflandırmalar esas alınmalıdır.
- Kolay anlaşılır ve uygulanır temel yöntemler kullanılmalıdır.
- Önce genel, sonra özel ayrıntılar ortaya konulmalıdır.

Jeoteknik tasarımın sağlıklı bir plan içinde yapılması zorunludur. Yapılması gereken işlerin sırasını belirlemek üzere proje akım çizelgesi hazırlanmalıdır. Öneri niteliğinde hazırlanan bir akım süreci Çizelge, 1'de sunulmuştur. Jeoteknik tasarımın iki temel evresi vardır. Hazırlık ve geliştirme evreleri. Jeoteknik tasarımın hazırlık evresi genel olarak teknik bir ekiple gerçekleştirilir. Bu teknik ekip, özel ya da kamu sektörlerinin uygulamaya karar verdiği projeleri, uygulamaya karar veren yetkililerle ve belli bir eşgüdümle ele alıp üzerinde çalışırlar. Geliştirme evresinde ise proje dışında kalan, ancak projeden etkilenen ya da etkilenmeyen tüm halkın ve yerel yönetimlerin katkısı sağlanır. Jeoteknik tasarım için öngörülen bu yapıdan yararlanarak çevre jeolojisi tasarımı da ortaya koyulabilir.

Güvenilir bir çevre jeolojisi tasarımında izlenmesi gereken zorunlu aşamalarda, Jeoteknik verileri de içeren daha kapsamlı bir çabaya gereksinim vardır. Öncelikle, temel jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik veriler, askıda kalmamalı ve bu veriler entegre edilmelidir. Bu entegrasyon sağlanmadan, ortaya çıkması olası bir sorunu, diğer mühendislik verileri ile birlikte tanımlamak ve söz konusu sorunu

çözme hususunda bir irade ortaya koymak mümkün değildir. Bu da yetmez. Mühendisliğin tüm özgül sonuçlarını Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) ışığında yorumlamak zorunludur. Böylece, mühendisliğin, ÇED'de öngörülen sosyoekonomik ortamla; yani kamu yararına bağı kurulabilir.

Çizelge 1, Jeoteknik tasarımda proje akım süreci (Yılmazer ve diğerleri, 1999'dan kısmen değiştirilerek alınmıştır).

HAZIRLIK	Planlama → ÖN ARAŞTIRMA		ÇEVRE JEOTEKNİĞİ TASARIMI	GELİŞTİRME
	↓ Çalışmanın amacı ve geçekleştirilecek alan ile ilgili veri toplama, ↓ Ön çalışmaların değerlendirilmesi ve temel ölçütlerin belirlenmesi: - Fiziki ve sosyal, - Maliyet ve zamanlama, - Emniyet – güvenlik, - ÇED araştırması, Tasarıma yönelik bilgilerin ortaya konulması, ↓ Ulusal servet gözetilerek çeşitli seçeneklerin üretilmesi ve bu seçeneklerin karşılaştırılmasına ilişkin alt yapının oluşturulması,	→	↑ Verilerin son değerlendirilmesi, Nihai ÇED Raporu'nun tamamlanması, ↑ Ortaya çıkan seçeneklerle ilgili ayrıntıların işverenle görüşülmesi, ÇED araştırması ön bilgilerinin değerlendirilmesi, Taslak ÇED' in hazırlanması, ↑ Maliyet – Emniyet – Zamanlama ve Estetik (MEZE) yönleriyle yeniden değerlendirme, ↑ Halkla eşgüdüm (Halka açık toplantılar, konferans ve bildiri yoluyla projenin eleştiriye açılması),	

Çevre jeolojisi-jeotekniğine dair aşamalar ise sıra ile aşağıda sunulmuştur (Şekil, 1):

1-Temel jeolojik çalışmalar,
- -Bölgesel Jeoloji (1/100.000 ölçekli)
- -Yerel Jeoloji (1/25.000 ölçekli ve ayrıntılı)
- -Projeye (ya da konuya) özgü Jeoloji (1/ 2000 ya da daha büyük ölçekli)

2-Hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar,
3- Jeoteknik çalışmalar
4- Diğer mühendislik çalışmaları
5-Birleştirme (entegrasyon)
6-Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) uygulamalarına uyarlama

Sunulan her aşamanın güvenilirliği de bir önceki aşamanın güvenilirliğinden geçer.

Yapılacak işlerin başında, sağlıklı temel bir jeolojik çalışma gelir. Jeolojik çalışmada gerek bölgesel gerek yerel, yani yere-özgü verilerin birlikte değerlendirilmesi zorunludur. Bu çalışmalarda seçilen ölçeğe uygun ayrıntıların ortaya koyulması gerektiği unutulmamalıdır. Jeolojik çalışmayı, sıra ile hidrojeolojik çalışmalar, jeoteknik tasarım ve diğer mühendislik çalışmaları izlemektedir. Bu çalışmalar tamamlandıktan sonra projenin Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) yapılmalıdır. Çevre jeolojisi-jeotekniği tasarımı, bir bakıma da yer seçimini ve ÇED' i yönlendirebilen bir tasarımdır.

1- TEMEL JEOLOJİK ÇALIŞMALAR

Temel jeolojik çalışmalarda, birimlerin kayatürü özellikleri, konumları ve ayrıca yaşı (yani zaman boyutu) ile stratigrafik ilişkileri ayrıntılı olarak sunulur. Jeolojik birimleri, üç boyutlu olarak plan ve kesitlerle de göstermek mümkündür. Bunun için blok diyagramlar da hazırlanır. Hazırlanan enine kesitlere ve dikme kesitlere temel jeolojik bilgilere zaman da aktarılır. Dolayısıyla, işin doğası gereği yapılan işlem dört boyutlu olacaktır. Bu da kısaca 4B (x-y-z-t) ile ifade edilir. Boyutlardan ilk üçü mekânı, dördüncü boyut ise zamanı temsil etmektedir. Jeolojik çalışmaları verimli kılmak için aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması zorunludur:

1- Çalışma alanında yer alan kayatürlerinin tanımı, özellikleri, dokanak ilişkileri, yayılımları, oluştukları ortamlar ve yaşları irdelenerek ***jeolojik haritalar*** üretilir. Jeolojik haritalar, önce ***bölgesel*** daha sonra ise sıra ile ***yerel*** ve ***konuya özel*** düzeyde hazırlanmalıdır. Bu haritalar, ayrıca doğa kaynaklı afetlerin yerini, boyutlarını ve niteliğini yansıtmalıdır. Örneğin, diri faylar, heyelanlar, sel ve taşkın alanları vd. harita üzerinde görülebilmelidir.

Bölgesel jeoloji haritaları, 1/100.000 ölçekli ya da daha küçük ölçekli olarak hazırlanıp, yörenin temel jeolojik çerçevesi ortaya koyulur. Yerel jeoloji haritaları ise 1/25.000- 1/10.000 ölçeklerinde hazırlanır ve çalışılacak konuya yaklaşmamızı kolaylaştıracak düzeyde ayrıntılı olarak ortaya koyulur. Konuya özel olarak hazırlanan jeoloji haritaları ise 1/2.000- 1/1.000 ölçeklerinde, bazen konunun niteliğine göre daha ayrıntılı ve büyük ölçeklerde hazırlanır. Bu haritalarda konuya özel tüm ayrıntılar ortaya koyulur.

2- Çalışma alanında yer alan kayatürlerinin stratigrafik (yani dikme) kesitleri hazırlanır. Bu çerçevede birimlerin adlandırılması, stratigrafi adlanma kurallarına uygun biçimde yapılır. Dikme kesitler, yaşlı birimler altta, genç birimler üstte yer alacak şekilde hazırlanır.

Rapor içinde ise önce yaşlı birimlerin daha sonra genç birimlerin özellikleri sunulur. Sunumu kolaylaştırmak için çeşitli ek dikme ve enine kesitlerden de yararlanılır. Tüm resimlemeler ve kesitler hazırlanırken geniş bir yerbilimci kitle tarafından benimsenen ölçütlere uyulur.

3- İnceleme alanında yer alan eski ve güncel tektonik unsurlar ve jeolojik yapı ortaya konulur.

Tektonik unsurlar başlıca faylar, eklemler, çatlaklar, kıvrımlar ve diğer çizgisel yapılardan oluşur. Bu unsurların arazi üzerindeki yayılımları ve konumları irdelenip değerlendirilerek, bölgeyi denetleyen tektonik kuvvetlerin yönleri güncel olarak ortaya koyulur.

Jeolojik yapının, öncelikle genel çerçevede sağlıklı bir biçimde ortaya konulması gerekir. Bunun için katmanların konumunu belirlemek üzere katmanların alt ve üst yüzeylerinin tayin edilmesini kolaylaştıran taban yapıları, katmanın üst yüzeyinde gelişen yapılar, fosillerin katman içindeki duruşu, lav akıntılarının geometrisi gibi ölçütlerden yararlanılır. Formasyonların (yani birimlerin yer altında da) nasıl devam ettiğini ortaya koymak üzere yüzey yapılarının yanı sıra gravite, yer/hava-manyetik ya da sismik yöntemler uygulanır. Tüm verilerden yararlanarak yeraltının modellenmesi yapılır.

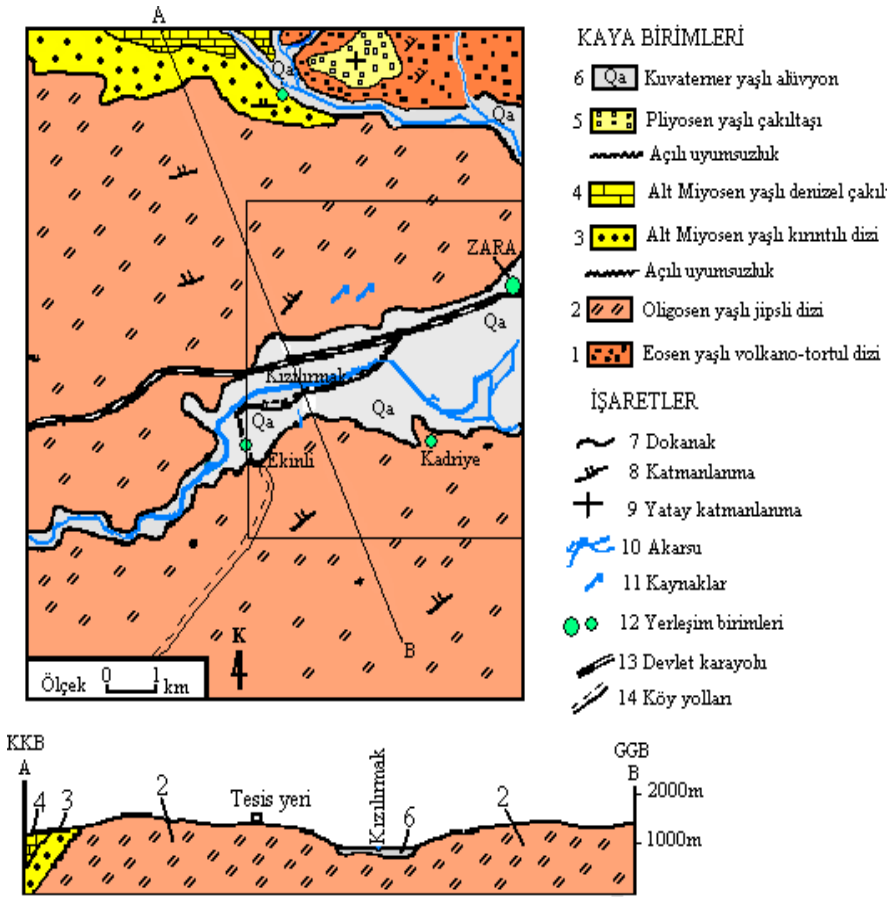
Örneğin akarsular, göller, bataklıklar, sazlıklar ve sıradağlar güncel jeomorfolojik yapılar olup Neotektonik rejimlerin ürünüdürler. Bu yapılar, aynı zamanda günümüzdeki doğal afetlerin gelişiminde belirleyicidirler. Bataklık ve sazlıklarda oluşan birikintilerin yanı sıra, akarsu, göl ya da yamaç molozu gibi güncel çökeller ve kayma yapıları (heyelanlar) ayrıntılı incelenmeli ve bunların oluşum nedenleri irdelenmelidir. ***Çeşitli yeni öngörüler, jeolojik çalışmaları yönlendirebilir. Bu çalışmaların sonucunda, belirlenen jeolojik yapıların ne tür bir jeolojik olayın ürünü olduğu ortaya koyulabilir. Bu çerçeveyi aydınlatmak üzere aşağıda çeşitli örnekler verilmiştir.***

Anadolu'nun kuzeyinde yer alan Kuzey Anadolu Dağları, yaklaşık D-B uzanımlı bir dizidir (silsiledir). Kuzeyde Karadeniz üzerinden ilerleyen bir yüksek hava basıncı dalgası kıyıya paralel uzanan sıradağları aşamayınca dağın denize bakan kuzey yamaçlarına yağış yükünü bırakır. Aynı yükseklikteki

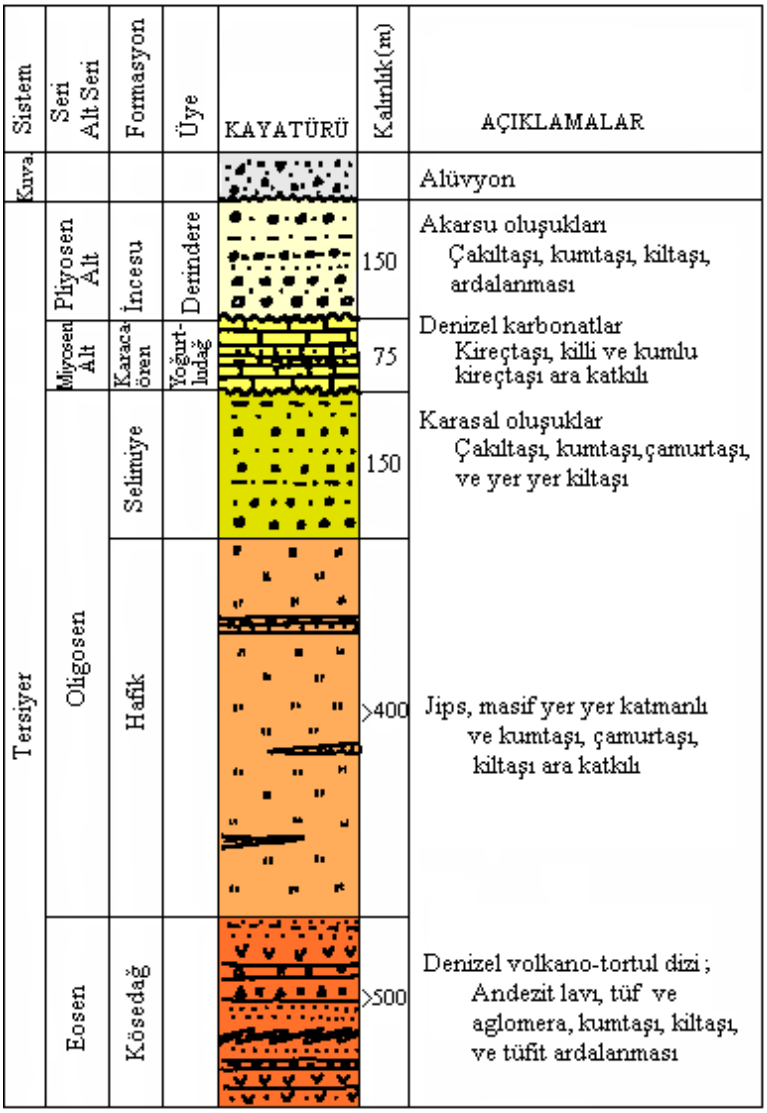
güney yamaçları ise yağış almaz ve bitki örtüsü yönüyle çıplak kalır. Yağışı bol olan kuzey kesimlerde, dayanımlı olmayan birimlerin kolayca aşınıp taşınması nedeniyle daha dayanıklı birimlerin oluşturduğu derin vadili ve yüksek tepeli bir topografya egemen olur. Bu yağış koşullarında oluşan yoğun bitki örtüsü nedeniyle jeolojik veri sağlayacak doğal-taze yüzeylemeler ancak vadi yamaçlarında, dere içlerinde ya da yüksek tepelerin yukarı bölümlerinde bulunabilirler.

Yukarıda sunulan örnekten de anlaşıldığı gibi jeomorfolojik yapılar ve meteorolojik koşullar çoğu kez jeolojik modelin oluşturulması için gereken verileri toplamayı, dolayısıyla jeolojik modelin yorumunu güçleştirmektedir. Ne var ki ***güncel jeolojik yapıların*** kendisi de jeolojik süreçlerin yanı sıra jeomorfolojik ve meteorolojik koşulların ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Diri fayların birbirini kestiği yerlerde sönmüş yanardağlar yeniden gelişebilir. Buna Muş ovasının doğusundaki Nemrut yanardağı, Ecemiş çukurluğunun kuzeyindeki Erciyes yanardağı örnek olarak verilebilir. Böyle yerlerde jeotermal gradyan oldukça yüksek olup ılıca, kaplıca ya da sıcak su kaynaklarını oluşturacak hazne kayaların da var olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çerçevede yanardağlar ile termal kaynaklar arasındaki ilişkiler kurulabilir.

Sonuç olarak elde edilen jeolojik bilgiler dikme kesitlere aktarılır ve jeolojik haritalardaki yapıyı ortaya koymak üzere enine kesitler hazırlanır. Elde edilen veriler değerlendirilerek incelenen alanın, ne tür doğal olayların denetiminde şekillendiği açıklanır. Haritalar ya da kesitler hazırlanırken, bazı genel ölçütlere uyma zorunluluğu vardır. Yerel jeolojik haritaya ilişkin bir örnek Şekil 1' de ve bu ölçekte bir haritaya ışık tutan dikme kesit örneği Şekil 2'de görülmektedir. Bu her iki şekil, asgari düzeyde genel ölçütlere göre hazırlanmıştır.



Şekil 1. Yerel jeoloji haritasına bir örnek: Zara batısının jeoloji haritası ve enine kesiti (Yılmaz ve diğerleri, 2002).



Şekil 2. Yerel jeolojiye ışık tutan genelleştirilmiş bir dikme kesit örneği: Zara batısının genelleştirilmiş jeolojik dikme kesiti

Ancak kimi yerel yapıları ortaya koymak için çok daha ayrıntılı çalışmalara gereksinim vardır.

Yüzeyden elde edilen jeolojik verilerin yeterli olmadığı durumlarda kuyular açılabilir ya da sondajlar yapılabilir. Karadeniz'de olduğu gibi yoğun bir bitki örtüsünün olduğu durumlarda ve özellikle toprak örtüsünün kalın olduğu yerlerde sondaj kuyuları açılır ve kuyulardan elde edilen bilgiler karşılaştırılarak sağlıklı bir veri tabanı oluşturulur. Toprak örtüsünün ince olduğu yerlerde ise makineli ya da makinesiz olarak yukarıdan aşağıya doğru açılacak çukurlardan ya da yarmalardan da güvenilir bilgiler sağlanabilir.

Yüzey jeolojisi, sondaj, araştırma kuyuları ve yarmalardan yeterli sonuç alınamadığı durumlarda jeofizik yöntemlere de başvurulmalıdır. Gravite, (yer-hava) manyetik ya da sismik yöntemlerle elde edilen bilgiler, diğer çalışmaların ışığında değerlendirerek yeraltının modellenmesi yapılmalıdır. Böylece yüzeydeki birimlerin yeraltında da nasıl devam ettiği ve bu birimlerin yapısal ilişkileri ortaya konulabilir.

2- HİDROLOJİK VE HİDROJEOLOJİK ÇALIŞMALAR

Hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar, temel jeolojik çalışmalar gözetilerek yapılandırılmalıdır. Jeolojik çalışmalarda tanımlanmış olan kayatürleri ile bu kayatürlerinin hidrolojik ve hidrojeolojik davranışları arasındaki ilişkiler de şekil, harita ve kesitlerle üç boyutlu olarak ortaya konulmalıdır.

Yağışın çoğu denizlere, 1/4'üne yakını ise karaya yani toprağa düşer. Toprağa düşen yağışın 2/3'ü tekrar buharlaşır, geri kalanı akar ya da yeraltı sularını oluşturur. Yeryüzünün yaklaşık 3/4'ü denizlerle kaplıdır. Karalarda yer alan su ise yeryüzündeki suyun % 4'ü kadardır. Bu suyun % 90'ı yeraltı sularını oluşturmaktadır. Yeraltı suyunun % 99'u ise atmosferik kökenlidir.

Ne var ki karalardaki yeraltı ve yerüstü sularının dağılımı düzenli değildir. İnsanların gereksinimleri için kullanılabilen su kaynakları son derece sınırlı olup bu kaynakların yapılan tüm faaliyetlerden ya da projelerden olumsuz olarak etkilenmeden korunması gerekmektedir. Su kaynaklarının korunabilmesi için de bunların içinde yer aldığı kayatürleriyle olan ilişkileri son derece ayrıntılı olarak ortaya konulmalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi için ise hidrojeolojik çalışmaların yapılmasına gereksinim vardır.

Sulu ortamda oluşan çökel birimlerin kayalaşma (diagenesis) evresinde ilk yaptıkları işlem, içerdikleri suyu bırakmaktır. Çökel kayalarının başkalaşım (metomorfik) kayalarına dönüşümü sırasında gelişen sıcaklık ve basınç koşullarına uygun yeni mineraller oluşur. Başkalaşımın geçerli olduğu koşullarda yeraltı suyu tümüyle ortamdan uzaklaşır.

Çamurtaşı ve kiltaşı dışında kalan kayaların büyük bir bölümünde ikincil geçirimlilik belirleyicidir. İkincil geçirimliliğin belirleyici unsurları ise süreksizliklerdir. Dolayısıyla hidrojeolojik çalışmalar yürütülürken kaya türlerinin su tutma özelliklerinin yanı sıra, kayaların yapısal unsurları yani süreksizlikleri gözetilmelidir.

Jeolojik çalışmalar ışığında hazırlanacak olan hidrojeolojik çalışmalar programlanırken aşağıda belirtilen konulara açıklık getirilmelidir:

1- İncelenecek alanda yüzeylenen tüm kaya türlerinin hidrojeolojik özellikleri şekil, harita ve kesitlerde üç boyutlu olarak ortaya konulmalıdır.
2- Yeraltı sularının oluşumu, dağılımı ve hareketlerini [örneğin yeraltı su tablasının ve basınçlı su seviyesinin (piezometric level) mevsimlere göre değişimi dahil tüm nitelikleri] açıklayıcı bilgiler harita ve kesitlere işlenmelidir.
3- Yeraltı suyunu yönlendiren süresizlikler ya da dalımlı kıvrım, antiklinal, senklinal gibi yapısal unsurların ayrıntılı bir şekilde haritalanması bu yapıların hidrojeolojik bulgularla ilişkisinin ortaya konulması gerekir.

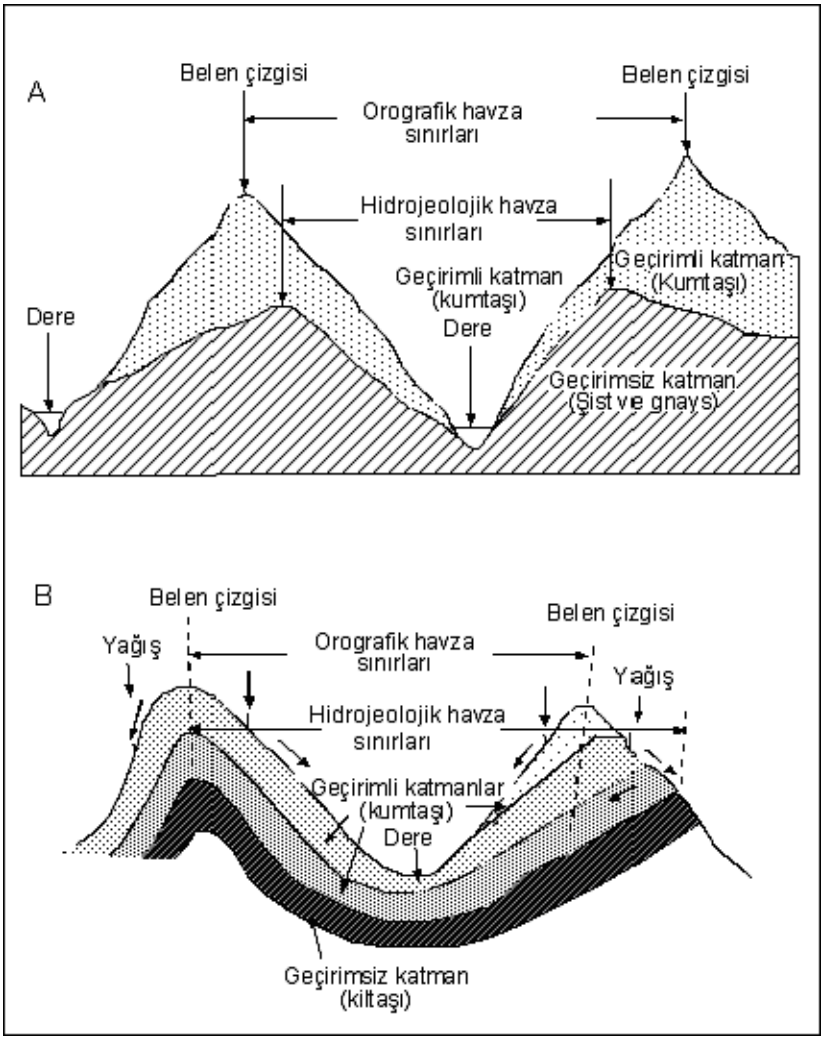
Yukarıda sunulan konulara açıklık getirmek üzere yeraltı sularının beslenme sınırlarının belirlenmesi, yeraltı su seviyesinin (YAS) konumu, kayatürü ile suyun ilişkilerinin açıklığa kavuşturulması, gözlem kuyularından çeşitli bilgilerin toplanması ve morfoloji ile yağış arasındaki ilişkiler gibi ayrıntıların proje özelinde ortaya konulmasında yarar görülmektedir. Aşağıda yol gösterici bazı bilgiler sunulmuştur.

Yerüstü suyu beslenme sınırının belirlenmesi

Öncelikle yüzey sularının dağılımını gösteren haritalar üretilmelidir. Yüzey sularının beslenme havzaları su bölüm çizgisi (belen çizgisi) gözetilerek çizilir. Şekil 3'de görüldüğü gibi yüzey suyu beslenmesinin sınırları orografik havza sınırları tarafından belirlenir. Bu havza sınırları da su bölüm çizgisi (belen çizgisi) gözetilerek haritalanabilir. Bu konuda üretilen haritalar planlanan tesisin yüzey suları ile olan ilişkisini irdelemeyi kolaylaştırır.

Yeraltı suyu beslenme sınırının belirlenmesi

Hidrojeolojik çalışmaların amaçlarından biri de yeraltı suyu araştırmalarında elde edilen bilgileri irdeleyerek öngörü şansını artırmaktadır. Bu çerçevede yeraltı suyu beslenme sınırını belirlemek üzere arazide izlenebilen geçirimsiz katmanların haritalanması ve bu katmanların konumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında öncelikle hidrojeolojik havza sınırlarının belirlenmesi ve daha sonra bu havzada yer alan yeraltı su düzeyinin sondajlarla belirlenmesi gerekmektedir. Her koşulda yüzey ve yeraltı su düzeyleri belirlenmeli ki, oluşan herhangi bir kirliliğinde nasıl ele alınabileceği de somutlaştırılabilinsin. Ayrıca çeşitli yöntemlerle, su bölüm çizgisi ve süreksizliklerin konumu gözetilerek yeraltı suyu beslenme sınırını belirlemek mümkündür.



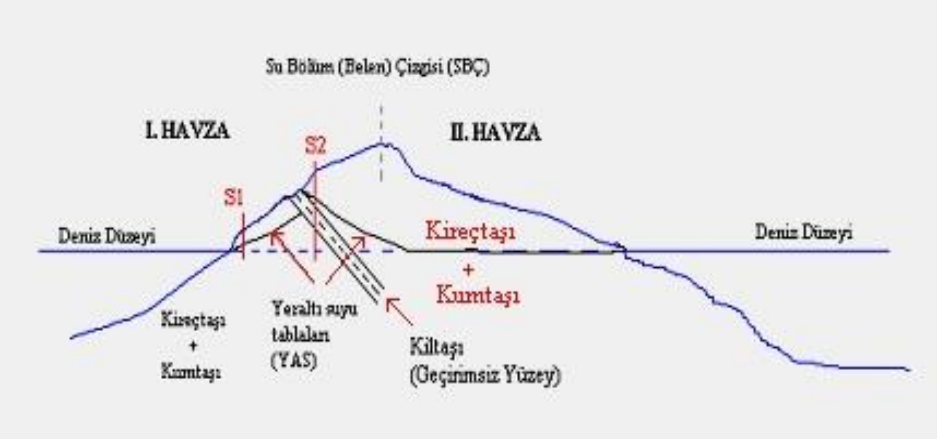
Şekil 3. Orografik ve hidrojeolojik havza sınırlarının karşılaştırılması (A-Görçelioğlu, 2003'den; B-Özbek, 1989' den kısmen değiştirilerek alınmıştır).

Yeraltı su düzeyinin (YAS) konumu

Yeraltı su tablasının konumu, su bölüm çizgisi (SBÇ) ya da belen çizgisi olarak tanımlanan sınır ile geçirimsiz katmanların konumuna göre değişmektedir. Geçirimsiz katmanlar çok yaygın ise bunlar yeraltı su tablalarını da birbirinden ayırmakta kullanılabilirler. Önemli olan bu tablalar ile geçirimsiz

katmanın konumunu doğru olarak belirlemektir. Aşağıda Şekil 4'de Yeraltı su tablalarının konumu iki ayrı sondaj ile ortaya konulmuştur.

Yeraltı suyunun konumu, yayılımı ve devinimi, suyun içinde yer aldığı kaya türlerinin geçirimliliği, gözenekliliği ve kil içeriğine göre değişmektedir.
Sondaj kuyusu açılırken karşılaşılan su düzeyi, kuyunun derinliği artırıldıkça değişmiyorsa, bu düzey "***serbest su tablası***" olarak kabul edilebilir. Su kaybolursa bunun da ***tünek su*** olabileceği gözetilmelidir. Sondaj sırasında kuru ortamda ilerlerken karşılaşılan su düzeyinin yükselip durağanlaştığı konum, ***su basınç düzeyi*** (piezometric level) olarak adlandırılır. Bu noktalar da birleştirilerek yeraltı suyu havzası beslenme sınırı (YBS) çizilir.



Şekil 4. I ve II nolu havzaların yeraltı suyunun tablaları ile geçirimsiz kil katmanı arasındaki ilişkiler (S1 sondajı sadece I no' lu havzanın YAS tablasını kesmekte; S2 sondajı ise I ve II no' lu havzaların YAS tablalarını beraber kesmektedir. YAS tablaları deniz yüzeyinden geçirimsiz kil düzeyine doğru yükselmektedir. Bu da YAS' nun beslenme miktarı ile yerçekimi arasındaki ilişkinin sonucu olarak şekillenmektedir.)

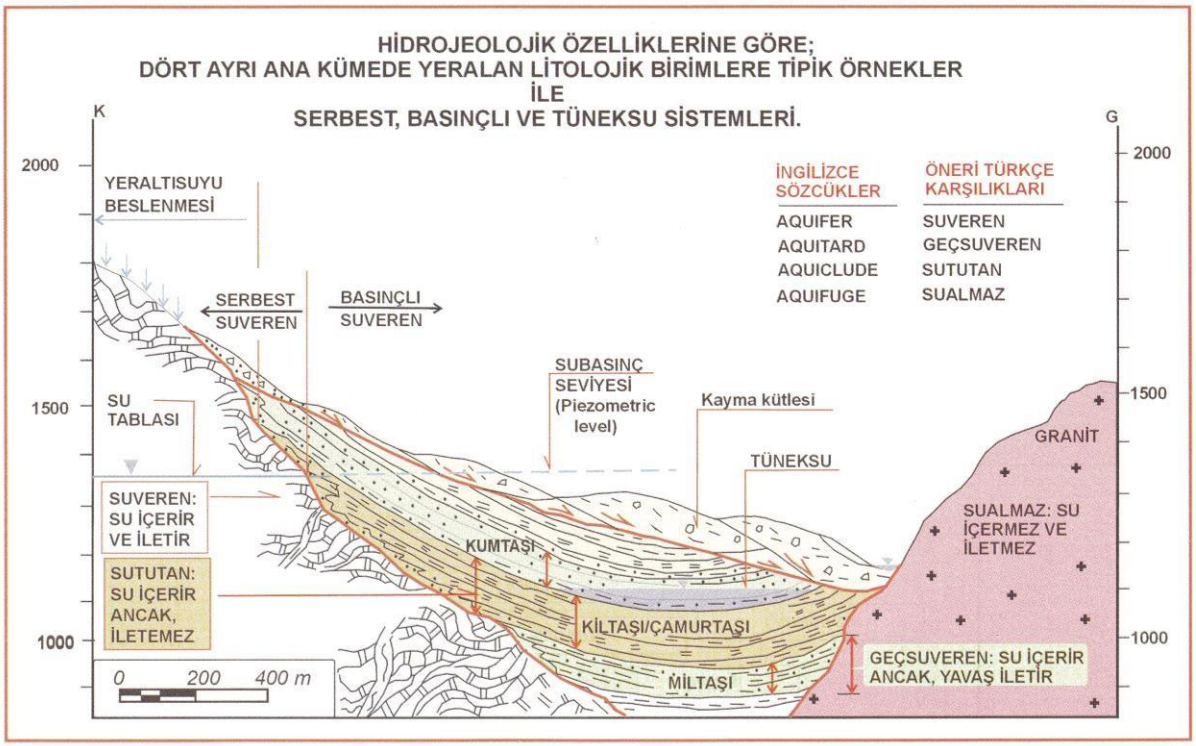
Kayatürleri ile suyun ilişkileri

Kayatürlerinin suyu içerme ve iletme özelliklerine göre sınıflandırılması, yani hidrojeolojik olarak adlandırılması gerekmektedir. Böylece kaya türleri ile serbest, basınçlı ve tünek su sistemleriyle ilişkiler kolaylıkla kurulabilir ve hidrojeolojik çalışmalar geliştirilebilir. Çizelge 2'de kayatürü, hidrojeolojik özellikler ve bunların su ile ilgili davranışları ortaya konulmuştur. Şekil 5'de ise kayatürleri, hidrojeolojik özellikler ve su ile ilgili davranışların yanı sıra serbest, basınçlı ve tünek su sistemlerinin konumu sunulmuştur.

Yılmazer ve diğerlerinden (1999) yararlanarak hazırlanan Çizelge 2 ve Şekil 5 birlikte irdelendiğinde kayatürlerinin gözeneklilik ve geçirgenlik özelliklerinin su ile ilgili davranışlarını denetlediği söylenebilir. Örneğin kireçtaşı, gözenekli olup suyu geçirme özellikleri belirgindir. Oysa granit sıkı dokulu olup suyu geçirmez.

Çizelge 2, Kayatürleri, hidrojeolojik özellikleri ve su ile ilgili davranışlar.

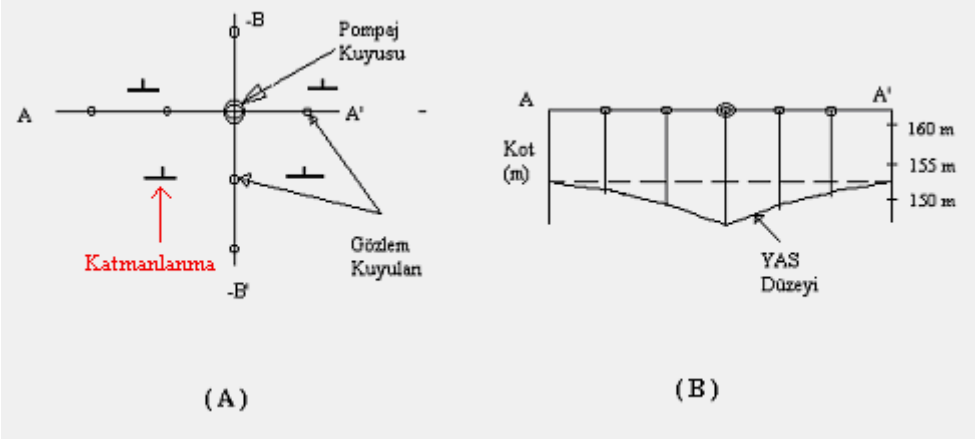
Kaya türleri	Hidrojeolojik özellikler	Su ile ilgili davranışlar
1- Kireçtaşı, akarsu çökelleri, kumtaşı 2-Miltaşı, spilit, bazı volkanitler 3- Kiltaşı, çamurtaşı ve şeyl 4-Granit, gabro, diyorit ve metamorfik kayalar	Su veren (aquifer)	Su içerir ve iletir.
	Geç su veren (aquitard)	Su içerir ve yavaş iletir.
	Su tutan (aquiclude)	Su içerir ancak iletmez.
	Su almaz (aquifuge)	Su geçirmez ve iletmez.



Şekil 5. Kayatürleri ve hidrojeolojik özellikler ile serbest, basınçlı ve tüneksu sistemleri arasındaki ilişkiler (Yılmazer ve diğerleri, 1999).

Gözlem kuyuları

Hidrojeolojik çalışmalara veri sağlamak üzere kuyulardaki deneylerin sonuçlarından da yararlanılır. En çok kullanılan deneyler kuyu-içi ölçümler ve pompaj deneyleridir. Pompaj ve gözlem kuyularının planı egemen süresizliklere göre yapılır. Örneğin gözlem kuyuları katmanın doğrultusuna dik ve paralel olmak üzere iki doğrultuda yerleştirilir (Şekil, 6).



Şekil 6, Eğimli bir istifte gözlem ve pompaj kuyularının dizilimini gösterir Planlar (A, üstten bakış; B, yandan bakış).

Gözlemlerin uzun yıllar alabileceği göz önüne alınarak kuyuların sağlam ve kullanışlı bir tasarımı yapılmalıdır.

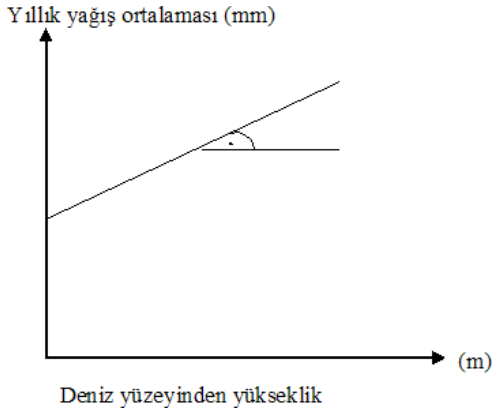
Sonuç olarak güvenilir bir hidrojeolojik modelin oluşturulabilmesi için özellikle yeraltı sularının konumu, yayılımı, su tablasındaki günlük-aylık-mevsimlik değişimleri, birimlerin hidrojeolojik özellikleri ve yükseklik-yağış-beslenme (YYB) ilişkilerinin sağlıklı bir biçimde ortaya konulması gerekmektedir. Bölgenin jeolojik yapısı ile hidrojeolojik verilerin jeolojik yapıya etkileri son derece sağlıklı irdelenmelidir. Örneğin yamaçların duraylılığı, süreksizlikler ve suyun ilişkileri mühendislik yapılarının geleceği açısından önemlidir.

Morfoloji-yükseklik ve yağış ilişkileri

Bölgelerin yıllık yağış miktarları, morfoloji, yağışın biçimi ve deniz düzeyinden yükseklikleri ile egemen rüzgâr yönleri arasında belirgin ilişkiler vardır. Örneğin yüksek yerler daha çok kar yağışı alır. Açık denize kıyısı olan ya da bir tarafı denize ya da göle açılan uzun ovaların ön kesimi, ovanın gerisindeki yamaçlara göre daha fazla yağış alır.

Alanların deniz yüzeyinden yükseklikleri ile yağış arasında doğrusal bir ilişki vardır (Şekil, 7). Ne var ki doğrunun eğimi ve doğrusal ilişkinin gözlenebileceği aralık bölgeden bölgeye değişebilir. Ancak yağış ile yükseklik arasındaki ilişkide yere-özgü (in-situ) egemen rüzgâr yönü gibi iklimsel özellikler de göz önünde tutulmalıdır.

Kar örtüsünün uzun bir süre yerde kalmasıyla, heyelan ve çığ gibi duraysızlık sorunları ortaya çıkarken, yeraltı suyunun miktarı da artmaktadır. Ayrıca yağmurun yağması kar erimesi üzerine etkilidir. Taşkınlar ve yeraltı suları ile taşkınlar arasında gelişen ilişkiler hidroloji ve hidrojeolojinin konuları olup bunların değerlendirilmesinde çeşitli denklikler (formüller) kullanılmaktadır.

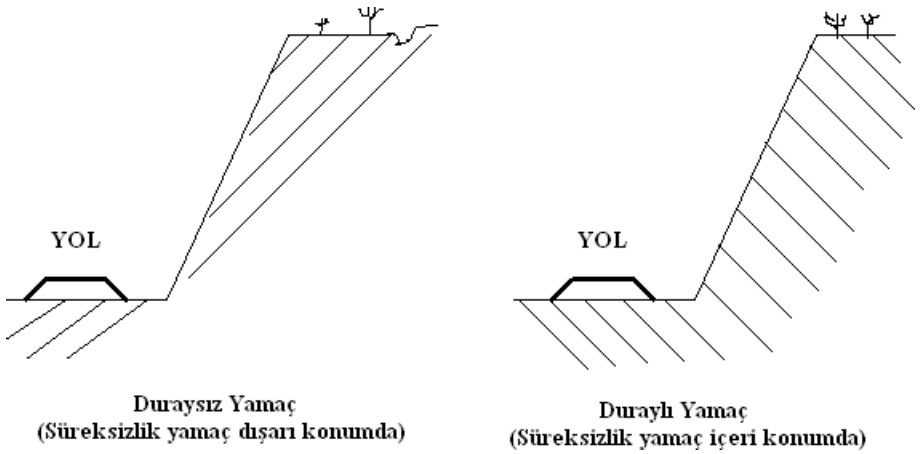


Şekil 7, Deniz düzeyinden yükseklik ile yıllık yağış ortalaması arasındaki ilişki, doğrusal bir yönelime sahiptir.

Yağış – süreksizlik – yamaç ilişkileri

Özellikle derelerin yüksek eğimli yamaçlarında ana süreksizlikler (örneğin katmanlanma) yamaç dışarı ise duraysız yamaç; ana süreksizlikler yamaç içeri ise duraylı yamaç söz konusu olmaktadır (Şekil, 8). Duraysız yamaçlar yağış azda olsa bile harekete geçebilir. Duraylı yamaçlar ise yağışın bol olduğu ve yamacın yukarı bölümlerinde fay ya da çeşitli eklem ya da kırıkların gelişmesi durumunda duraysız konuma geçebilirler.

İki yamacı çok farklı eğime sahip dereler bakışımsız (asymmetric) yamaçlı dereler olarak adlandırılmaktadır. Süreksizliğin konumuna göre bu tür derelerin bir tarafı duraylı, diğer tarafı duraysız olabilir.

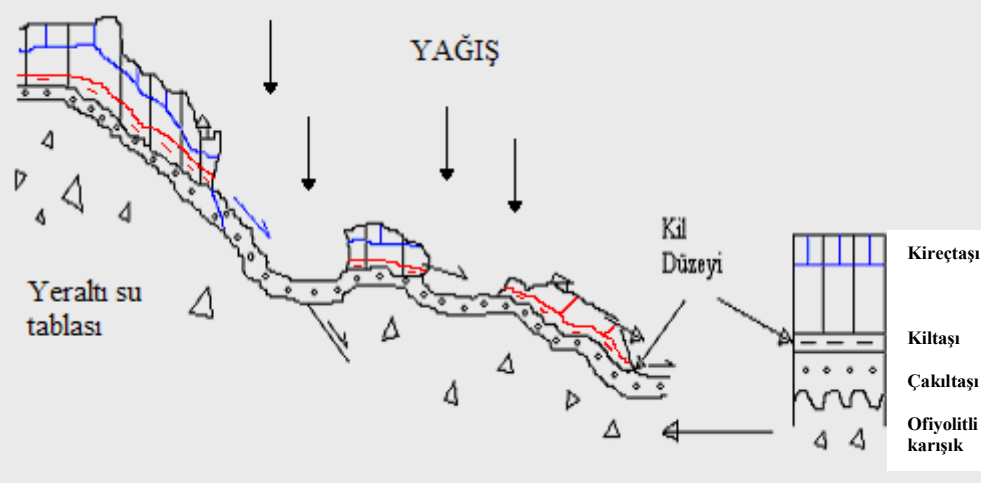


Şekil 8, Süreksizlik ile yamacın duraylılığı arasındaki ilişkiler

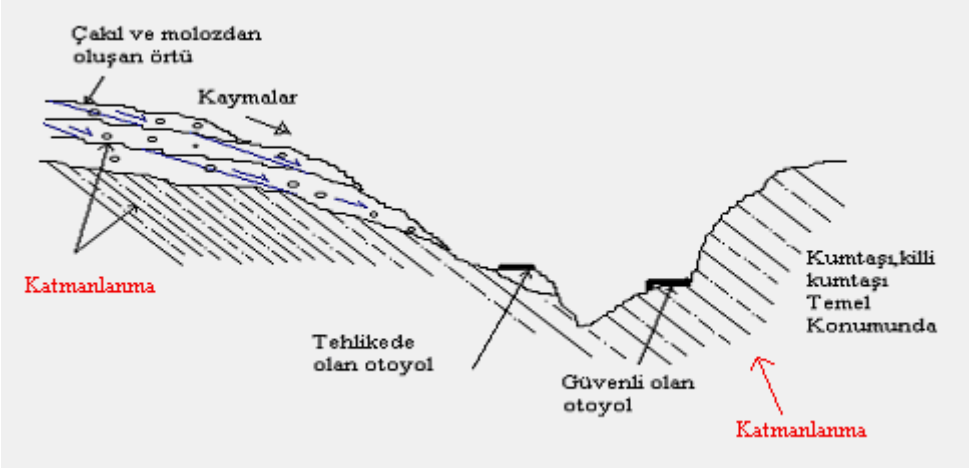
Su – süreksizlik – kil (SSK) üçlüsünün kaymalara etkisi

Kayatürleri, çeşitli süreksizlikleri içerir ve kendi yapısına uygun hidrojeolojik davranışlar gösterir. Örneğin bir kil katmanın, komşu kayalara göre çok farklı hidrojeolojik davranışlar gösterir ve kil katmanının alt ya da üst sınırı bir süreksizlik olarak işlem görür. İşte böyle durumlarda kil katmanı,

yağış ya da yeraltı su düzeyinin yükselmesiyle birlikte deformasyona uğrarken yamaç dışarı bir eğim kazanması durumunda, yamaç aşağı kaymaların meydana gelmesi kaçınılmaz olur (Şekil, 9). Kaymanın olduğu yamaç eteklerinde ise kesinlikle otoyol gibi çizgisel mühendislik yapıları yapılmamalıdır (Şekil, 10). Kaymanın olduğu yerlerde kayma topuğu üzerine yerleştirilen otoyollar asfaltlandıktan sonra da kaymadan etkilenmekte ve kısa sürede kullanılamaz hale gelmektedir.



Şekil 9. Ofiyolitli karışıktan oluşan bir temel üzerinde uyumsuzlukla yer alan ve bir kiltaşı düzeyini içeren istifte gelişen kaymalar. Tepedeki evlerin bir bölümü kil katmanı üzerinde kaymalara bağlı olarak yıkılmadan yamaç aşağı doğru hareket edebilir.



Şekil 10, Yamaçlar ile süreksizlikler arasındaki ilişkiler gözetilerek otoyol güzergâh seçimi yapılmalıdır.

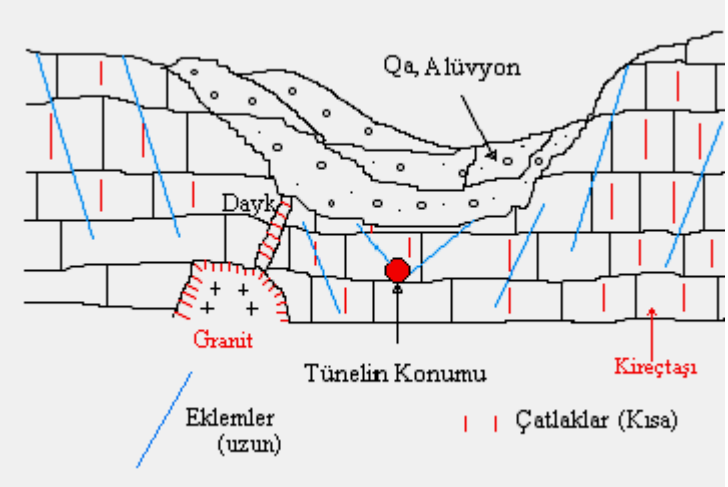
Eklemler, çatlaklar ve mineral yönelimleri ile suyun ilişkisi

Özellikle magmatik kayalarda gelişen bantlanma ve mineral yönelimleri, yer yer gelişen çatlak ve eklemler ile suyun ilişkileri irdelenerek jeolojik çalışmalar ile hidrojeolojik çalışmalar arasında bağlar kurulabilir.

Çatlaklar, dayk, sil ve lav akıntıları gibi yapıların soğuma yüzeyine, tortul kayalarda katmanlanmaya, metamorfik kayalarda ise yapraklanmaya yaklaşık dik olarak gelişir. Ne var ki buna aykırı durumlar da vardır.

Eklemler, ise iki ya da daha çok sayıda katmanı yada yapraklanmayı kesen, fayların yer değiştirme hareketi geçirmemiş aşaması olarak da değerlendirilebilir. Eklemler, eklemleri oluşturan kuvvetlerle olan ilişkilerine göre çekme (tansional), sıkıştırma (compressional) ve eşlenik (conjugate) olmak üzere sınıflandırılabilirler.

Bazen bir dayk üzerinde, kenardan daykın merkezine doğru gelişen soğuma çatlakları katmanlanmayı andırmaktadır. Yakından bakıldığında uzun eksenli – iğnenimsi minerallerin daykın duvarlarına dikey konumda olduğu görülebilir. Gerek çatlak ve eklemlerin konumları, gerekse minerallerin dizilimine ilişkin konumları, yamaçların duraysızlığı, yeraltı suyu ile ilişkiler mühendislik yapısı özelinde irdelenmelidir. Buna uygun olarak Şekil 11'de bir tünelin yapısal öğelerle ilişkisi ortaya konulmuştur. Buradaki verilerden yararlanılarak tünelin yer seçimi ve yağmur sularının nasıl uzaklaştırılmaları gerektiğine ilişkin önlemler belirlenmektedir.



Şekil 11. Kireçtaşı ve kireçtaşını kesen granitik bir kaya ve dayk boyunca gelişen eklem ve çatlakların tünele göre konumu.

Tünelin alüvyondan oluşan bir birim (Qa) içinde asla yapılmaması gerekir. Çünkü böyle bir durumda kaymalar nedeniyle yıkılabilir. Ayrıca sızan suların tüneli etkilememesi için eklem ve çatlaklardan yararlanarak suyun başka taraflara yönlendirilmesi zorunludur.

Su kirliliği, organik, inorganik ve biyolojik kirleticiler, kirleticilerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri, tarımda kullanılan pestisidlerin olumlu ve olumsuz etkileri, konuya dair yasal çerçevenin yetersizliği gibi konular yeterince bilinmektedir (Ibrahim, 2020). Ne var ki, insanoğlunun su kirliliğinde karşı karşıya olduğu risklere yönelik duyarlılığı henüz gelişmemiştir. Oysa durum çok vahimdir ve insanlık yaşamın kıyısındadır.

3- JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

Çevre jeolojisi-jeotekniği tasarımı jeoloji, hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi konularında derlenen verilerin ayrı ayrı kendi özel konumlarında değerlendirilip alt yapının oluşturulmasından sonra gerçekleştirilen bir tasarımdır. Bu tasarım, belirlenmiş tüm değişkenlerin (parametrelerin) üç boyutlu dağılımını içerir. Değişkenler de sahada ve laboratuarda yapılan gözlemler ya da deneylerin tüm sonuçlarını yansıtacak ayrıntıda olmalıdır. Jeoteknik tasarım, jeoloji, hidrojeoloji ve jeoteknik verileri arasında sağlıklı bir bağ kurmayı sağlayabilen nitelikler taşımalıdır.

Örneğin jeolojik çalışmalarda bir kayatürüne resifal kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, gölsel kireçtaşı ya da kaliş ve traverten gibi adlar verilebilir. Özde bu bir kayatürü adlandırmasıdır. Ne var ki yukarıda sunulan kaya türlerinin büyük bir bölümü kireçtaşı olup tümünün bileşimi $CaCO_3$'dir. Ancak bu kaya türlerinin oluşum biçimleri, hidrojeolojik davranışları ve jeotenik özellikleri farklıdır. Bu bağlamda, kaya türünün daha başlangıçta jeolojik çalışmalarda, doğru ve ayrıntılı bir tanımının yapılması jeoteknik açıdan niteliksel de olsa yadsınamayacak ön bilgiler sunmaktadır.

Her çalışmanın kendi özelindeki verileri tamamlanmadan bir sonraki aşamaya geçilmemelidir. İrdelenen değişkenlerin (parametrelerin) türü ve ayrıntıları, mühendislik yapılarının yer seçimi, zeminlerin genel durumu ve yapı türü konularındaki tercihlerimizi kolaylaştıracaktır. Gözlem ve deneylere dayalı sağlıklı veriler kullanılarak jeoteknik çalışmaların hacminde yadsınamaz azaltmalar yapılabilir. Bu konularda elbette deneyim ve öngörünün rolü büyüktür.

Jeoteknik bilgi ve öngörülere bazı örnekler:

1- Düz alandaki bozunmamış bir derinlik kayasında, örneğin granit, gabro ya da grano-diyorit gibi kayalarda 4 m' den daha derin kazılmış bir temel üzerine 20 katlı bir bina yapılabilir. Böyle bir durumda temelin (ya da zeminin) dayanımını (MPa) yada zeminin taşıma gücünü araştırmaya gerek yoktur. 20 katlı bir binanın böyle bir temele yapabileceği basınç 0,5 MPa' dan azdır. Ancak doğası gereği granit ve benzeri derinlik kayalarının taşıma gücü 1,5 MPa' nın üzerindedir.

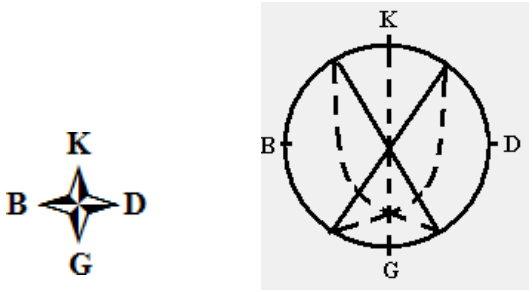
2- Duraylılık incelemelerinde ***süreksizliklerin*** konumu son derece önemlidir. Özellikle kiltaşı-çamurtaşı ardalanmasından oluşan istiflerde kaymalar için ***kalıt (residual) kayma dayanımına*** ilişkin değişkenler kullanılmalıdır. Kaymalar, yamaç dışarı eğimli ve düzlemsel birkaç mm kalınlığındaki bir süreksizlik tarafından bile olabilmektedir. ***Kayma*** (sliding), iki kütlenin teması kaybolmaksızın bir yüzey boyunca göreli olarak gerçekleşen yer değiştirmedir. ***Kalıt kayma*** ise herhangi bir kaymadan sonraki bir durumu ya da yeniden kaymaya yol açacak yeni bir durumu tanımlar.

Yol, kanal, boru hatları gibi çizgisel mühendislik yapılarının geçtiği Kuvaterner yaşlı alüviyal birimlere ilişkin kayma değişkenleri ortaya konulmalıdır. Böyle yerlerde doğal olarak dengeye ulaşmış bir kayanın ***güvenlik katsayısı*** (factor of safety) 1,0 olarak alınmalıdır. ***Güvenlik katsayısı***, bir yapının yada kazının ani yenilmeye (failure) karşı yapının / kazının duraylılığı ile ilgili indeks değeridir.

Kaymanın olduğu yerlerde özellikle kaymanın geometrisi ortaya konulmalıdır. Ondan sonra duraylılığı artırmak üzere önlemler alınmalıdır. Örneğin ***kayma topuğu üzerine yük koyarak duraylılık sağlanamaz.*** Böyle bir durumda topuk üzerine konulan yük kaymış olan kütlenin içindeki suyun geriye, yamaç yukarıya doğru devinimine yol açar. Bu da kaymanın daha da olağan hale gelmesine yol açar. Ayrıca düşme olasılığı olan kayaların yapay olarak düşürülmesi ve yamacın tel ağla örtülmesi gibi önlemler de alınarak ani kaymaların önüne geçilebilir.

Süreksizliklerin irdelenmesiyle, bunlardan hangilerinin kapalı (su içerir ancak iletmez) hangilerinin açık (su iletebilen) oldukları belirlenmelidir. Bu durum duvar, tavan ya da tabandaki sızıntı yerlerindeki yansımalarıyla kendini gösterir. Su sızıntılarının olduğu yerler genellikle iki ana süreksizliğin arakesitleridir (Şekil 12). Bu kesitlerde su rejiminin yanı sıra sıcaklık, iletkenlik, pH, toplam ergimiş

madde oranları kayıt edilmelidir. Bu veriler yağış grafikleri ile karşılaştırıldığında geçirimlilik, gözeneklilik, çözünme (dispersion), kimyasal dağılma (diffusion) ve çözünür maddeleri tutma (absorption-adsorption) gibi niteliklerin ortaya konulmasında yarar vardır.



Şekil 12, Sterogram ile eklem sistemlerinin ara kesitlerinin bulunması

3- Dikey, kalın katmanlı ve farklı taşıma gücünden oluşan bir ardışımda her düzeyin taşıma gücü ayrı ayrı belirlenip, YAPI böyle heterojen durumda olan temelin en zayıf kayatürüne (litolojisine) göre tasarlanmalıdır. Geniş alanda yer alan temellerin (mat foundation) farklı oturmalardan olumsuz yönde etkilendiği ve farklı oturmaların da büyük boyutlu sorunlara yol açtığı bilinmektedir. Böyle sorunlara sahip yapıların özellikle deprem bölgelerinde büyük hasarlara yol açtığı gözlenmiştir.
4- Toprak zeminlerde şişme özelliği taşıyan (smektit grubu) killerin egemen olduğu durumlarda geçirimlilik, taşıma gücü, kayma dayanımı, biçim-değişim modülleri ve benzeri değişkenlerin belirlenmesi, yağışlı mevsimlerin sonuna yani yeraltı suyu (YAS) tablasının en yüksek olduğu döneme kaydırılmalıdır. YAS tablasının mevsimlik değişimleri büyük boyutlu çökme ve kaymalara neden olmaktadır. Hesaplar en kötü koşullara göre yapılmalıdır.
5- Çevresindeki kayalara ve yapılara göre daha zayıf ve geçirimli olan (özellikle tektonik) kuşaklarda çizgisel mühendislik yapıları "en kısa uzunluk" esas alınarak geçirilmelidir. Buna göre diri bir faydan geçmesi gereken boru hattı ya da tünel, diri fayın uzanımına dik gelecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca bakışım gösteren dereler de göreli olarak çevrelerine göre zayıf olan yerler olup ***yapılar*** bu derelerin uzanımlarına dik gelecek şekilde kondurulmalıdır. Böyle yerlerde mühendislik dayanımı değişkenlerini sağlıklı belirlemek için yoğun çaba harcanmalıdır.

Jeoteknik çalışmalara yeni bir bakış

Yerin tanımlanması

Jeoteknik mühendisleri, bir zemini diğer zeminlerden ayırmak ve zeminleri sınıflandırmak üzere "indeks özellikleri" kullanır. Değişkenler, zeminlerin standart testlerle incelenmesiyle ortaya konulur. Ancak bu değişkenlerin, zeminin doğal davranışlarıyla doğrudan ilişkisi olmayabilir. Yerin doğal mekanik özellikleriyle davranışlarının analizi, jeomekaniğin konusudur. Mekanik özelliklerden mekanik değişkenleri üreterek mekanik olmayan Yer özelliklerinin analizini de yapmak ve buna göre yerin doğal performansını tanımlamak jeomakanik mühendislerinin konularıdır.

Tasarımın özü, değişen koşullara göre güvenli, duraylı bir dengeyi kurmaktır. Öncelikle Yeri tanımlayan tasarım değişkenlerinin analiz edilmesi gerekmektedir. En güvenilir sonuçlar, testlerin yere-özgü (in-situ) yapılmasıdır. Bu testlerin yapılması kuşkusuz pahalı bir işlemdir. Kapsamlı bir çalışma ile değişkenleri ortaya koymak yerine daha düşük boyutta bazı arazi ve laboratuvar testlerinin yapılması yoluna da gidilebilir. Yeraltındaki bazı katmanlardan laboratuvar testleri için örnekler alınması projenin maliyetini kuşkusuz arttıracaktır. Bunun için bazen sondajlar yerine deney çukurlarının açılıp kılavuz düzeylerin incelenmesi yoluna gidilebilir. Maliyeti düşürmek için elde edilen verilerden yararlanarak

dolaylı yorumlarla olası değişimi öngörmek yoluna gidilebilir. Ancak, bu tür yorumlarla doğrudan yapılan testlerin güvenirliliği sağlanamaz.

Yer (toprak/kaya) bloku, oluşum ve mekanik olarak kimyasal, mineralojik ve tane yönünde aynı özelliklere sahip sürekli olan gereçlerden (kireçtaşı bloğu) oluşur. Bloklarda, süreksizlikler izlenmez. Bu, en yalın biçimiyle bir mühendislik birimidir.

Yer (toprak/kaya) kütlesi, aynı kayatürü fasiyesinde ve aynı yaşta olan gereçlerdir. Fakat mekanik olarak sürekli değildir. Süreksizlikler yaygındır. Bloklara ayrılmış bir kil katmanı buna örnek olarak verilebilir. Bu da mühendislik açısından bir kayatürüdür.

Yer (toprak/kaya) birimleri aynı yaşta, ancak çeşitli kayatürlerine sahip zeminler olup çeşitli süreksizliklere de sahip oluşuklardır. Örneğin geniş bir alanda yer alan formasyonlar yer birimlerini temsil eder.

Mühendislik tasarımında yerin büyük kütlesini temsil eden değişkenler gözetilir. Eğer toprak/kaya değişkenleri, bloklardan ya da büyük kütlelerden alınmışsa, bu durum belirtilmeli ve güvenlik faktörünün buna göre hesap edildiği gözetilmelidir.

Tasarım değişkenleri (parametreleri)

Yeri oluşturan gereçlerin jeolojik olarak tanımlanan adı, bu kayaları yorumlayan kişilere birçok bilgiler sağlar. Örneğin iri taneli alüvyon ya da kumlu çakıllı akarsu çökelleri tekdüze olmayan bir kayatürü olarak tanımlanır. Bu birimleri ağırlıklı olarak kohezyonsuz gereçler olup makaslama dayanımı ve gerilimi düşük ve su iletkenliği yüksek kayalardır.

Jeomekanik ve jeoteknik laboratuar analizlerinde yeri oluşturan kayaların adı, yaşı, ya da kökeni hakkında bilgiye pek gereksinim yoktur. Burada mekanik ve hidrolik değişkenlere gereksinim duyulur. Bu değişkenler, çeşitli testlerle belirlenir. Bunun için tek eksenli ve 3 eksenli yük testi, doğrudan makaslama testi, geçirgenlik testi ve diğer testler kullanılır.

Böylece gereçlerin kohezyonu, iç sürtünme açısı, deformasyon modülü, poisson oranı, suyun geçirgenliği (suyun akıntı yönüne göre geçirgenliği), geçirgenliğin değişimi, boşluk oranı ve diğer mühendislik değişkenler tanımlanır.

Yük taşıma kapasitesi, suyun boşaltılması yöntemleri, pompalama miktarı, yamaç duraylılığı gibi özellikler de yukarıdaki değişkenlerden elde edilebilir. Bu değişkenler, deney çukurları ya da sondajlarla alınan örneklerin laboratuvarda incelenmesiyle elde edilebilir.

Bazı değişkenler, dolaylı çalışmalardan da sağlanabilir. Örneğin, kimi test programları, kayaların indeks özellikleri ve mekanik davranışlarına göre kurulmuştur. Böyle bir durumda, değişkenler, indeks özelliklerden sağlanabilir. Makaslama değişkenleri ve geçirgenlik katsayıları da aynı biçimde tanımlanabilir. Ancak bu tür değişkenlerin güvenilirliği sınırlıdır.

Tasarım değişkenlerinin bazıları, sondajlarla elde edilen örneklerden sağlanabilir. Örneğin CPT (Cone Penetration Test), SPT (Standart Penetration Test), FVT (Field Vane Test-yani Kanatlı Kesici Testi), çeşitli basınçölçer testler sondajlarla elde edilen örneklere uyarlayarak bilgi sağlanabilir. Bu yöntemler, yani tasarım değişkenlerinin belirlenmesi, deneyimler arttıkça daha çok gelişecektir.

İndeks özellikleri iki türdür. Zeminin tane özellikleri (boyut, şekil ve kimyasal birleşim) ve zeminin agregat özellikleri (kuru, yoğunluk, nem içeriği ve kıvamlılık limitleri). İlk tür indeks özellikler, kum ve çakılları temsil eden kohezyonsuz topraklar için önemlidir. Doğrudan testlerde, örneğin boyutu son derece önemlidir. Elde edilen zemin değişkenleri testte kullanılan örneğin boyutu, büyüklüğü ve dokusuna göre değişir. Kapsamlı testler ve büyük boyutlu laboratuvar testleri, küçük ölçekli

laboratuvar testlerine göre farklı sonuçlar yaratabilir. Bunun nedenlerinden biri de büyük boyutlu örneklerde süreksizliklerin de yer almasıdır.

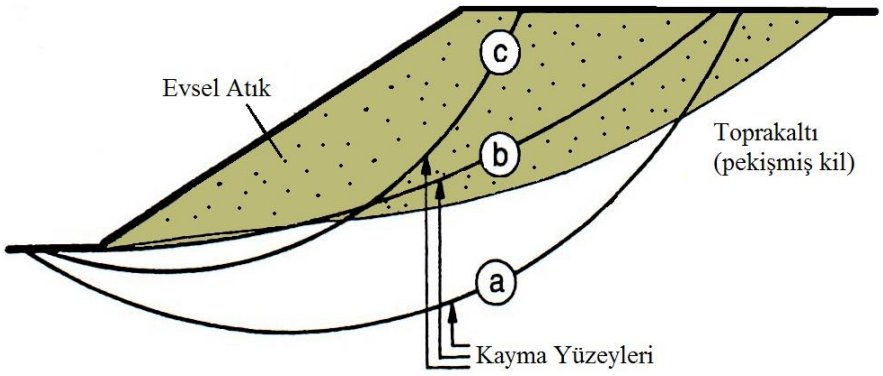
Suyla doymuş gözenekli gereçlerin analizi özel bir konudur. Çünkü gerilimin gereçlere ilişkin davranışı ile gözenek suyundaki davranışı aynı değildir. Gözeneklerdeki suyun meydana getirdiği gerilme, nötral bir gerilme olup gözenekli gerecin makaslama kapasitesinin arttırmaz. Oysa kaya kütlesindeki gerilme, etkin bir gerilme olup makaslama dayanımını arttırabilir. Bu olgu, zeminlerde çok önemli olup yüksek sıkışma ve düşük makaslama dayanımına sahip kayalarda daha belirgin olabilir. Nötral gerilme, gözenekli su hareketi ile ilişkili olup zeminin geçirgenliği ile bağlantılıdır. Geçici bir yük nedeniyle nötral gerilmedeki ani bir artış makaslama dayanımında büyük bir kayba yol açabilir. Bu da çökmeye yol açar. Çeşitli durumlarda jeoteknik ve jeomekanik analizler, yapıların analizi ile birlikte değerlendirilir.

Bazı yasalar ve kurallar

Jeoteknik çalışmalarda, (Coulomb, Darcy ve Hook yasaları gibi) yasalara ve (Terzaghi'nin filtre kuralı, Hiley'nin dinamik formülü gibi) kurallara dayalı matematiksel ilişkilere sıkça başvurulmaktadır. Ancak bu matematiksel ilişkiler, doğa yasaların sonucu olmayıp, sadece gözlenen olayların bir ürünü olarak değerlendirilmelidir. Örneğin, Coulomb yasası bile doğal yer gereçlerine uygulanan son derece yalın, ancak kesin olmayan bir yasadır.

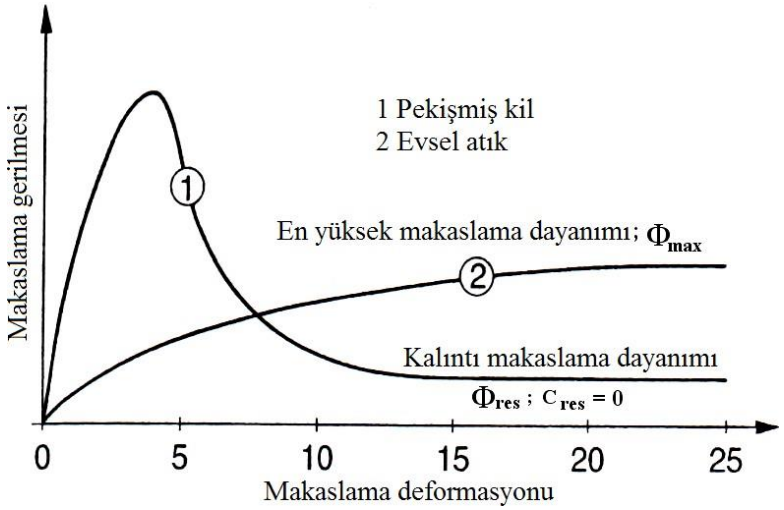
Bu yasada belirtildiği gibi, yenilme, her zaman çizgisel olmayıp bir eğri biçiminde de olabilir. Ancak bu eğri, zemin ve kaya kütlelerinin kohezyonunun ve iç sürtünme açısının tahmin edilmesinde çoğu kez çizgisel bir yapı olarak kabul edilmektedir. Söz konusu değişkenler, gerilme durumlarına bağlı olup sabit değerler değildir. Mohr dairesi mekanik ilişkilerin yorumunda kullanılmaktadır. Örneğin zemin ve kaya kütlelerinin iç sürtünme açısı (ya da sürtünme açısı tanjantı) ve kohezyonu, çizgisel makaslama değişkenleri olarak kullanılabilir.

Doğal gereçlerle yapay gereçlerin davranışları arasında bazı farklılıklar vardır. Bu da atık deponi alanlarının duraylılık analizleri için gözetilebilir. Şekil 13'de bir deponi alanının enine kesiti görülmektedir. Noktalı olan alan atık gereçleri temsil etmektedir. Noktalı olmayan alan ise doğal zemini göstermektedir. Duraylılık analizlerinde a, b, c olarak belirtilen dairesel kayma yüzeylerindeki çeşitli kayma yapıları gözetilmelidir.



Şekil 13. Bir deponi alanında pekişmiş kil ve evsel atıklardan geçen dairesel kayma yüzeylerinin görünümü (Brandl 1995b).

Atık gereçlerin makaslama dayanımı Şekil 14'de, 2 no'lu çizgi ile doğal zeminin kayma dayanımı ise 1 no'lu çizgi ile temsil edilmektedir. Kayma kütlesinin yer değiştirmesi her iki tür gereçte de başlangıçta benzerdir. Sadece doğal zeminin kalıntı makaslama dayanımı, atık gereçteki makaslama dayanımı maksimum olduğunda kullanılabilir. Bu yapı kritik kayma yüzeyi bulunduğunda, duraylılık analizlerinde gözetilmelidir (Brandl 1995b). Atık gerecin sıkışması ise, ayrıca makaslama dayanımını artırabilir.



Şekil 14. Pekişmiş kil ve evsel atığın makaslama gerilmesi ve makaslama dayanımı ilişkileri (Barndl, 1995b).

Çevre jeotekniğinde yeni yönelimler

Çevre jeotekniğinin mekanik ve jeomekanik alanları uzun bir süreden beri gelişme aşamasındadır. Atık uzaklaştırma, kirlilik denetimi ve onarımla ilgili alanlarda çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir.

Çevre korumaya yönelik gelişme sahaları

Eğitimin gelişmesi

Doğa bilimlerinin öğrenilmesi gelecek kuşakların doğayı anlamasında bir temel oluşturacaktır. Eğitimin tüm aşamaları, doğa bilimlerinin öğrenilmesine de yardımcı olmalıdır.

Yasal çerçevenin uygulanması

Yasal sistem, çoğu ülkelerde bir hayli ayrıntılıdır. Özellikle çevre sorunlarında yasama hızlı gelişmektedir. Mühendisler, genellikle yeni gelişen kurallar ve standartlar konusunda yeterince bilgilendirilmemektedir. Oysa yasa çerçeve de bu alanda önemli bir yere sahiptir.

Jeosentetiklerin dayanımlılığı

Yapay gereçlerin kullanıldığı sanayide kazanılan deneyimler, olası tüm sorunları öngörmemiz için yeterli değildir. Sanayide yapılan çalışmalar çeşitli jeosentetiklerin performansını geliştirme konusundaki çabaları geliştirmektedir. Dayanımlılık ve ürünlerin kimyasal ve biyolojik duraylılığı önemli araştırma konularıdır.

Yeraltı yapıları

Yeraltındaki boşlukların ve mağaraların kullanımı ile ilgili çalışmalar artmaktadır. Yeraltında depolama amacıyla ya da ulaşım için yapılan çalışmalar yeryüzünün de korunmasını sağlar. Ancak yeraltı yapılarında daha fazla enerjiye gereksinim vardır. Yeraltı yapılarının tasarımı, yeraltı koşulları ile Yer'in davranışı arasındaki etkileşim gözetilerek yapılır. Yeraltı inşaatlarında özellikle yeraltı sularının durumu son derece önemlidir.

Diğer önemli gelişme sahaları

Kirleticilerin uzaklaştırılması

Tehlikeli atıkları uzaklaştırmak ya da bunları yeniden kullanmak ve kirleticilerin zararlı etkilerinden korunmak, ana gelişme konularıdır.

Bitki örtüsü uygulamaları

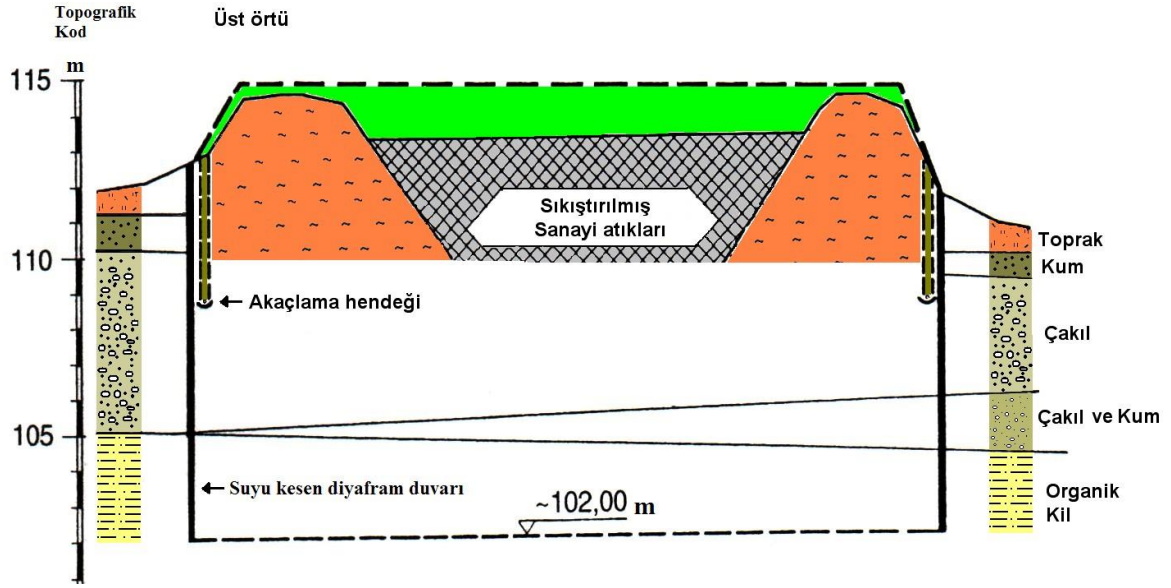
Bitki örtüsü, toprağın doğal dengesinin önemli bir parçasını temsil eder. Ayrıca bitki örtüsü, aşınmanın (erozyonun) denetimde de bir çözüm olarak kullanılan en önemli unsurdur.

Doğanın ileri matematiksel modelleri

Bilgisayar analizleri önemli ölçüde yararlı sonuçlar vermektedir. Bilgisayara verilen bilgi, oldukça karmaşık olan sorunları çözmeye yardım eder. Yeni matematiksel yöntemlerin uygulanması, enerji ile ulaşım süreçlerinin analizi ve modellemesi, toprakla ilgili testlerin istatistiksel analizi konularında elde edilen bilgilerin yapılan tasarımları daha güvenilir konuma getirdiğine inanılmaktadır. Şimdilik bilgisayar analizlerinin en önemli dar boğazı sayısal analizler için güvenilir tasarım değişkenlerinin belirlenmesidir. Bilgisayar programlarının güvenirliliği, girdi olarak kullanılan verilerin güvenilirliğine bağlıdır. Analizlerin doğruluğu genellikle programın türüne bağlı değildir. Girdi olarak yer alan verilerin yeterli düzeyde olmaması, sonuçları etkiler. Yapılan çalışmalar, tasarım için doğruluğu tartışma götürmeyen değişkenlerin gözetilmesi yönünde yoğunlaşmaktadır. Değişkenlerin seçimi ve modelleme, anahtar konulardır.

Bir örnek: Kuru gömme (drydep) tekniği

Geçmişte Macaristan'da tehlikeli atıkların büyük bir bölümü, genel olarak tesislerin dolayında depolanmıştır. Atıklar yerin içine basit bir biçimde enjekte edilmiş ya da katı gereçler çeşitli araçlarla taşınıp gelişigüzel yerlere boşaltılmıştır. Bu gibi deponi yerleri, 1900'lü yılların başından, 1930'lu yıllar ve 1950'li yıllarda sürekli olarak kullanılmıştır. Günümüzde atıkların uzaklaştırılması ile ilgili çalışmalar daha iyi bir düzeyde sürdürülmektedir. Eski deponi yerlerini de denetim altına almak için çaba harcanmaktadır. Kuru gömme tekniği ile ilgili uygulamalar son zamanlarda benimsenmektedir. Bu yöntemin ana ilkesi toplanmış olan atığın çözünmesine meydan vermeden kuru olarak uzaklaştırılmasıdır (Şekil 15).

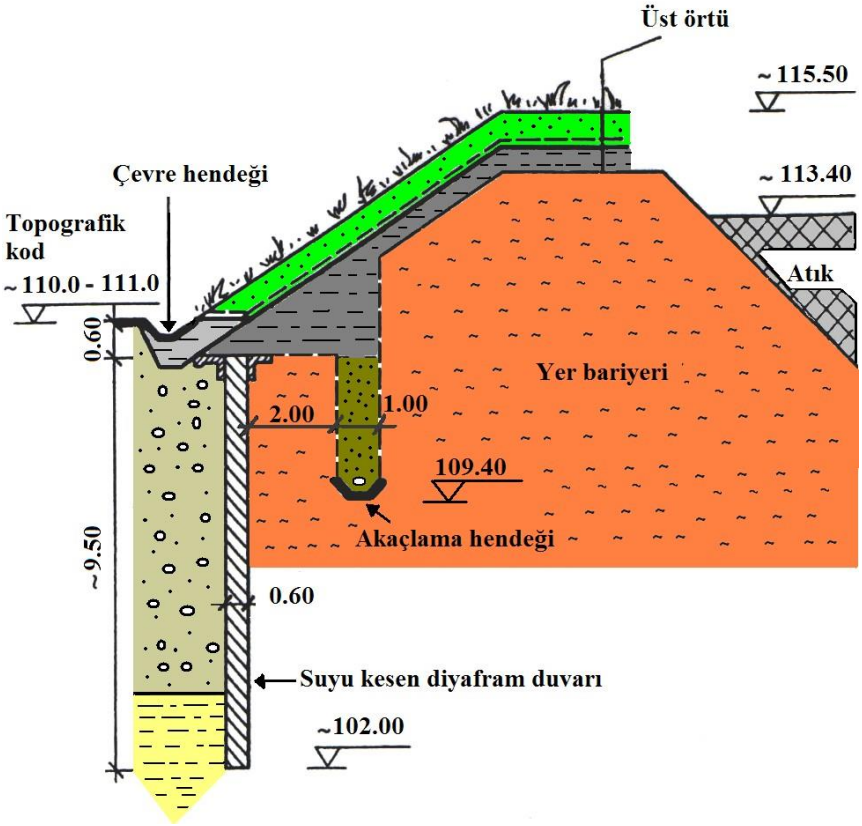


Şekil 15. Sanayi atığının yer aldığı bir deponi alanının enine kesiti. Kuru gömme (DRYDEP) tekniğinin en önemli yapıları görülmektedir (Greschick ve Gâlos, 1998).

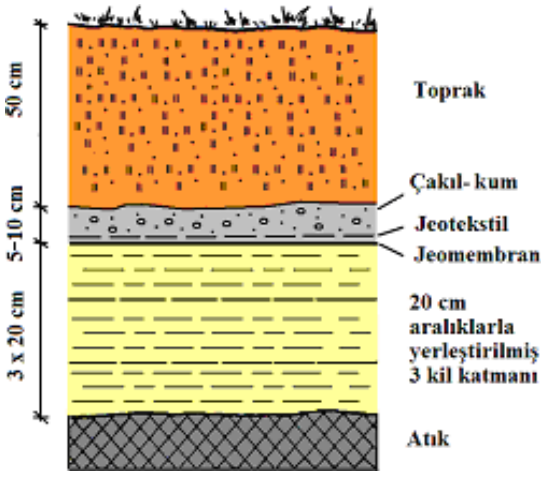
Ayrıca bu yöntemde deponi yerlerinin kenarları, suyu geçirmeyen ya da suyu kesen diyafram duvarları çevrilmekte ve uygun bir örtü ile örtülmektedir Örtü alttan üste doğru başlıca sıkıştırılmış kil katmanlarından, HDPE jeomembran, jeotekstil, çakıl-kum ve en üste topraktan oluşur (Şekil 16 ve 17).

Örtüden süzülen sular çevre akaçlama hendeğine ulaşır (Şekil 15) Çevre hendeğinin yanında ve deponi alanı tarafında, su geçirmeyen bir diyafram yer alır (Şekil 15 ve 16). Bu diyafram, atıkların ve atıklara ait sızıntı sularının yan kayalarla ve daha alttaki katmanlarla olan ilişkisini kesmektedir. Ortalama 9,5m derinliğindeki diyafram en alta kil katmanı ile sınırlıdır. Diyafram duvarının iç tarafındaki akaçlama hendeğinin kullanılmasını da öngören bu tasarım, yeraltı su düzeyini atıklardan süzülen sulardan korur.

Akaçlama sistemini tabanındaki ya da bunun dış tarafındaki yeraltı su düzeyleri yılın birkaç haftasında yükselebilir. Ancak, akaçlama hendeğinde biriken su, arıtma tesisine pompalanır ve orada da arıtılır. Deponi alanına yeraltı su düzeyini ve deponi alanı sızıntı sularının kimyasal bileşimi izlemek ve denetlemek üzere bir bilgisayarlı monitör sistemini tasarlamak ve yerleştirmek gerekmektedir.



Şekil 16. Bir deponi alanında çevre hendeği, akaçlama hendeği ve suyu kesen diyafram duvarını kesen enine kesiti (Greschick ve Gâlos, 1998).



Şekil 17. Örtü gerecinin katmanlarını gösteren kesit (Greschick ve Gâlos, 1998).

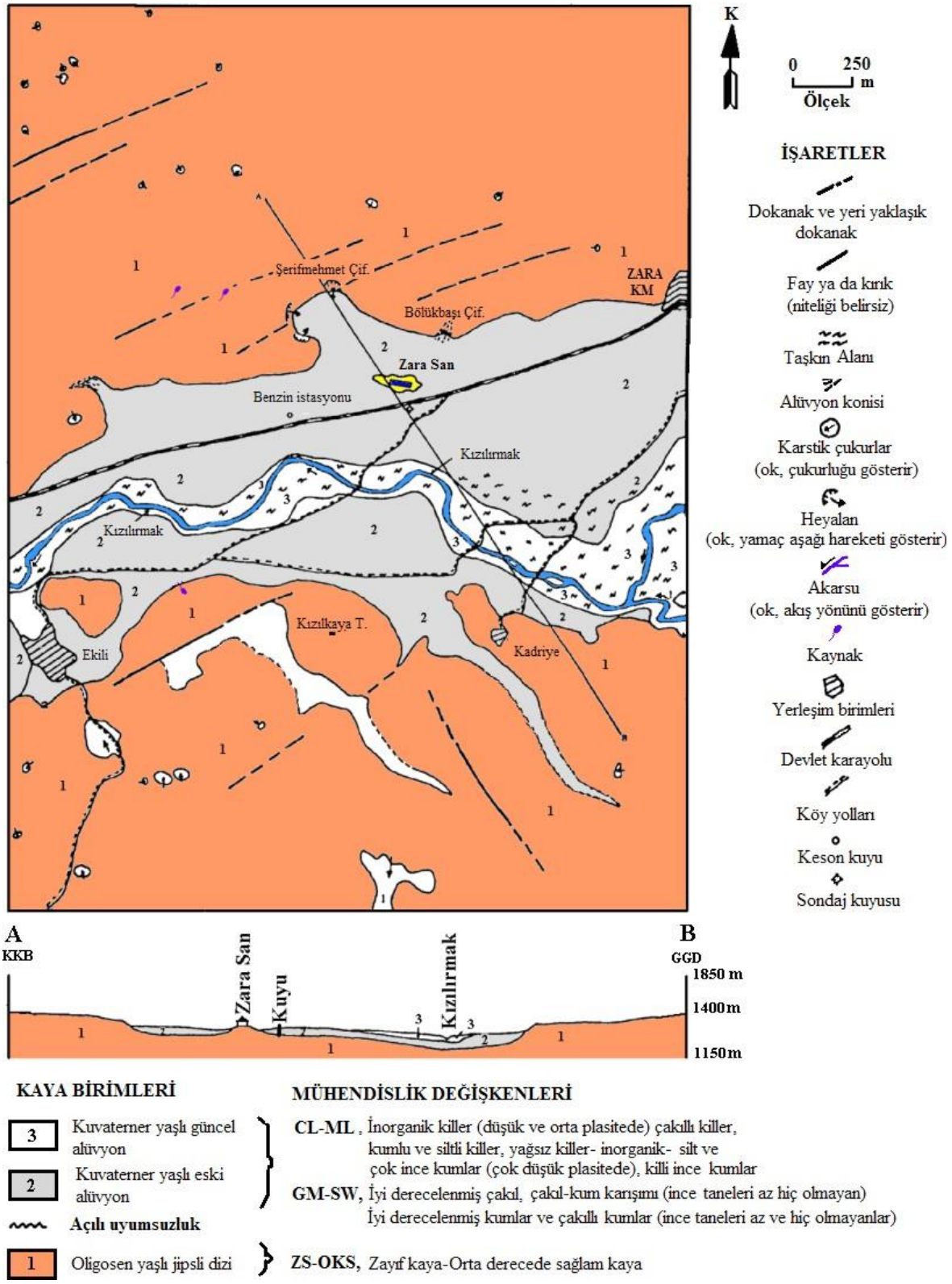
4- DİĞER MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI

Mühendislik çalışmaları, jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik veriler ışığında yapılan çalışmaların üzerine konuya özgü diğer mühendislik verilerinin eklenmesiyle ulaşılan bir birikimdir. Böylece jeolojik verilerle mühendislik verileri karşılaştırılabilir. Bu çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için aşağıda sunulan konulara açıklık getirilmelidir:

1- İncelenen alanda yer alan kaya ve toprak zeminlerin tanımlanarak sınıflandırılması, yayılımlarının ve ilişkilerinin ortaya konularak harita, şekil ve dikme ya da enine kesitlerle sunulması,
Mühendislik çalışmalarının sonucu olarak ortaya konulan veriler, mühendislik jeolojisi haritalarına aktarılır. Böyle bir harita örneği Şekil 18' de görülmektedir. Bu harita incelendiğinde jeolojik kaya birimlerinin her birinin hangi mühendislik değişkenlerine karşılık geldiği kolaylıkla anlaşılmaktadır. Enine kesitlerin, mühendislik haritası ile birlikte sunulması, bölgenin daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırır.

2- Yapısal unsurların ve hidrojeolojik verilerin mühendislik yapısı ile ilişkilerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi ve bu bağlamda dalımlı olan kıvrım çukur (syncline), kıvrım tepe (anticline) ve süreksizliklerin özel olarak alt kümelere ayrılarak harita ve kesitlerde mühendislik yapısı ile olan ilişkilerinin ortaya konulması,
Bu süreçte derlenen veriler arasındaki ilişkilerin daha anlamlı ve iyi bir biçimde görülmesi için küçük ölçekli (1/500, 1/1000 ölçekli) haritalar üretilir. Haritaların üzerinde gösterilmeyen ayrıntılar ise yazılı açıklamalarla belirtilir. Örneğin, bir fikir vermesi için kayatürleri, yapısal unsurlar ve tünel arasındaki ilişkiler, yukarıda Şekil 11'de sunulmuştur.

3- Kaya ve toprak zeminlere ilişkin fiziksel dayanımlılık, yerinde gerilmeler (in-situ stresses) ve şekil-değişim modüllerine ilişkin değişkenlerin belirlenmesi,



Şekil 18, Jeoloji ve mühendislik jeolojisine ait genel bir örnek: Sivas'ın Zara ilçesi Zara-San dolayının 1/25000 ölçekli jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası ve enine kesiti (Yılmaz ve diğerleri, 2002).

Yerinde gerilmeler (in-situ stresses)

Özellikle diri fay kuşaklarında yeraltı kazıları yapıldığında yöreyi etkileyen tektonik kuvvetlerin yerinde gerilmeler üzerindeki etkileri de değerlendirilmeye alınmalıdır. Gerilme, birim alanı etkileyen vektörel kuvvettir. Yerinde gerilmeler, toprak zemin ya da kayaların farklı doğrultulardaki gerilmeler altında, değişik yönlerdeki deformasyonlarının belirlenmesi ilkelerine dayanır. Bunun için standartlara uygun olarak, temel ya da zeminlerin basınç dayanımı ve kayma parametrelerini yerinde belirlemek üzere arazide ya da laboratuarda çeşitli deneyler yapılır.

Bu amaçla başlıca standart Penetrasyon deneyi, Presiyometre deneyi, Kanatlı kesici deneyi ya da Plaka yükleme deneyi uygulamaları yapılmaktadır. Ayrıca ***Kompresibilite*** (ya da ***Bulk***) ***modülü*** (K) ve ***Yer Basınç Katsayısı*** (K_0) belirlenir. Kompresibilite (ya da Bulk) modülü, hidrostatik gerilimler altında bir cismin hacminde meydana gelen değişimi tanımlayan parametredir. Basınç ise birim alanı etkileyen yüktür.

Şekil-değişim modülleri (Deformation modulus)

Önemli şekil-değişim modülleri, elastisite modülü ve Poisson oranı ile ifade edilmektedir. ***Elastisite (elasticity)*** herhangi bir cismin üzerinde uygulanmakta olan yük kaldırıldığı zaman o cismin orijinal şeklini kazanması özelliğidir. ***Elastisite (Young) modülü*** (E) ise söz konusu özelliğin boyutlandırılması olarak tanımlanır. Yani elastik sınırları içinde bir cisme uygulanan gerilimin birim deformasyona oranı olup, mekanik anlamda cisimlerin katılığının ya da sertliğinin bir göstergesidir.

Poisson Oranı (Poisson ratio); Bir cisme uygulanan gerilim yönüne dik yönde gelişen birim deformasyonun, uygulanan gerilim yönündeki birim deformasyona oranıdır. Mühendislik parametreleri, kayatürleriyle ilgili dayanımlılık hakkında bir fikir verirler. Bu parametrelerin bilinmesi yer seçimini de kolaylaştırır.

Mühendisliğin bazı araçları:

Yeraltı modifikasyonun türleri

Modifikasyon, Yer'in ya da bir gerecin özelliklerini değiştirme işlemidir. Bir projenin uygulanmasında çeşitli güçlüklerle karşılaşıldığında Yer'in özellikleri araştırılır ve olası mühendislik çözümleri değerlendirilir (Hausman 1990). Bu yaklaşımlar; 1) Sadece bir yer ile yetinmeme 2) Yere özgü projenin tasarımı, 3) Uygun olmayan zeminlerden kaçınma, 4) Var olan zeminin niteliklerini değiştirme, olarak sıralanabilir.

Bu son seçenek, çevre jeotekniği kapsamında ayrıntılı olarak irdelenecektir. Atık deponi yerleri için en uygun yer bile zeminde gerekli değişikliği yapmadan kullanılmayabilir. Öte yandan, herhangi bir kirlilik ortaya çıktığında, bu kirlilik kolaylıkla bertaraf edilemeyebilir. Dolayısıyla yerin niteliklerini gözden geçirmek zorunludur. Aşağıda mühendislik tasarımında kullanılan yerin modifikasyonu ile ilgili bazı örnekler sunulmuştur.

Mekanik modifikasyon

Toprağın yoğunluğu, toprağı çeşitli araçlarla sıkıştırarak arttırılabilir. Bunun için kısa süreli dış kuvvetler uygulanır. Ya yüzeyde ağırlık uygulayarak ya da derin yüzeylere titreşimler göndererek (dinamik yada hidro-mekanik) sıkıştırma gerçekleştirilir. Böylece birim hacim ağırlık artar ve toprağın geçirimliliği azalır. Fakat toprağın birleşiminde herhangi bir değişiklik olmaz.

Hidrolik modifikasyon

Akaçlama ya da kuyular aracılıyla toprağın serbest gözenek suyu bertaraf edilebilir. İri taneli zeminlerde bu işlem, yeraltı su düzeyini akaçlama ile boşaltarak gerçekleştirebilir. İnce taneli zeminlerde ise çeşitli yüklerin uzun süre uygulanması ya da elektriksel kuvvetlerin uygulanmasıyla gözenek suyu uzaklaştırılabilir. Dikey borularla suyun boşatılmasıyla sızıntı suyu denetimi mümkündür. Zeminin hacim ağırlığı böylece artar. Serbest gözenek suyu uzaklaşır. Fakat toprağın katı bölümünün birleşimi değişmez. Keson kuyu ve tünel gibi yeraltı tekniklerinin kullanılması sızıntı sularının denetimi

için gereklidir. Fakat yerin modifikasyonu için gerekli değildir. Zeminde sıkışan hava, topraktan çıkar. Bu da yerin modifikasyonunu sağlar.

Fiziksel ve kimyasal modifikasyon

Yüzeydeki ya da derindeki katmanlara çeşitli katkı maddelerinin eklenmesiyle oluşturulan bir modifikasyondur. Katkı maddeleri zeminle ya da birbiriyle reaksiyona girer. Zeminler de sanayinin yan ürünleri ya da atık gereçler çimentolu kimyasallar içerir. Bu katkı maddeleri basınç altında sondajlarla yere enjekte edilir. Bu süreç, şerbetleme (grouting) olarak tanımlanır. Isı kullanarak zeminin belli bir dengeye ulaşması termal modifikasyon olarak değerlendirilir. Isıtma ile su buharlaşır. Bu da toprağın mineral yapısında bir değişime yol açar. Donma ise su ile gereç partikküllerini tümüyle katılaştırır. Bu da bir tür termal arıtma, şerbetleme ya da elektriksel (düşük ya da yüksek sıcaklık) termal modifikasyon biçimidir.

Ayrıca yerin kimyasal ve mineralojik bileşimi katkı maddeleriyle değiştirilebilir. Örneğin, tünellerde su sızıntılarını önlemek üzere kimi zaman kimyasal enjeksiyon gerekmektedir. Kimyasal enjeksiyon ile tünele gelmesi olası basınçlı ya da yüksek debili suların kısa bir sürede azaltılabilir ya da engellenebilir. Bu değişim, fiziko-kimyasal süreçlerle gerçekleştirilmektedir.

Katkı maddelerinin uygulanması ve/yada sınırlandırılması

Lifler, şeritler, çubuklar ve ağlarla zeminin güçlendirilmesi, gerilme dayanımını arttırır. Yerli-yerinde (in-situ) güçlendirme; halatlar, kaya sürgüler ya da çeşitli gereçlerin katkısıyla sağlanabilir. Toprağa yerleştirilmiş olan jeomebranlar, yaygı biçimindeki örtüler ve ara duvarlar, geçirgen olmayan bariyerler olarak kullanılabilir. Sürgü halinde yerleştirilmiş örtüler, toprağa başka gereçlerin katılmasıyla ve sıkıştırılmasıyla oluşan bir perde olarak tanımlanabilir. Bu örtülerle yerin makaslama dayanımlılığı arttırılabilir. Ayrıca yerin deformasyon modülü ve makaslama dayanımı, uygun gereçlerin yapıya katılmasıyla arttırılabilir. Herhangi bir katmana yükleme ile güçlendirme ya da daha derindeki bir yere yapılan katkı ile zeminlerin, güçlendirilmesi her zaman için yerin modifikasyonu olarak kabul edilebilir.

Modifikasyonda etkinin süresi

Modifiye yapıların dayanma süresi değişkendir. Bu zaman aralığı amaca göre düzenlenebilir. Buna göre temel modifikasyonu için üç seçenek düşünülebilir.

1. Bir anlık geçici kullanım; inşaatın kısa bir evresi için geçerli olup, buna tünellerin girişindeki ön direklerin birkaç saatliğine kullanılması örnek verilebilir.
2. Sınırlı, geçici bir kullanım; çoğunlukla inşaat dönemi için öngörülebilir. Örneğin yeraltı suyunun birkaç hafta ya da aylık süre ile boşaltılması ve zeminin bu zaman aralığında dondurulması örnek verilebilir.
3. Tüm proje süresince sürekli kullanım; örneğin derinde sıkıştırma, şerbetleme zemin duraylılığının sağlanması, jeotekstiller, birkaç on yıl için kullanılan halatlar örnek olarak verilebilir.

Yeraltı modifikasyonunda bazı yönelimler

Yeni makineler ve araçlar

Etkili ve özel amaçlar için kullanılan ekipmanlar giderek gelişmektedir. Bu gelişme alanları, otomatik olarak çalışan akıllı robotlar ve verimliliği arttıran ve denetimi sağlanan araçlar, laser denetimli araçlar ve bilgisayarlar, Coğrafi Bilgi sistemi (CBS) gibi denetimli araçlardır.

Yeni inşaat gereçleri

Kimyasal aşınmaya karşı dayanıklı özel gereçler ve ürünler giderek artmaktadır. Kimyasal aşınmaya karşı dayanıklı olan karbon içerikli gereçler çeliğin yerini almaktadır. Ayrıca yapay ürünler, cam elyafından üretilen güçlendirilmiş gereçler yaygındır.

Mikrobiyolojik yöntemler

Mikroorganizmalar kullanarak kirliliğin bertaraf edilmesinde cesaret verici sonuçlar elde edilmiştir. Bu konuda çözünen kirleticilerin buharlaştırılması ve organik kirleticilerin örneğin hidrokarbonların kimyasal yolla uzaklaştırılması gelişme aşamasındadır.

Ozmotik membranlar

Yeni geçirgen membranlarla büyük moleküllü kirleticilerin uzaklaştırılması ve bu tür membranların yeraltına yerleştirilerek uygulanması araştırma konuları arasındadır.

Yeni gözlemler ve denetim teknikleri

Yerin modifikasyonu ve duraylılık üzerindeki etkisi inşaat sırasında değerlendirilebilir. Deformasyon ölçümleriyle (basınç, kuvvet ve inşaat makinelerinin çeşitli amaçlarla uygulanmasıyla) elde edilen değişkenler, karar vermeye kolaylık sağlar.

Bilgisayar modelleme teknikleri

Aslında toprağı ve kaya kütlelerini güçlendiren katkı maddelerinin mekanik ve sayısal modellemesi ile ilgili çalışmalar da gelişme aşamasındadır.

İnşaat yöntemleri

Gözlemlere dayalı inşaat yöntemleriyle, oldukça pahalı olan zemin araştırma programlarından ve bir tasarımın gerçekleştirilmesiyle elde edilen verilerden daha sağlıklı bilgileri sağlamak mümkündür. Bu konuda çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bir inşaatın yapılması sırasında birkaç seçenek aynı tasarım içinde değerlendirilebilir. Seçenekler, inşaatta kullanılan kimi gereçlerin sıklığı ve kalınlığı konusunda yoğunlaşır. Örneğin bir tünel duvarının kalınlığı, yapıda kullanılan çubukların sıklığı ve sistemin yapısı yönüyle düşünülebilir. Bu seçenekler, zemin koşulları ile beraber değerlendirilmeli ve inşaat sırasında gözlenmiş olan her seçenek için göz önüne alınmalıdır.

5- BİRLEŞTİRME (ENTEGRASYON)

Yukarıda sunulduğu gibi jeolojik, hidrolik ve hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer mühendisliğe özgü veri setlerinin her biri önemlidir. Ancak bu veri setlerinin entegrasyonu gerekmektedir. Entegrasyon için çeşitli yöntemler denenmektedir. Örneğin, kentsel planlama için May ve diğerleri (2010); deponi alanları yer seçimi için Ghazifard ve diğerler (2018) tarafından yapılan çalışmalar yol göstericidir.

May ve diğerlerine (2010) göre çalışmanın ilk evresinde CBS temelinde kentsel planlamaya özgü değişkenleri içeren tematik katmanlar oluşturulur. Kentsel planlamada: (1) kayatürü, (2) topografya, (3) eğim, (4) sismotektonik, (5) sıvılaşma, (6) taşkın duyarlılığı, (7) su tablası derinliği gibi tematik konulara özgü değişkenler seçilmektedir. Her konuya özgü değişkenlere dair verileri entegre eden tematik haritalar oluşturulur. Oluşturulan tematik haritalar üst üste koyularak çok ölçütlü (kriterli) analize dayalı nihai harita hazırlanır. Çalışmanın ikinci aşamasında yapılan nihai harita gözetilerek imar haritaları üretilir.

Ghazifard ve diğerlerine (2018) göre deponi alanı yer seçimi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmalıdır. Yer seçiminde CBS temelinde haritalar esas alınır. AHS çevresel, çevre jeolojisi ve jeoteknik, toprak kalitesi, hidrolojik ve hidrojeolojik, iklimsel, sosyal ve ekonomik faktörler içermektedir. Bu faktörler gözetilerek CBS temelinde AHS açısından uygunluk işlenir.

Yer seçimi ölçütleri ise başlıca, toprak kalitesi, iklim ve günlenme durumu, jeolojik konum, hidrolojik ve hidrojeolojik koşullar, kent planlaması, çevresel durum, çevre jeolojisi ve jeoteknik veriler olarak sıralanabilir. Her ölçüte karşılık gelen değişkenler vardır. Örneğin toprak kalitesi fiziksel, kimyasal, mineralojik ve geçirgenlik gibi değişkenlerle tanımlanır. Sonuç olarak yer seçimi için (ÇKKV)

setlerine dayalı tematik haritalar hazırlanır. Bu haritalar üst üste koyularak deponi alanına uygun nihai harita üretilir. Böylesi nihai bir haritada deponi alanına uygun yerler kolaylıkla tanımlanabilir.

Yukarıda sunulan güncel çalışmalara göre, temel olarak CBS alınmalı ve jeolojik, hidrolik ve hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer konuya özgü mühendislik veri setlerinin birleştirilmesi (entegre edilmesi) ve uygulanabilir nihai bir haritanın hazırlanması esastır.

6- ÇED UYGULAMALARINA UYARLAMA

Çeşitli veri setlerinin birleştirilmesi işlemine ÇED uygulamalarında 'Örtmeler Yöntemi' de denilmektedir. Örtmeler yöntemi sonucu elde edilen nihai harita CBS, AHS ve ÇKKV yöntemleri gözetilerek hazırlanmışsa ÇED uygulamalarında kullanılabilir.

ÇED uygulamalarında genellikle çevre jeolojisi-jeotekniğinin ruhuna uygun bir değerlendirme yapılmamaktadır. Oysa ÇED raporunun kalbi, birleştirilmiş (entegre edilmiş) çevre jeolojisi-jeotekniği uygulamasıdır. Konuya dair temel bilgiler üç boyutlu şekillerle tanımlanmalıdır. Yani, ortaya çıkması olası bir kirliliğin hangi yönde seyredeceği, hatta hangi hızla akacağı tanımlanmalıdır. Bu da morfolojinin yanı sıra yüzey ve yeraltı su kaynaklarının güvenilir bir şekilde tanımlanmasından geçer. Jeolojik ortamı iyi tanımlanmamış bir alanda herhangi bir öngörüde bulunmak mümkün değildir. Projenin tüm evrelerinde yere ilişkin jeoteknik değişkenler maliyet, güvenlik ve uygulanabilirlik açısından da değerlendirilmelidir.

Tüm ÇED çalışmalarında, öncelikle yer seçimine ilişkin seçeneklerin değerlendirilmesi ve analizi gerekmektedir. Projenin çevresel etki değerlendirmesi, söz konusu değerlendirmeyi ve analizi izlemelidir. Bu değerlendirme projenin tüm evrelerinde olası etkiler gözetilerek kümülatif olarak yapılmalıdır.

Faaliyetin seçenekleri de çevre jeolojisi-jeotekniği açısından iyi tanımlanmalı ve çevrenin temel birleşenleri gözetilmelidir. Ayrıca duyarlı projeler ve politik sınırlamalar da göz ardı edilmemelidir. Projenin başlangıç evresinde, inşaat, yönetişim (bakım ve işletmeye ilişkin) evrelerinde tüm maliyetler ÇED ışığında ortaya koyulmalıdır. Birçok seçenek arasında "Faaliyeti yapmamak" da bir seçenek olarak değerlendirilmelidir. Toplum, tüm dünyada mevcut doğal ortamına sahip çıkmakta ve çoğu kez değişime karşıdır. Dolayısıyla, faaliyetten vazgeçme durumu da bir seçenektir.

Planlama sürecindeki yerel inceleme (the location study) önemlidir. Projenin konumu, inşaat yöntemleri, zamanlama ve bütçe açısından daha önce yapılmış olan jeoteknik çalışmalar değerlendirilmelidir. Öncelikle projenin daha sonra, yapılan bütçenin onaylanması zorunludur. Projenin tüm ayrıntıları, iyi bir şekilde belirtilmelidir. Projenin inşaatı ile ilgili sözleşmeler hızlı işleyen bir süreç içinde gerçekleşir. Çoğu kez düşük maliyetli teklifler, iyi tasarlanmış fakat pahalı olan tekliflere göre tercih edilmez. İnşaat sözleşmesinin imzalanma aşaması, fizibilite çalışmalardan sonra yapılır.

Çevresel etki değerlendirme raporunda yer alan, "seçme- eleme ölçütleri" ve "nihai çevresel değerlendirme" gibi adımlar, çevre jeolojisi-jeotekniği tasarımının diğer önemli aşamalarıdır. Bu çalışmaların içeriği ve onayı, yasal çerçevede tanımlanmaktadır.

Sonuç olarak, çevre jeolojisi-jeotekniği tasarım hazırlanırken ulaşılan bilgiler üç boyutlu bir blok diyagramda sunulmalıdır. Sunumda CBS temel alınmalı ve jeolojik, hidrolik ve hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer konuya özgü mühendislik veri setlerinin birleştirilmesi (entegre edilmesi) zorunludur. Bu temel bilgileri esas alan uygulanabilir nihai bir haritanın hazırlanması esastır. Tüm verileri içeren bir blok diyagram, uygulamada karşılaşılabilecek olası bir sorunun boyutlarını ve denetimini tanımlayabilecek ayrıntıda olmalıdır.

KAYNAKLAR

Brandl, H., 1995a, Kombinationsdichtungen im Deponiebau. In: Romanian SSMFE (ed) Proc. 10th Danube-Europen Conf. On SM&FE, Mamaia, 1995, Vol.4. Techn.Univ. of C.E., Bulcharest, s. 1057-1071.

Brandl, H., 1995b, Standsicherheit von Deponien. In: Romanian SSMFE (ed) Proc. 10th Danube-Europen Conf. On SM&FE, Mamaia, 1995, Vol.4. Techn.Univ. of CE., Bulcharest, s. 1043-1056.

Ghazifard, A., Nikoobakht, S., Azarafza, M. 2018, Municipal Waste Landfill Site Selection based on Environmental, Geological and Geotechnical Multi-criteria: A Case Study. Iranian Journal of Environmental Technology 2/3, 49-67.

Görçelioğlu, E., 2003. Sel ve Çığ Kontrolü: İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın no 4415 / 473, İstanbul, 384 s.

Greschik, G. ve Galos, M., 1998, Environmental Geotechnics-An Overview : Environmental Geology, 35(1), 28-36.

Hausman, MR., 1990, Engineering principles of ground modification. McGraw-Hill, New-York.

Ibrahim, S., 2020., Environmental Geology: Groundwater pollution and Wetlands. www.researchgate.com. Erişim: 17 Ocak 2023.

May, M. E., Dlala, M. ve Chenini, İ., 2010. Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning. Engineering Geology, 116/129–138.

Özbek, T., 1982. Hidroloji: Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara, 207 s.

Peck, RB., 1973, Verbal comment to Opening address. In: USRR NSSMFE (ed) Proc 8th ICSMFE, Vol.4.1, OC of 8th ICSMFE, Moscow, s. 156-159.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276 s.

Yılmaz, A., Değirmenci, M. ve Sarıoğlu, M., 2002, Zara-San hayvancılık ve sanayi ürünleri ticaret anonim şirketi, entegre et, süt ürünleri ve hayvancılık tesisi nihai ÇED raporu, CÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, 125 s.

Yılmazer, İ., Yılmazer, Ö., Özkök, D. ve Gökçekuş, H., 1999, Jeoteknik Tasarıma Giriş; Yılmazer Eğitim ve Mühendislik, Ltd. Şti., 420. Sok, 259/1, 100.Yıl, 06530, Çankaya, Ankara, 216 s.

Bölüm 20. BAZI UYGULAMALAR

Bu bölümde, bazı uygulamalara dair temel bilgiler sunulacaktır. Sunulan bilgiler, söz konusu uygulamaların yönetiminde gereksinim duyulan süreçleri içermektedir. İlk bölüm, 20.1. Maden ve taş ocağı incelemeleri olup, bu uygulamayı sıra ile 20.2. Temel incelemeleri: binalar, yollar, köprüler, 20.3. Barajlar ve HES'ler, 20.4. Tüneller, 20.5. Termik santraller, 20.6. Nükleer santraller ve 20.7. Büyük mühendislik projelerinin çevresel etkileri: Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) örneği ve sorunları izlemektedir.

Bu konularda yeterli bilgiye sahibi olmadan bir ÇED' in hazırlanması her zaman verimsiz bir tartışma ortamı yaratacaktır. Ayrıca bu uygulamalarda tartışma konusu olan hususlar gözetildiğinde çevre yönetiminin önemi de açıkça görülmektedir. Dolayısıyla her uygulamanın tanımlanması, işleyişi ve çevresel etkilerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece ilerde her uygulamaya özgü yeni düzenlemelerin ortaya koyulması ve yapılacak öneriler çevrenin korunmasını daha ileriye taşıyacaktır.

Bölüm 20-1. MADEN VE TAŞ OCAĞI İNCELEMELERİNE GENEL BAKIŞ

GENEL BİLGİLER

Yerkabuğunda bulunan madenleri çıkarmak üzere açılan yerlere "**Ocak**" denir. Çıkarılan madenin türüne göre, ocaklar adlandırılmaktadır. Bakır ocağı, yapıtaşı ya da taş ocağı gibi. Taşocağı işletmeciliği, büyük ölçekli mühendislik projelerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Bu bölümde ağırlıklı olarak taş ocakları irdelenmektedir.

Taşların yapıda kullanılmasına etki eden öğeler

-Taşın (Kaynağın) kalitesi; *Rengi; renkli olması yada olmaması
*Bileşimi; homojen olmalı
*Fiziksel özellikler; gözeneklilik, geçirimlilik
*Mekanik özellikler; yapısal özellikler (masif, katmanlı), çatlak sistemleri, dayanımlı, elastik olması, blok verme niteliği,

-Taşın (kaynağın) rezervi (miktarı); ekonomik olmalı,
-Ulaşım (kaynağın kullanılacak yere uzaklığı),
-Geniş kullanma olanaklarının olup olmaması,
- İşçi (özellikle kalifiye işçi) ücretlerinin yüksek olup olmaması,
-Taş ocaklarına ilişkin yasa ve yönetmeliklerin caydırıcı olup olmaması,
-Ortaya çıkan ürünün tümünün kullanılıp kullanılamayacağı, dolayısıyla atık miktarı,
-İşletme düzlüğünün ortaya çıkıp çıkmaması ya da ortaya çıkan düzlüğün başka projeler için uygun olup olmaması,
-Ocak işletmesinin dolaylarında yüzey ve yeraltı sularının konumu, yapılarak çalışmaları etkiler.

Taşocağı türleri

Ocaklar işletme sırasında **patlayıcı madde kullanılıp kullanılmamasına göre** iki gruba ayrılmaktadır.

1- Patlayıcı kullanılmayan işletmeler (Pit); Çakıl, kum, kil ocakları
2- Patlayıcı kullanılan ocaklar (Quarry); Yapıtaşı ve maden ocakları

Ocaklar **işletme şekli** bakımından da iki gruba ayrılırlar;

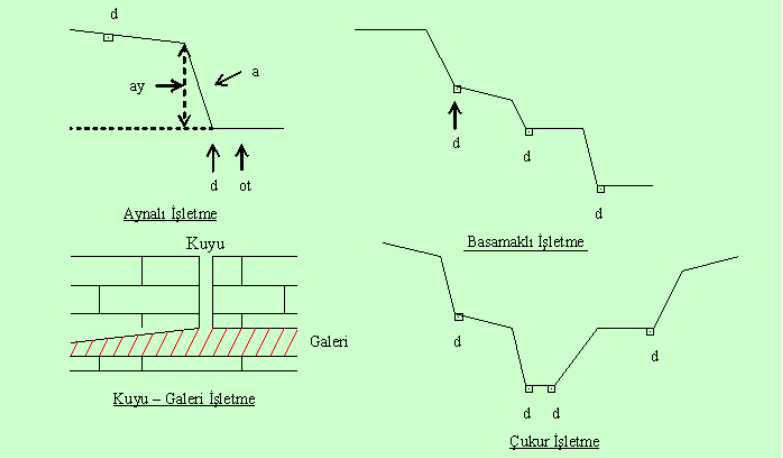
1- Açık işletilen ocaklar (Open-pit)
2- Yeraltı işletmesi yapılan ocaklar (Underground-pit); Bunlar da yapılan işletmenin basamaklı yapısına göre çeşitli özel adlar almaktadırlar (Şekil 1).

Çevre ve tasarım açısından taşocakları için bazı pratik bilgiler

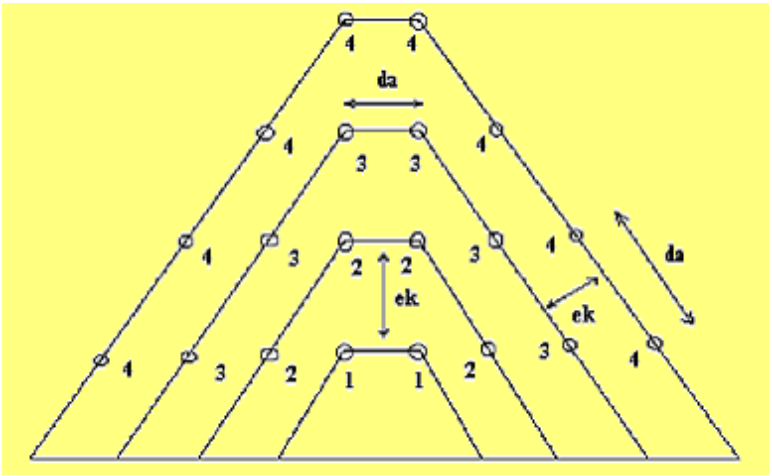
Taşocakları işletmeciliğinde tünel açıp patlatma yapmak oldukça yaygın (>% 99) olarak kullanılan bir yöntemdir.

Basamak türü, denetimli ve gecikmeli (t<9 milisaniyeli) patlatma ile titreşim ve ***gürültü kirliliği*** kısmen denetlenebilir. Ayrıca işletme sonrasında düzgün yüzeyler yaratarak yeşillendirme için kolaylıklar sağlayarak ve atıkları uygun yerlere koyarak ***görüntü kirliliği*** önlenebilir. İşletme sonrasında ortaya çıkan ocak sahası tabanı niteliklerine göre tarım, sportif etkinlikler, fabrika ve sağlam temel gerektiren yapılar için uygun yerler olarak kullanılabilir.

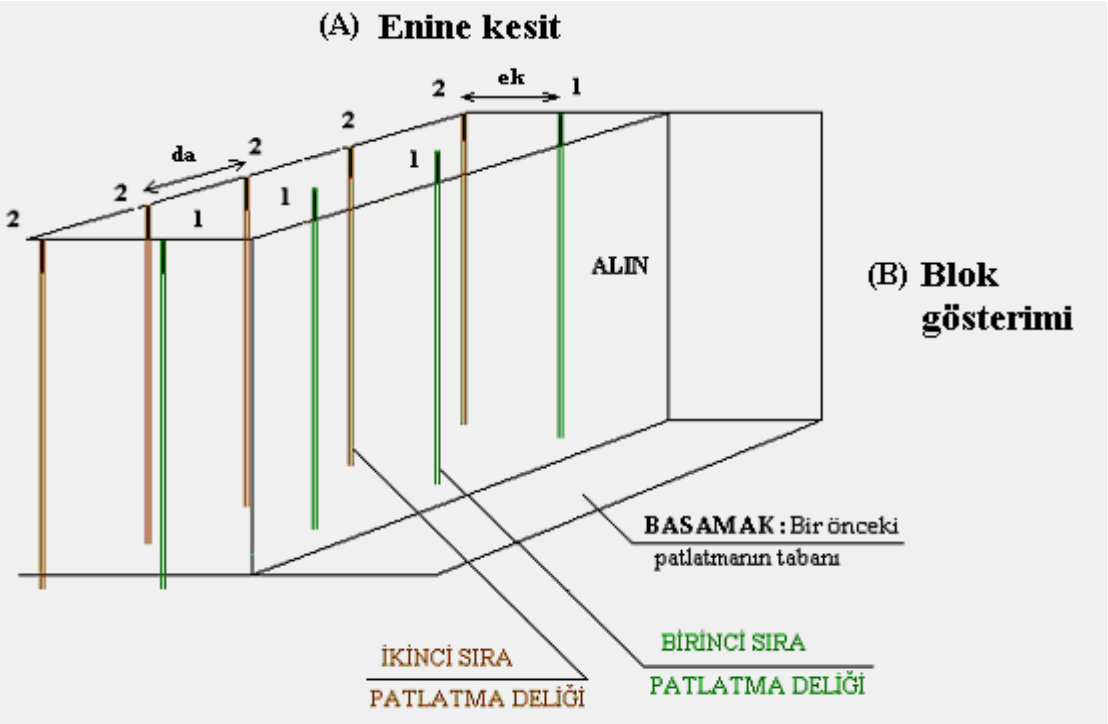
Taşocakları için belli bir plan içinde delik aralıkları, delik derinlikleri (Şekil 2 ve 3 ile Çizelge 1) ve her delik için patlayıcı miktarı belirlenmektedir. Dolayısıyla ocak işletme tasarımı dinamik bir olgu olup Çizelge 2' de sunulan tutanak ya da benzeri temel bilgileri de içeren bir belgenin tutulması zorunludur. Patlama işlemleri sırasında elde edilen verilerin ışığında tasarımda güncelleştirme yapılarak en uygun işletmeciliğe geçiş sağlanmalıdır.



Şekil 1. Çeşitli ocak işletme türleri (a, ayna; ay, ayna yüksekliği; d, akaçlama (drenaj) hendeği; ot, ocak tabanı)



Şekil 2. Bir taşocağı planı örneği (da, delik aralığı; ek, et kalınlığı), (Yılmazer vd., 1999).



Şekil 3. Bir taşocağı enine kesiti(A) ve blok gösterimi(B) (Yılmazer ve diğerleri, 1999).

Çizelge 1, Taşocağı işletme tasarımı verileri (Yılmazer ve diğerleri, 1999).

		BELİRTEÇ	İLİŞKİLENDİRME (m)			AÇIKLAMALAR
			En		Önerilen boyutlar	
			düşük	yüksek		
ET KALINLIĞI		ek			10,00	
Delik	Çapı	dç	0,33	0,50	0,31	
	Boyunu*	db	8,02	10,02	10,00	
	Boyunu	db	6,00	8,00	8,00	
	Topuğu	dt	1,00	4,00	2,00	
	Derinliği	dd	15,00	40,00	30,00	
	Aralığı	da	12,00	20,00	16,00	
Patlatma delik dağılımı : Yapay alına 45°'lik açılı						
* İlk aşama için geçerli olup doğal yamaç eğimi göz önünde tutulmuştur.						

Çizelge 2. Örnek patlatma veri tutanağı (Yılmazer ve diğerleri, 1999).

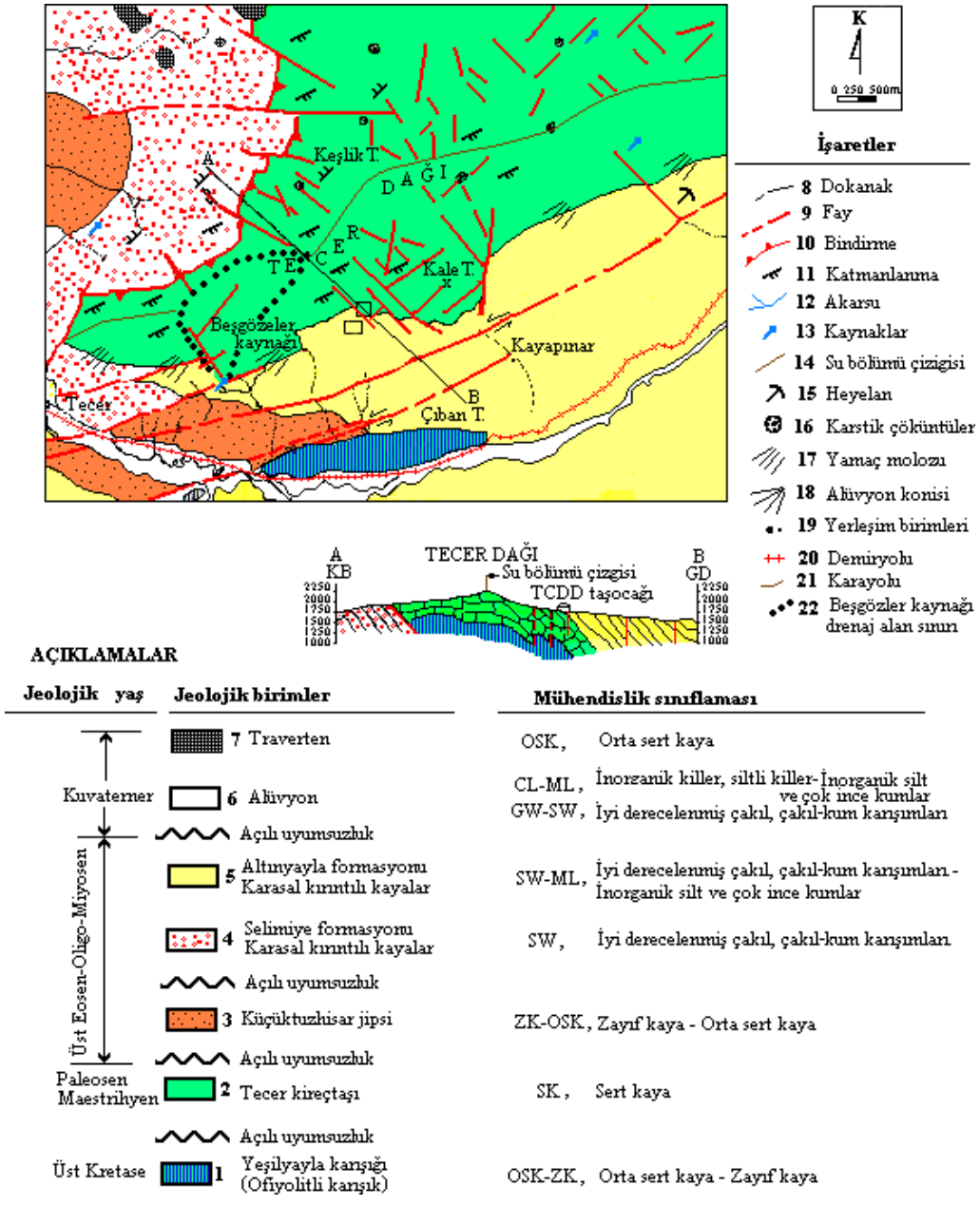
PATLATMAYA AİT BİLGİLER		AÇIKLAMALAR
Şirket		
Patlatma yeri		
Patlatma zamanı		
Patlatmayı yapanın adı		
En yakın yerleşim alanına göre yönü		
En yakın yerleşim alanına uzaklığa, m		
Hava durumu		
Sıcaklık		
Rüzgar yönü ve hızı		
Bulut durumu		
Kaya türü		
Et kalınlığı		
Delik		
Sayısı, ds		
Aralığı, da(m)		
Derinliği, dd (m)		
Çapı, dç (m)		
Patlatıcı türü		
9 ms' lik bir zaman diliminde		
Patlatılan en yüksek patlatıcı ağırlığı, kg		
Patlatma yapılan delik sayısı		
Ateşleyici dahil, patlatmada kullanılan patlayıcıların toplam ağırlığı, kg		
Ateşleme yöntemi ve döngü türü		
Yapay dolgu türü ve uzunluğu		
Kullanılan korungaç türü		
Gecikme türü		
Geciktirme süresi, ms		
Sismik veri		
T		
V		
L		
dB		
Sismik kayıt noktasının patlatma yerinden uzaklığı		
Sismik okumaların yapanın adı		
Sismik kayıtları inceleyen kişi ve firma adı		
Ateşleyicinin imzası		

TAŞOCAKLARININ JEOLOJİK VE HİDROJEOLOJİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Maden ocaklarının ve taş ocaklarının yeri belirlendikten sonra (yani arama evresi sonrasında), ocağa yönelik bir planlama ve hazırlığın (fizibilitenin) yapılması, ocak işletmenin tasarımının ve işletme sonrası gerekli iyileştirme çalışmalarının öngörülmesi gerekmektedir. Özellikle planlama ve hazırlık evresinde, işletmeye yönelik jeolojik ve hidrojeolojik modellemenin yapılması zorunludur. Bu model, jeolojik ortamın yüzey ve yeraltı sularının potansiyelini ve konumunu; işletme sırasında kullanılacak suyun miktarını ve bu suyun nasıl sağlanıp ve bertaraf edileceği, olası bir su kirliliğine karşı ne gibi önlemlerin alınması gerektiği gibi konulara açıklık getirmelidir.

Yani, üretim süreçlerinde, taş ocaklarının çevre üzerindeki etkilerini arazi kullanımı yönüyle değerlendirmek amacıyla jeolojik ve hidrojeolojik bilgilerin sağlıklı bir şekilde derlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalardan biri de Ulaş ilçesi, Tecer dağı mevkii Kayapınar köyü taşocağı Ön ÇED Raporu'dur (Yılmaz ve diğerleri, 2002).

TCDD IV. Bölge Müdürlüğü'nün (Sivas) sahibi olduğu bu proje kapsamında hazırlanmış olan bir harita, Şekil 4' de görülmektedir. Haritada sunulan bilgiler asgari düzeydedir. Jeolojik harita, enine kesiti ve yüzeydeki su kaynakları, akifer konumundaki Tecer Kireçtaşının konumu, doğa kaynaklı riskler ve birimlerin mühendislik özellikleri birlikte görülmektedir.



Şekil 4. TCCD IV. Bölge Müdürlüğü Tecer Dağı mevkii Taşocağı dolayının 1/25000 ölçekli jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası ve enine kesiti (Yılmaz ve diğerleri, 2002).

TCDD taşocağının konumu da haritaya ve enine kesite işlenmiştir. Taş ocakları özelinde gereksinim duyulan bu bilgiler, her ne kadar ürünün alındığı birimle doğrudan ilintili ise de, bu birimin yanı sıra dolayındaki tüm birimlerin de kayatürü özellikleri, haritadaki yayılımı, stratigrafik konumu, yapısal özellikleri ve hidrojeolojik, morfolojik tüm verilerin yanı sıra bu birimlerin mühendislik sınıflamasının da sunulmasında yarar görülmektedir.

Ocak işletmelerinde, oluşturulacak jeolojik ve hidrojeolojik modelin, faaliyetin etkileyeceği yüzey suları veya yeraltı su kaynakları, bu kaynakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ve kullanım durumlarının gözetilerek yapılandırılması gerekir.

Örneğin, Tecer dağı yöresinde, jeolojik yapı unsurları irdelendiğinde, büyük kaynakların eşlenik fayların ara kesitinde yer aldığı görülür. Buna göre, taşocağının bulunduğu yerde de bu tür eşlenik fayların olup olmadığına bakılır. Çünkü Tecerdağı Kireçtaşı, her ne kadar taş ocağı amacıyla işletilmesi gerekmekte ise de bu kireçtaşının yörenin en önemli akiferi olduğu da unutulmamalıdır.

TAŞOCAĞI İŞLETMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

ÇED uygulamalarında Taşocağı işletmeleri, önemli bir yer tutar. ÇED Yönetmeliği (2022)'ye göre taşocağı işletmesinin kapsamı gözetilerek izlenecek süreç (prosedür) belirlenir. Örneğin, açık ocak işletmesi 25 hektar ve üzeri arazi yüzeyinde yapılan faaliyetler ve çimento fabrikaları EK-1 sürecine tabidir.

1000 ton/yıl ve üzeri kapasiteli blok mermer ve dekoratif taşların işlendiği tesisler ile kireç ve alçı fabrikaları için EK-2 süreci uygulanır. Taşocağı işletmesinin çevresel etkileri ÇED raporlarında yere özgü (in-situ) öngörülen önlemler çerçevesinde denetlenmelidir.

Maden ya da taş ocaklarının, bulundukları yerde işletilmesi zorunluluğu vardır. Bu zorunluluk, bazen işletmecileri, söz konusu ocağı işletmeme ile yüz yüze bırakmaktadır. Örneğin, Yunanistan Santorini Kalderası yamaçlarında yer alan demir yatağı bir yerleşim biriminin üzerinde yer almaktadır (Şekil 5). Bu nedenle, demir yatağına dair ocak işletmesinin çevresel etkileri gözetilerek, ocağın işletilmesi uygun görülmemektedir. Ancak, böyle kritik bir bölgede dahi, jeolojik model izin veriyorsa ve yapılacak işletmede kamu yararı varsa, gerekli önlemleri almak koşulu ile maden ya da taş ocağının işletilmesine izin verilmelidir. Çünkü, bir ocak işletmesinin çevresel etkileri, son derece sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmekte ve tümüyle olmasa bile, önemli ölçüde denetlenebilmektedir.

Şekil 5.Yunanistan Santorini Kalderası yamaçlarında yer alan yerleşim birimi ve Yamaçta bir demir yatağı (Resim, Ömer Faruk Gültaşlı'dan).

Taşocağı işletmelerinin çevresel etkileri, ortaya çıkan çevre kirliliği açısından dört bölümde irdelenebilir. Bunlar sıra ile görüntü kirliliği, hava kirliliği, su kirliliği ve gürültü kirliliği biçiminde sunulabilir.

Görüntü kirliliği: Ortaya çıkan pasa, yani katı atıklar görüntü açısından bir kirlilik oluştururlar. Bu atıklar, yasa ve yönetmeliklerde öngörüldüğü gibi bertaraf edilmelidir.

Hava kirliliği: Özellikle patlama ve üretim sırasında ya da taşıma evresinde ortaya çıkan partikül, toz ve kullanılan yakıtlardan ortaya çıkan gazların hava kirliliği yarattığı bilinmektedir. Bu kirlilik özellikle çalışanlar üzerinde olumsuz etkiler bırakabilmektedir. Yerlerin ve kimi zaman ortaya çıkan ürünlerin sulanması ve bazı çalışanlar tarafından gerektiğinde maske kullanılması birer çözüm olabilir.

Su ve toprak kirliliği: Taşocaklarında üretim yapılan kayalarda bulunan ağır metallerin atmosferik süreçlere açık hale gelmesi ve işletme sırasında kullanılan yağların toprağı, yüzey ve yeraltı sularını kirletme potansiyeli vardır. Bunun için yörenin su kaynakları ve ekilebilir arazileri ile işletme yapılan yerin ilişkileri de gözden geçirilip gerekli önlemler alınmalıdır.

Gürültü kirliliği: Yapılan patlamalar ve kimi büyük makinaların çalışması yoğun bir gürültü kirliliği yaratabilir. Özellikle, çalışanların kulaklık takması, gecikmeli patlatma yöntemlerinin tercih edilmesi ve makinaların bakımının düzenli yapılması gerekir.

TAŞ (MALZEME) OCAKLARINDA ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

1- Malzeme alımı, yükleme ve boşaltma sırasında oluşacak toz miktarının en alt düzeye indirilmesi için;

* Malzeme uygun miktarda, düzenli olarak sulanmalı,
*Taşıma yapan kamyonların üzerleri örtülmeli;
*Ocak içindeki yollar, tozu önleyecek şekilde kaplanarak düzenli sulama yapılmalıdır.

2- Taşıma sırasında ***Trafik Yönetmeliği'nde*** belirtilen koşullara mutlaka uyulmalıdır.

3- İş makinelerinden kaynaklanan gürültünün azalması için, makinelerin bakımları düzenli yapılmalıdır.

4- Bütün patlatmalar 08.00-20.00 saatleri arasında halka radyo anonslarıyla duyurulmak suretiyle yapılmalı ve kesinlikle galerili patlatma yapılmalıdır (basamak patlatma tekniği uygulanmalıdır).

5- Şantiyede gürültüye neden olan çalışmalar 06.00-22.00 saatleri dışında yapılmalıdır.

6- Ocak alanında çalışacak işçilere kulaklık ve baret verilecek ve kullanmaları sağlanacaktır.

7- Orman alanı içinde bulunan ocaklarda yangına karşı önlem alınmalı, bu kapsamda koordinatlar içinde kalan ağaçların altındaki bütün otsu bitkiler ve bitki artıkları düzenli olarak temizlenmelidir.

8- Ocak, iş bitiminde karayolları veya yüklenici tarafından işletmeye kapatılacaksa, ocak için peyzaj projeleri hazırlanıp uygulamaya konulmalıdır.

9- Karayolları ya da yüklenici tarafından şantiyelerde, asfalt plentlerinin bacalarına emisyon önleyici filtre yada benzeri emisyon denetim mekanizmaları takılmalı ve mutlak surette ***"Emisyon İzni"*** alınmalıdır.

10- Şantiyede oluşan katı atıklar (çöpler) ***Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*** Madde 20'ye uygun olarak taşınmak suretiyle, ilgili belediyenin izin verdiği bir çöp depolama sahasına boşaltılmalıdır.

11- Makinelerin atık yağları Çevre Bakanlığı Genelgeleri Hükümlerine uygun olarak depolanmalıdır.

12- Şantiyede oluşan evsel atık sular (kanalizasyon suyu) ise "***Lağım Mecrası Mümkün Olmayan Yerlerde Yapılacak Çukurlara Ait Yönetmelik***" hükümlerine göre uygun olarak tasarlanmış, sızdırmaz foseptiklerde toplanarak, vidanjörlerle ilgili belediyenin uygun gördüğü şekilde bertaraf edilmelidir.

Tüm çalışmalarda Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından onaylanan ÇED yönetmeliğinin yanı sıra Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Su Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği gibi, çevrenin korunmasına yönelik tüm yönetmeliklerin hükümlerine uyulmalıdır.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276s.

Yılmaz, A., Değermenci, M. ve Sarıoğlu, M., 2002, Ulaş İlçesi, Tecer dağı mevkii Kayapınar köyü taşocağı Ön ÇED raporu, CÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, 52s.

Yılmazer, İ., Yılmazer, Ö., Özkök, D. ve Gökçekuş, H., 1999, Jeoteknik Tasarıma Giriş; Yılmazer Eğitim ve Mühendislik, Ltd. Şti., 420. Sok, 259/1, 100.Yıl, 06530, Çankaya, Ankara, 216 s.

Bölüm 20-2. TEMEL İNCELEMELERİ: BİNALAR, KÖPRÜLER ve ÇİZGİSEL MÜHENDİSLİK YAPILARI

GENEL BİLGİLER

Bu bölümde bina, köprü, yol, havaalanı ve şehir planlamasında karşılaşılan temellerle ilgili bazı mühendislik konuları ele alınacaktır. Hangi tür temel olursa olsun, iş programının hazırlanmasından önce topografik haritalar gereklidir. Ayrıca yapının türüne ve büyüklüğüne göre 1/5000 ve 1/500 arasında değişen ölçekte yüzey ve yeraltı mühendislik çalışmaları yapılır. ***Yapının genişliği, yüksekliği, ağırlığı, amacı, kullanma şekli ve yapıyı etkileyecek kuvvetler*** göz önünde bulundurularak çeşitli mühendislik testleri yapılır. Gerekirse sondajlar yapılır ve derindeki kayatürü, özellikleri ve yeraltı suyunun durumu incelenir.

Yapının boyutlarına ve kullanılan malzemeye göre her yapının bir ağırlığı vardır. Buna yapının ***"ölü yükü"*** denir. Mağaza, depo, site, okul gibi binalara sonradan ek yükler de eklenir. Buna yapının ***"canlı yükü"*** ya da ***"hareketli ek yükü"*** denir. Hesaplarda canlı yük, ölü yükün yarısı kadar alınabilir. Tüm yükler duvar, kolon ve plakalarla temele düşey olarak iletilir. Ayrıca rüzgâr, deprem ve çeşitli titreşimlerin meydana getirdiği yatay ve verev kuvvetler de binalara etki yaparlar.

TEMEL TİPİ SEÇİMİNİ ETKİLEYEN JEOLOJİK FAKTÖRLER

Yapıların oturacağı zeminlerde öngörülen mühendislik jeolojisi çalışmalarında ayrıntılı olarak incelenmesi gerekli başlıca jeolojik faktörler aşağıda sunulmuştur:

1- Temeli oluşturan birimlerin kayatürü (litolojisi) özellikleri, dizilimi (stratigrafisi) ve yanal değişimi,
2- Temeli oluşturan kayalarda gelişmiş süreksizlikler (kırık, çatlak, fay, dolgu malzemeleri), özellikleri konumu ve depremsellik durumu,
3- Çevredeki oturma ve kaymalar, yani heyelanların varlığı,
4- Bozunmanın (alteration) derinliği ve derecesi,
5- Temeli oluşturan kayaların kazılabilme derecesi,
6- Temeli oluşturan kayalarla yüzey ve yeraltı sularının etkileri ile kayaların suyla temasta erime ve dağılma derecesi ve akaçlama (drenaj) olanağının olup olmaması, sel ve taşkın durumu,
7- Temelden çıkan kazı gereçlerinin işe yarama durumu ya da atılacak bir yerin bulunması,
8- Yapılarda kullanılacak kil, kum, çakıl, agregat gibi gereçlerin türü ve bunların sağlanma olanaklarının olup olmaması belirleyici faktörlerdir.

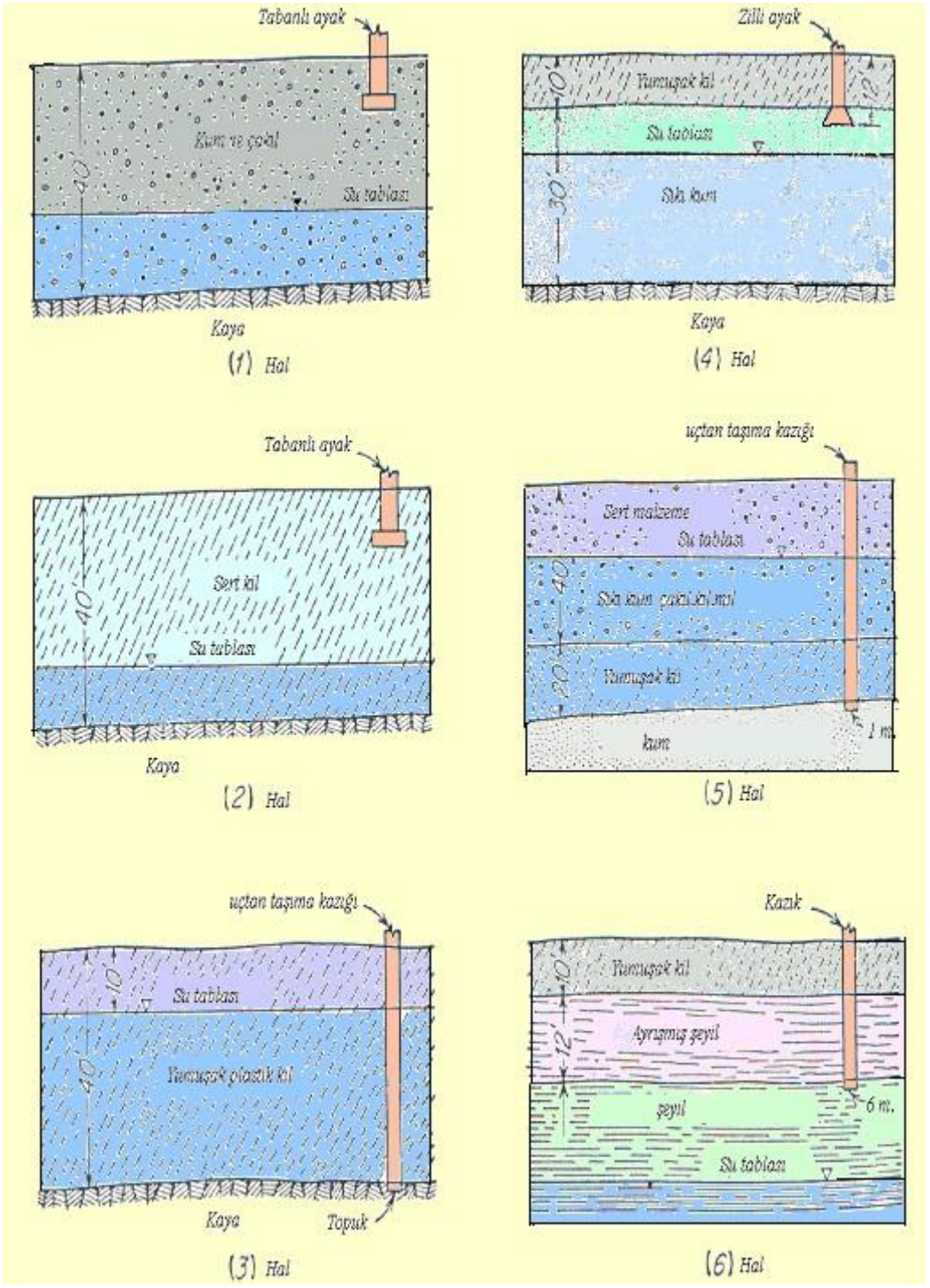
Bu bilgiler, çeşitli haritalara ve kesitlere bir lejand çerçevesinde işlenir. Örnekler, araziden alınıp laboratuvarda incelenerek tanımlanır. Eğer, temeller sağlam kaya üzerinde yer alıyorsa, sorun yok demektir.

Temellerle ilgili araştırılması gereken diğer özellikler: Zemin ya da temeli oluşturan kayatürü özellikleri ve bu birimlerin farklı derinliklerdeki taşıma güçleri ile oturma oranları önemlidir. Oturma süresi de ayrıca dikkatte alınmalıdır. Ayrıca zemini ya da temeli temsil eden birimlerin kazılabilme özellikleri, gözenekliliği ve su içerikleri araştırılmalıdır.

Temel tasarımı, yörede bilinen en yüksek deprem şiddeti ve don derinliği de dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir. Derin temeller için güvenli taşıma gücü, temelin indirileceği derinlik ve temel boyu iyi hesaplanmalıdır. Yüzeysel temellerde, temel derinliği (Df), temel genişliğinden (B) küçüktür. Ancak, derin temellerde, temel derinliği, temel genişliğinden büyüktür. Temelin gömülme derinliğinin temel genişliğine oranı (Df/B) büyüdükçe, zeminlerin taşıma güçlerinin arttığı görülmektedir.

Temel tipinin seçimi

İlk temel jeoloji verileri derlendikten sonra, belli bir hal için en elverişli temel tipi seçilmeye çalışılmalıdır. Temel tipleri, Krynine ve Judd (1957)' dan alınan bazı örneklerle açıklanmıştır (Şekil 1):



Şekil 1. Çeşitli zeminlerde ve değişik yeraltı su düzeylerinin olduğu durumlarda temel tipleri (Krynine ve Judd, 1957; s.476).

1. Hal; Yapı yerinde 40 ft kalın sıkı kum ve çakıl, daha altta kaya (sert kumtaşı) vardır. Su tablası yüzeyden 30 ft derindedir (1 ft = 30,48 cm.; 1 inç = 2,54 cm). Kum ve çakılın iç sürtünme açısı yüksek olduğundan makaslama yenilmesi ve bu nedenle kumun dışarı zorlanması beklenmez. Bu tür zeminde oturma azdır. Büyük yapıların altında 2 inç' den fazla oturma olduğu görülmemiştir. Burada betonarme ayaklar uygundur. Ayakların tabanları don çizgisinin altında bulunmalıdır. Don geçirmeyen bölgelerde temel, en az 2 inç derinde bulunmalıdır.

2. Hal; Kaya derinliği ile kaya niteliği 1.haldeki ile eşit ise de, üstteki gereç katı ve çatlaksız kildir. Kil katmanında da betonarme ayak uygundur. Sert kil, üzerine gelen yükü iyi taşır. Buna göre temele kazık çakmak, yararlı değil zararlıdır.

3. Hal; Koşullar 2. haldeki gibi ise de kayayı yumuşak kil örtmüştür. Bu halde doğru çözüm, kayaya uçtan taşıma kazığı çakılmasıdır. Eğer varsa, ağaç kazıklar tercih edilirler. Temelde su tablası alçalıp yükseliyorsa, nöbetleşe ıslak ve kuru durumun ardalanmasıyla kazık başları çürürler. Bu gibi durumlarda, betondan "bileşik kazıklar" kullanılmalıdır. Zemin koşulları iyi bilinirse, beton kazıklar istenen boyda ısmarlanabilir. Kazıklar, gereğinden uzun yapılırsa, kesilen kısım işe yaramaz. Çelik kazıklar ise ağır olurlar. H şeklinde kazıklar kolay kesilir ya da kaynak kabul ederler.

4. Hal; Kaya 40 ft derindedir, örtü sıkı kil, üstte 10 ft kalın yumuşak kil bulunur. Üstteki yumuşak kilden 1 m kadar daha uzun beton ayakların kullanılması iyi olur. Kazıklar sağlam gerece göre değil de kuma oturacaklarından, altları çan biçiminde olmalıdır. Su tablası ayakların batmasına yol açabilir ve bu durum hiç istenmez. Eğer su tablası yüzeye çok yakın olursa, başları su altında bırakılmak üzere kısa ağaç kazıklar kullanılmalıdır.

5. Hal; Üst toprak 40 ft; altında 20 ft kalınlıkta yumuşak kil, daha altta kum bulunur. Böyle olunca uçtan taşıma kazığı kuma çakılmalıdır. Eğer yumuşak kil örneği 40 ft'den kalın olursa, H kazıklar daha elverişli olurlar.

6. Hal; Bir şeyl düzeyi 10 ft kalın bir yumuşak kil ile örtülüdür ve şeylin üstte yer alan 12 inçi ayrışmıştır. Bu durumda beton kazıkların sağlam şeyle kadar çakılması gerekir.

Sonuç olarak yukarıda sunulan farklı haller irdelendiğinde kayatürü, stratigrafik dizilim ve yeraltı su tablasının konumunun önemli olduğu, temele ilişkin ayakların ise yeraltısu tablasının üstünde ya da sağlam zeminde yer alması gerektiği anlaşılır.

BİNALARIN TEMELLERİ VE TASARIMI

Yükseklikleri 15 metreden daha küçük olan binalar için genellikle jeolojik ve jeoteknik çalışmalar yapılmaz. Deniz ve akarsu kenarında, haliçlerde, heyelanlı bölgelerde, dik yamaçlar üzerinde bina yapılacaksa, yapım izni almak için jeolojik ve jeoteknik çalışmaların yapılması zorunluluğu vardır.

Temel sondajlarının derinliği, sayısı ve aralıkları hakkında kesin rakamlar yoktur. Zeminde yanal değişim yoksa 25 m ya da 50 m aralıklı kuyular açılmalıdır. Ana kaya çok derinde değilse, sondajın ana kayaya kadar indirilmesi gerekir. Sondajların, binanın köşelerinde ve ortasında olması ve her kolona bir sondaj düşmesi ideal şeklidir. Standart penetrasyon deneyleri yapılır. Alınan bozulmamış örnekler laboratuvarda incelenir.

Binaların temelleri

Binaların temeli, binaların geleceği ve güvenliği açısından son derece önemlidir. Hem proje aşamasında hem de binaya başlandığında, yani yapım aşamasında, yapı denetim kuruluşlarının denetimlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Binaların, Yapı Denetim Kuruluşları ve Belediyeler tarafından denetlenmesi yasa gereğidir ve zorunludur. Konuya dair yargı kararları mevcuttur (https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/QgrcJHsBmtGfBmfsKrtHclKljTrXTCTBTZb; 06

Kasım 2020, Saat 23.00). Üstelik, mevcut yasal çerçevede de eksiklikler yeterince bilinmektedir. Söz konusu eksiklikler giderilmedikçe acı olaylarla karşılaşmak olağan hale gelecektir.

SPT'ye ilişkin Zeminlerin tanımlanmasına dair deneylerin standartlara uygun şekilde yapılması gerekmektedir. SPT-N düzeltmeleri de mutlaka yapılmalıdır.

Bilindiği üzere; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Ayrıca ***"Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı"*** da 09.03.2019 tarih ve 30709 sayılı Resmî Gazetede yayınlanarak yürürlüğe koyulmuştur (JMO, 2021). Yönetmeliğe uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu geliştirilmiş olup Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. 2018 tarihli *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine* uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu.

TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI	SPT-N DÜZELTMESİ						
PROJENİN ADI :	ABC						
Pafta No :	A	Koordinatlar :		X	Y	Kot	Datum
Ada / Parsel No :	B			123456,2	12345,3	525,0m	WGS 84
Sondaj Kuyu No :	SK-1	Kuyu Derinliği :	20,00m	Yeraltı Suyu Seviyesi :		1,00m	☐ Yeraltı Suyu Yok
DÜZELTME FAKTÖRLERİ [Veri girişi ve seçimi yapınız]	Numune Alıcı Tipi :	Standart (iç tüpü olan)		Enerji Oranı (%) :	☐ Ölçüm Yapıldı ☑ Tahmin Edildi	60	
	Sondaj Delgi Çapı :	Çap 65mm-115mm arasında		SPT Kılavuz Tij Boyu (Yerden) :		0,50m	
	Tokmak Tipi :	Güvenli tokmak		Hesaplama Metodu :		TBDY-2018'e uygundur	

Ayrıca, Fabrika ve elektrik santrallerinin tabana büyük ölçüde titreşim etkisi yaptığı unutulmamalıdır. Bu gibi durumlarda sondajlar, santral genişliğinin 1,5 katı kadar derine indirilmelidir.

Binaların tasarımı

Özellikle deprem hasarlarının en alt düzeye indirilmesi amacıyla, zemin etüdü ve yapılara özgü yer seçiminin yanı sıra, yapıların depreme dayanıklı biçimde tasarımına da özen gösterilmelidir. Deprem hasarlarının azaltılması amacıyla, depreme dayanıklı yapıların tasarımı, güvenli bir ortamın oluşmasına katkı sağlar.

Ülkemizde, iki türlü yapı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar, yığma yapılar ve betonarme yapılar olup, her yapı türünün tasarımında uyulması gereken ölçütler vardır.

Yığma yapıların tasarımı

Depreme dayanıklı yığma yapıların tasarımında, temelden başlayarak kullanılan malzemeler, duvar dayanımı, duvarda öngörülen boşluklar, duvar kalınlığı, gözetilerek bir planlama yapma zorunluluğu vardır.

Betonarme yapıların tasarımı

Beton başlıca çimento, çakıl ya da kum (yani agrega) ve suyun karışımından elde edilir. Günümüzde çimento kireç ile kilin öğütülerek yaklaşık 1.500 derece dolayında fırınlamasıyla yapılmaktadır. Bu şekilde elde edilen betonun ömrü 100 yıl olarak kabul edilir. Çoğu betonarme

yapıların depremlerden sonra enkaz haline gelmesinin nedeni, kullanılan malzemenin kalitesi ve bu yapıların depreme dayanıklı bir biçimde tasarlanmaması ile ilgilidir.

Hafif beton tanımı ülkeden ülkeye değişmekle birlikte, ülkemizde yürürlükte olan TS EN 206-1 standartlarına göre etüvde kurutulmuş yoğunluğu 0.8-2.0 t/m^3 arasında değişen betonlar olarak tanımlanmıştır. Birim hacım ağırlığı karışımında kullanılan agrega türüne göre değişiklik gösterir. Depremlerin tahrip edici özelliklerini azaltmak için deprem yüklerine daha az maruz kalabilecek yapılar tasarlanmalıdır. Bu kapsamda hafif agregalı yapı yapısal beton önemli bir yer tutar. Ülkemiz bu tür bir malzemenin üretimine uygun teknik donanım, yeterli personel ve uygun hammaddeye sahiptir. Böyle bir malzemenin kullanımını özendiren projeler üretilmelidir.

Roma döneminde üretilen betonun ise binlerce yıl zarar görmemesinin nedeni çimentonun kireç ile volkanik külün karıştırılarak elde etmesi ile ilgili olabilir. Bu şekilde elde edilen çimentoda kristal kafesi oluşturan silisyum iskeletinde kalsiyum atomlarının yerine kısmen alüminyum atomlarının da yer aldığı saptanmıştır. Alüminyum çimentoya dayanıklılık vermektedir. Ayrıca bu yöntemde daha düşük bir sıcaklığa ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece enerji tasarrufu da olmaktadır.

Genel olarak iki tür betonarme yapı vardır.

1. Yalnızca kendi ağırlığı ve yapının içindeki canlı yükü (yani düşey yönde etkili olan yükler) taşımak için tasarlanmış yapılar,
2. Hem yukarıda belirtilen yükleri hem de depremde oluşan yatay ve düşey yükleri taşımak için tasarlanmış yapılar.

Burada sunulan sınıflama, çelik ve ahşap karkas yapılar için geçerlidir. Ancak depreme dayanıklı yapıların tasarımında gereksinim duyulan bazı özel ayrıntılar da vardır. Depreme dayanıklı yapım kuralları ilk kez 1975'te yayınlanan deprem yönetmeliğinde ortaya konulmuştur.

Betonarme yapıların tasarımında, betonun içeriği ve dayanımlılığı, taşıyıcı sistemlerde kullanılan demir miktarı, kolon ve kirişlerin en kesiti ve sayısı, çok katlı binalarda perde duvarlarının yapılması, yapıların türü gözetilerek bir planlamanın yapılaması gibi unsurların gözetilmesi gerekmektedir.

Günümüzde, depreme dayanıklı yapıların üretilmesi hususunda ARGE çalışmaları devam etmektedir. Özellikle ABD'de ve Japonya'da 100 milyonlarca dolarlık kaynaklar, depreme dayanıklı çelik yapı tasarımına ayrılmış bulunmaktadır. Son yıllarda prefabrik beton ile yapı üretiminde büyük mesafeler alınmıştır.

Prefabrik beton ile yapı üretimi

Prefabrikasyon, yapı elemanlarının fabrika ortamında üretilmesi anlamına gelmektedir. Yani yapıların önceden bileşenlerine ayrılarak tasarlanması ve fabrikalarda üretilip inşaat alanında monte edilmesi esasına dayanmaktadır. Böyle bir üretim çalışmalarda hız ve tasarruf sağlamaktadır. Bu inşaat yöntemi ülkemizde daha çok sanayi tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca prefabrik üretim köprü, raylı sistemler, alışveriş merkezleri gibi birçok yapılarda da tercih edilmektedir.

Prefabrikasyon, dayanım ve kaliteyi yükseltirken, yapılardaki kolon sayısını büyük ölçüde azaltmaktadır. Dolayısıyla daha ekonomik ve şekil değiştirme niteliğinden ötürü de depreme daha dayanıklı bir üretimdir.

Sürdürülebilir yeşil binalar

Binaların zemin özellikleri, kullanılan malzemenin kalitesi ve sıradan tasarımı günümüzdeki gereksinimleri karşılamamaktadır. Binaların sürdürülebilir bir yaşamın karşılanmasına da yanıt vermesi gerekmektedir. Bu amaçla, varolan kaynakları en verimli bir biçimde kullanmak üzere tasarlanıp inşa

edilen ya da yenilenip işletilen binalar, ***yeşil binalar*** olarak tanımlanmaktadır (Spiegel ve Meadows, 1999). Yeşil binalar, içinde yaşayanların sağlığını korumak, çalışanların verimliliğini artırmak, kaynakları verimli bir biçimde kullanmak ve olası olumsuz çevresel sorunları en aza indirmek amacıyla inşa edilmektedir.

Yeşil binalarda güneş pillerinden yararlanma, etkin ısı yalıtımı, otomatik havalandırma, aydınlatma verimliliğini yükseltmesi, yağmur suyundan yararlanma ve bitkilerin yetiştirilmesi öne çıkan unsurlardır. Binaların inşasında kullanılan beton, çelik, alüminyum, tuğla, yalıtım malzemesi ve cam büyük bir ölçüde geri dönüşüm süreçleri ile üretilmiş ürünlerden sağlanabilir.

Yeşil binaların yer seçimi tarım arazilerinin dışında, tarihi yerlerin ve ekolojik açıdan özel alanların dışında olmalıdır. Bu binalar, bulunduğu yerin konumu, yerin diğer unsurları ve iklimi ile uyumlu olmalıdır. Örneğin, GD Anadolu'da, konut mimarlığında taş malzeme egemendir. Bölge çok sıcak olduğundan, yapılarda kalın taş duvarların ve düz toprak damlı konutların inşa edilmesi sıcaktan korunmanın bir aracı olarak değerlendirilmektedir.

Yeşil binaların inşasında gözetilmesi gereken diğer unsurlar:

Doğal ışıktan en yüksek düzeyde yararlanma; ısıtma, iklimlendirme ve havalandırma sistemlerini iç mekânın hava kalitesi gözetilerek tasarlama, kirletici salınımı düşük malzemenin yanı sıra, enerjinin ile suyun geri dönüşümü de değerlendirilerek verimli kullanımı, binaları kullananların sağlığı ve güvenliği ile binaların olabildiğince ekonomik olarak üretilmesi.

Gelecekte binaların tasarımında küçük ve kullanışlı evler tercih edilecektir. Evde çocukların okul ödevini yapabileceği geçici bir alan ya da birkaç duvarı hareket ettirerek geçici bir misafir odası yaratılabilir. Nanoteknoloji ile üretilen kompozit malzemeler geleneksel yapı malzemelerinin yerini alacaktır. Otomasyon sistemleri ev yaşamının vazgeçilmez parçaları olacaktır. Bu sistemleri cep telefonu ile ya da taşınabilir bilgisayarlarla denetleyebileceğimiz günler gelecektir. Yani trafikte beklerken fırını açıp akşam yemeğini pişirmek ve açık kalmış elektrik ya da televizyonu kapatmak ve böylece enerji tasarrufu yapmak sıradan işler olacaktır.

Sonuç olarak çevre ile barışık, sağlıklı ve güvenli küçük konutların üretilmesi hedeflenmektedir. Yani öyle görülüyor ki, insanoğlu bir yol ayrımına gelmiş bulunmaktadır. Artık var olan kaynakları hoyratça kullanma lüksü yoktur.

Mimari akustik yapıların tasarımında gözetilmelidir. Akustik (akoustikos) Yunanca bir sözcük olup Türkçe karşılığı 'ses bilimi' dir. Bu da bir yapı içindeki akustik konforun gerçekleştirilmesidir. Ses çevremizdeki yaşamın akmakta olduğunun göstergesidir. Mimar Sinan payanda, mukarnas, pandantif ve ayak gibi yapı elemanlarını yansıtıcı olarak kullanmıştır. Uygun yankılanma süresi için yapı içinde sesin enerji kaybını sağlamak üzere harcın içinde keten kullanılmış ve duvar iç cidarları panel rezonatör işlevi yüklenmiştir. Ayrıca kubbede sesin odaklanmasını çözmek için kubbeye küp yerleştirmiş ve böylece akustik rezonatörlerle sorunu yani gürültü kirliliği sorununu çözmüştür.

Günümüzde çeşitli ülkeler özellikle hastanelerin, okulların ve sınıfların akustik tasarımı ile ilgili standartları geliştirme çabası içindedir. Bu çerçevede öncelikle çevrenin tasarımı aşamasında eğitim kurumlarının yerini belirlemek gerekir. Eğitime dair yapının konumu, yönü ve dolayında kullanılacak alanların türü ile yönlere göre dağılımı belirlenirken akustik sorunların olabileceği gözetilmelidir.

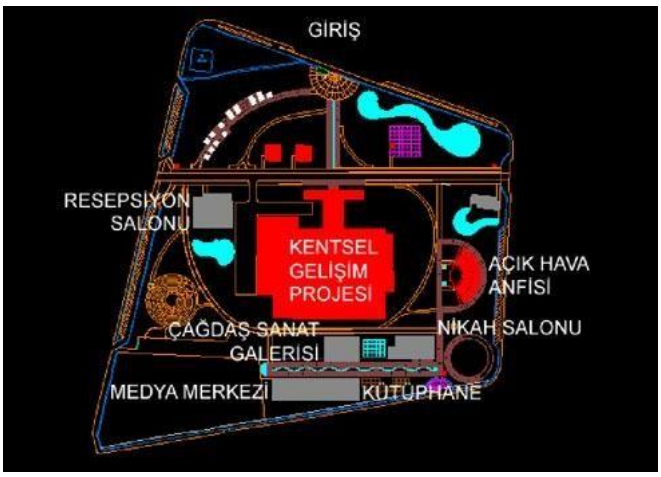
Ayrıca akustik denetim çalışmalarında sadece iç mekân ya da dış mekân gürültüsü değil, sesin dağılımı ve akustik karakteri de gözetilir. Hastaneler de sabır düzeyinin düşük olduğu yerlerdir. Yalnız hastalar değil, hasta yakınları ve hastane çalışanları da gürültüden etkilendiği görülmektedir. Dolayısıyla hastane ya da okul gibi mekânların sesin anlaşılmasında önem taşıyan akustik parametreler ışığında denetimi mutlaka yapılmalıdır.

Akıllı bina kavramı çerçevesinde yapılan binalardan bir görüntü Şekil 2'de görülmektedir. Söz konusu yapı, enerjisinin tümünü kendisi üretebilen Türkiye'nin ilk "Yerel Yönetim Yapısı" olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 2. Enerjinin tümünü kendisi tarafından üretilen Türkiye'nin ilk yerel bir yönetim örneği (http://v3.arkitera.com/) Tarih: 13 Aralık 2007 Derleyen: Özlem Bahadır Kebabcı.

Projenin sahibi, 2007 yılında mevcut Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı, Proje müellifi ve danışmanı ise uzun yıllardır enerji, ekoloji ve çevre konusunda çalışmakta olan Yüksek Mimar Çelik Erengezgin. Erengezgin, bölgenin yılda 3.016 saatlik güneşlenme süresiyle Türkiye'nin en çok güneş alan bölgesi olduğunu ve bu projenin kısa vadede Diyarbakır'da, uzun vadedeyse Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde güneş enerjisinin kullanımına yönelik örnek bir yapı olmasının hedeflendiğini belirtiyor. Projenin temel amacı, ilde ve yörede güneş enerjisi kullanımına yönelik toplumsal bilinç oluşturmaktır.

Ayrıca, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi'nin hazırladığı, "Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı" için finansmanın önemli kısmı, "AB'ye Katılım Öncesi Mali Yardım Programı" çerçevesinde "Sürdürülebilir Kalkınmanın Sektörel Politikalara Entegrasyonu Projesi" kapsamında AB fonlarından sağlanmıştır. Güneş Evi'nin planı ve bazı genel özellikleri Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Güneş evi planı (http://v3.arkitera.com/).

Güneş Evi, Diyarbakır'ın en uygun ve göz önü denilebilir bir noktasında, kültür, sanat ve eğitim merkezi olarak planlanan Sümerpark içinde yer almaktadır. Küçük bir ev kurgusuna sahip "Güneş Evi"nin, uygulama sonuçlarının görülebildiği ve bilinçlendirme faaliyetleri ve temiz enerji çalışmalarının yapıldığı bir "araştırma merkezi" olması hedeflenmiştir. Diyarbakır Güneş Evi'nin salonu; eğitim toplantıları ve bazı özel hizmetler için daima halka açık bir toplantı mekânı, ara katıysa üç kişinin rahatça çalışabileceği bir araştırma ofisi olarak planlanmıştır (http://v3.arkitera.com/).

Ayrıca ***çağdaş mimari*** çok hızlı gelişen bir dönemdedir. Aslında bu mimari uzun zamandır sessiz ve derinden günlük hayatımıza girmeye başlamıştı. Tasarlanan birbirinden ilginç binalar, akıllı gökdelenler, ilginç kültür merkezleri, hayranlık uyandıran terminal binaları derken sıra evlerin de yapımına geldi. Çağdaş mimari, yinelenmeye yer vermeden, konutlara da imzasını atmaya başladı. Birbirinden güzel ve ilginç evler yapılmaktadır. Çağdaş mimarinin örnek evlerinden biri de Şekil 4'de görülmektedir. Gelecekte, kendi kendine yetebilen, dışardan hiçbir katkıya gerek kalmadan, güzel ve kullanışlı evlerin tasarlanabileceği ve hizmete girebileceği şimdiden açıkça görülmektedir.

Şekil, 4. Çağdaş mimarinin örnek evlerinden biri
https://tr.pinterest.com/pin/142918988164059913/

Çağdaş mimarinin geleceğe yönelik tasarımları giderek gelişmektedir. Medyada servis edilen bilgilere göre, yakın bir gelecekte, depremden hiçbir şekilde etkilenmeyecek yapıların üretileceği öngörülmektedir. Örneğin, Japonya'da Şekil 5'de görüldüğü gibi toprakla teması olmayan magnetik evler şimdiden tasarlanmaktadır.

Şekil 5, Japonya'da, depremden etkilenmeyen ev, tamamıyla havada ve magnetik olarak duruyor. Toprakla bağlantısı yok.

YASAL ÇERÇEVE

50 oda ve üzeri oteller ile 300 konut ve üzeri yerleşim yerlerine dair projeler ÇED yönetmeliği (2022)'nin Ek-2 listesinde yer almaktadır. EK-2 listesinde yer alan projeler için ise Proje Tanıtım Formatı hazırlanması zorunluluğu vardır.

Bilindiği üzere; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Ayrıca "Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı" da 09.03.2019 tarih ve 30709 sayılı Resmî Gazetede yayınlanarak yürürlüğe koyulmuştur (JMO, 2021).

Zemin ve temel etüdü uygulama esasları ve rapor formatının amacı; bina ve bina türü yapıların tasarım, projelendirme, inşa ve denetimi için yapılması zorunlu olan zemin ve temel etütlerinin planlaması, arazi araştırmaları ve laboratuvar çalışmalarının yapılması, sahada karşılaşılan zemin birimlerinin (zemin ve/veya kaya) mühendislik özellikleri ile yeraltı suyuna ilişkin verilerin toplanması, yerel deprem etkilerinin belirlenmesi ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda zemin ve temel etüt raporlarının hazırlanmasına ilişkin usul ve esasları belirlemektir (ÇŞB, 2019). Söz konusu formatta, zemin ve temel etütleri kategorik olarak, çalışmanın içeriği bakımından da kategorilerin içerik ve kapsamı ekleri ve standartları ile birlikte tanımlanmıştır.

Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatına Dair Tebliğde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ de 17 Şubat 2021 tarihli 31 398 sayılı Resmî Gazetede yayınlanmıştır (ÇŞB, 2021). Buna göre "Zemin ve temel etütlerinde; Kategori 1 kapsamındaki çalışmalardan ZA ve ZB yerel zemin sınıfı grubuna giren çalışmalar jeoloji mühendislerince, diğer yerel zemin sınıfı grubundaki

çalışmalar jeoloji mühendisi ve jeofizik mühendislerince yapılır. Kategori 2 ve kategori 3 kapsamındaki çalışmalar inşaat mühendisi, jeoloji mühendisi ve jeofizik mühendislerince yürütülür."

Bu bölümde bir hususa daha değinmekte yarar vardır. Binaların güvenliği önemlidir. Depremde meydana gelen sarsıntıya dair kuvvet, iyi bilinen Newton'un İkinci Hareket Yasası (F = mxa)'na dayanır. Bu eşitlikte atalet kuvveti F, kütle (m) ile ivme (a)'nin çarpımına eşittir. Mühendisler, binaları ve yapıları tasarlamak için yanal sismik kuvvetleri belirlemek için bu temel yasayı kullanmak zorundadır (https://www.structuremag.org/?p=8763#:~:text=The%20Earthquake%20Shaking%20Force%20is,for%20designing%20buildings%20and%20structures). Bunun için 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun yürürlüktedir. Aslında mevcut yasaların ve yönetmeliklerin kamu yarına uygulanmaları halinde çoğu sorunların çözülmesi mümkündür. Önemli olan, uygulamada gerekli özenin gösterilmesidir.

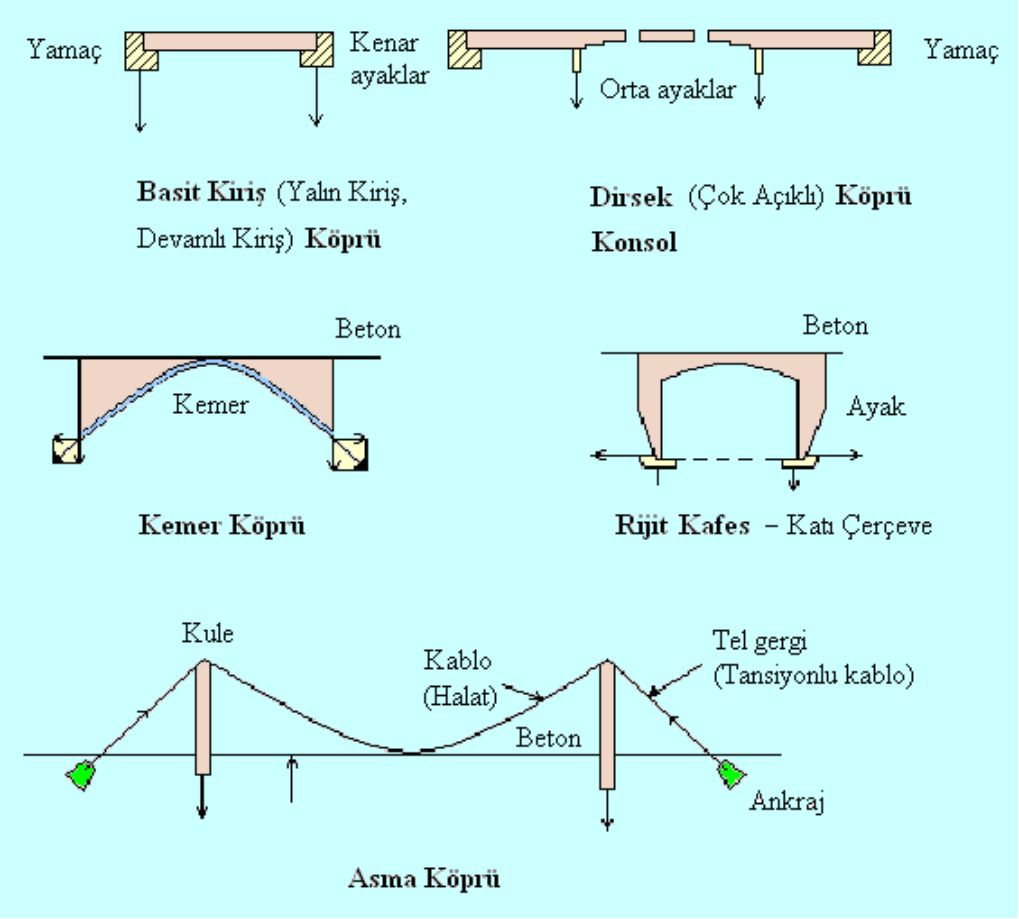
KÖPRÜ TEMELLERİ VE TASARIMI

Köprüler, bir akarsudan ya da vadiden geçmeyi kolaylaştıran ve emek, zaman ve kaynak tasarrufu sağlayan yapılardır.

Her köprüde iki tür yapı vardır: ***Üstyapı*** ve ***Altyapı***. Üstyapının ölü ağırlığı ve üstünden geçenlerin diri ağırlığı, ayaklar ve desteklerle altyapıya yani temele iletilir. Bu nedenle temeldeki kayatürlerinin dikey ve yatay değişimleri ile ayrışma durumlarının bilinmesi, gelecek yükün temel tarafından güvenlikle taşınıp taşınamayacağının saptanması gerekir.

Köprü türleri

Kullanılan gerece ve tiplerine göre çeşitli köprü türleri tanımlanabilir. Bunların yapıldığı gerece göre ağaç, taş, beton, demir ve çelik köprü adını alırlar. Yapı şekline göre ise ***basit kiriş***, ***dirsek***, ***kemer***, ***rijit kafes*** ya da ***asma köprü*** adları verilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Köprü türleri.

Basit kiriş türü bir köprüde (Şekil 6) üstyapının yükleri düşey olarak, plakayla yamaçlara ya da ayaklarla temele iletilir. Üstyapı çelik, betonarme veya taştan yapılabilir. Beton kenar ayakları ayrıca taşla kaplanabilirler.

Köprü açıklığı fazla olursa, iki yamaç arasına bir ya da daha fazla ayak konulur. Bu tip köprüye ***dirsek*** ya da ***konsol türü köprü*** denir. Açıklıkların üzerindeki döşeme parçalı ya da devamlı olabilir. Sıcaklık genişlemesini karşılamak için gerekli pay bırakılır.

Kemer ve rijit kafes türü köprülerde, yükler temele düşey ve yatay olarak iletilir. Kemer köprüler beton, çelik ya da ahşap olabilir. Rijit kafes türü köprüler, çelik ve betonarme türü malzemeden yapılır. Çoğu köprülerin bir veya iki açıklığı bulunur (Şekil 6).

Asma köprülerde yükler ayaklarla temele düşey olarak verilir. Ayrıca üstyapının duraylılığı için köprü çelik halatlarla yamaçlardaki ana kaya içinde beton kitleleriyle birlikte yerleştirilirler. Köprü ayaklarının yerleştirileceği temeli belirlemek için köprünün ayaklarının yerleştirileceği temeli de kapsayan enine kesitler hazırlanır. George Washington Köprüsü ile ilgili bir çalışma Şekil 7'de sunulmuştur. Köprülerin çökmeden, oturmadan, çatlamadan ve sonuç olarak yıkılmadan uzun süre kullanılmaları istenir.

Köprülerin planlanması

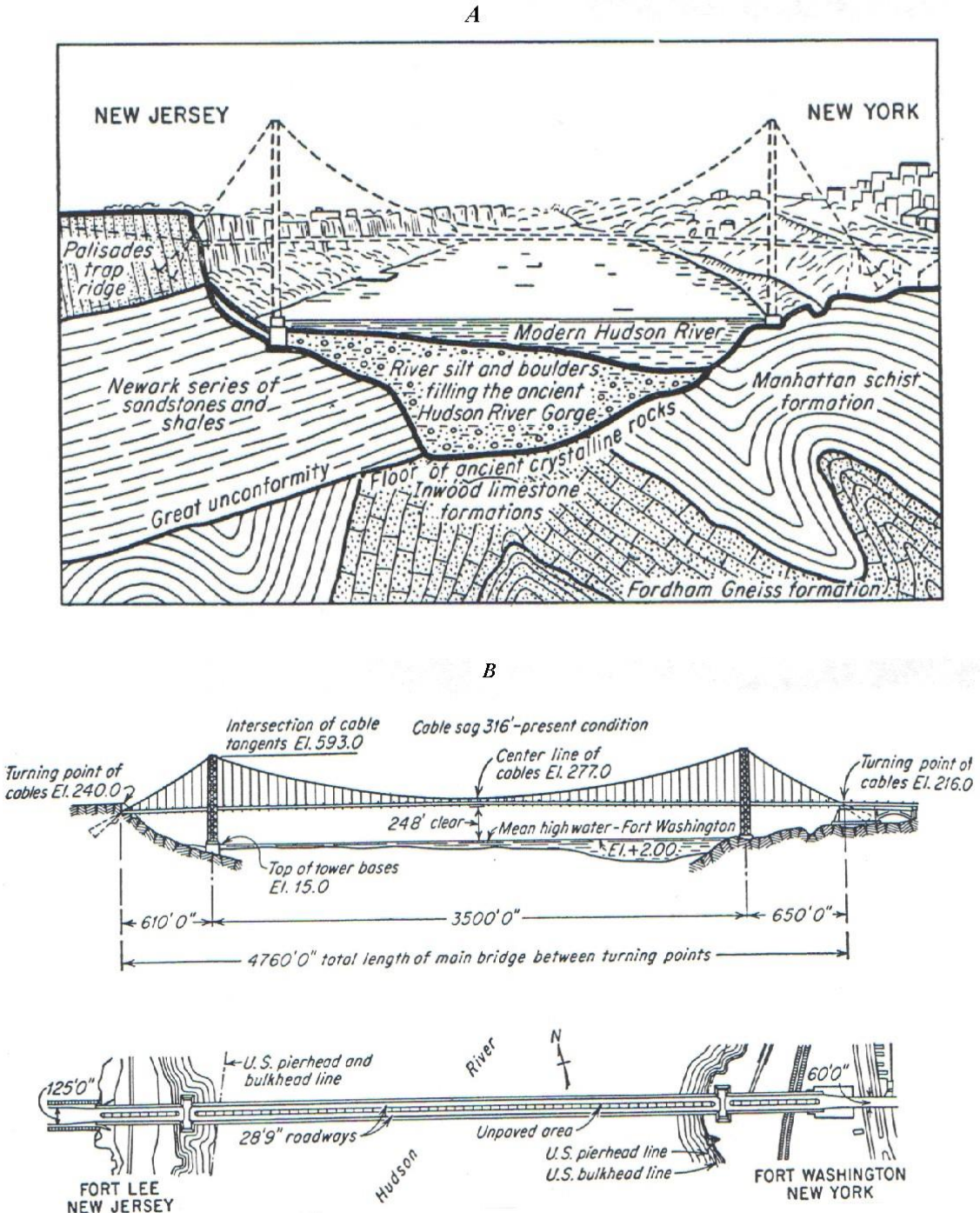
Köprü temel sondajları, yamaçlarda ve köprü ayaklarının oturacağı yerlerde yapılır. Sondaj sayısı temel koşullarına ve yapılacak köprü tipine göre değişir.

Yumuşak, taşıma gücü az olan zemin yüzeye yakınsa köprü kazık temeller üzerine oturtulur. Kazıklar ahşap, beton ya da çelik olabilir. Köprülerin temeli için sıkı kumdan oluşan zeminler tercih edilir. Temelin yıkanmaması ve yanlara kaçmaması için köprü ayaklarının etrafına koruma kazıkları çakılır ve iri bloklar konur. Taşıma güçleri az olan yumuşak zeminlerin 25- 30 m derin olan kesimlerinde oturma açısından sakınca yoktur.

Günümüzde öngörülen Yapı Güvenliği Sistemi aracılığı ile köprü giriş ve çıkışları ile köprü üzerindeki toplam yük özel alıcılarla (sensorlarla) düzenli olarak izlenebilmektedir. Dolayısıyla gerektiğinde çeşitli önlemler de alınabilmektedir. Yani alıcılardan gelen uyarılar, veri iletişim alt yapısı ile anında kontrol merkezine iletilebilir ve ekranda çıkacak alarm ve uyarılarla hızlı bir biçimde duruma müdahale edilebilir. Hatta köprüleri etkilemesi olası rüzgâr şiddetinin ölçülmesi, köprünün uzama genleşme devinimlerinin değerlendirilmesi, çelik aksamdan oluşan köprünün nem oranını ölçen sistemler de Yapı Güvenliği Sistemi'nin bileşenleri olarak yapılandırılabilir.

Köprülerin oturmalarına ve yıkılmalarına etki eden başlıca çevresel faktörler

1- Yamaç ve ayak temellerinin aşınması ve akarsular aracılığıyla yıkanması (erozyon),
2- Yamaç ve ayak temellerin yük nedeniyle yanlara kaçması,
3- Taşkın sularının umulandan fazla gelmesi,
4- Depremleri oluşturan faylar ya da deprem dalgalarının yarattığı dalga hareketleri sonucu temelin deformasyonu,
5- Asma köprülerde rüzgâr etkisinin iyi hesaplanamaması.



Şekil 7. George Washington Köprüsü'nün jeolojik enine kesiti (A) ve genel planı (B). ASCE Trans., 1933 (Krynine ve Judd, 1957).

Bilimin ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte köprülerin yer seçimi ve tasarımı konularında yoğun bir bilgi birikimi oluştu. Bu birikimin ülkemizde de yer bulduğu görülmektedir. Tanık olduğumuz örneklerden biri de 1915 Çanakkale Köprüsü'dür (Şekil, 8). 3,1 milyar euroya mal olan köprünün geçiş ücreti ilk aşamada euro üzerinden 200 lira olarak belirlenmiştir.

Şekil 8. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün genel görünümü.
https://www.trthaber.com/haber/gundem/1915-canakkale-koprusu-dunya-basininda-yuksekligi-eyfeli-gecti-613901.html Güncelleme tarihi: Mart 18, 2022 18:02

Köprü, Asya ve Avrupa kıtalarını Çanakkale Boğazı'nda ilk kez birbirine bağlamaktadır. Köprünün ayakları 318 metrelik yüksekliğiyle 18 Mart Çanakkale Deniz Zaferi'ni simgelemektedir. 1915 Çanakkale Köprüsü, 4 bin 608 metre uzunluğu ile dünyanın en uzun orta açıklıklı köprüsüdür. Köprünün girişi Şekil 9'da yakından görülmektedir.

Şekil 9. Köprü girişinin yakında görünümü
https://www.haberler.com/haberler/canakkale-koprusu-kac-yil-isletilecek-canakkale-14826582-haberi/
28 Mart 2022 18:42

Yapı Merkezi Holding Yönetim Kurulu Başkanı Başar Arıoğlu, Çanakkale Köprüsü için devletten hiçbir ödeme yapılmadığını; köprü ve otoyolların 11 yıl boyunca konsorsiyum tarafından işletileceğini yani geçiş ücretlerini kendilerinin alacaklarını, 11 yıl sonra devlete devredileceğini ifade etmektedir. Köprü, ***yap-işlet-devret*** modeliyle "Daelim-Limak-SK E&C-Yapı Merkezi Türk-Kore Ortak Girişimi" tarafından inşa edildi. Bedava gibi yansıtılan projede, kaç yolcu garantisi verildiği ve ücretin euro üzerinden güncelleneceği konuları askıdadır. Eser görkemli, ancak, ülkenin bunca ekonomik sorunu varken, böylesi bir köprünün ***yap-işlet-devret*** modeliyle inşa edilmesi bir yana; söz konusu

uygulamanın yaratacağı ekonomik hasar, gelecek kuşaklara mutlaka yansıyacaktır. Mega projelerde önemli olan, ancak kamu kaynakları ile ayakta kalabilen devletin, projeleri ne ölçüde kamu yararına gerçekleştirdiğidir. Halkımız, ulusal serveti rant amacıyla kullanan yönetimleri asla iyi bir şekilde anmayacaktır.

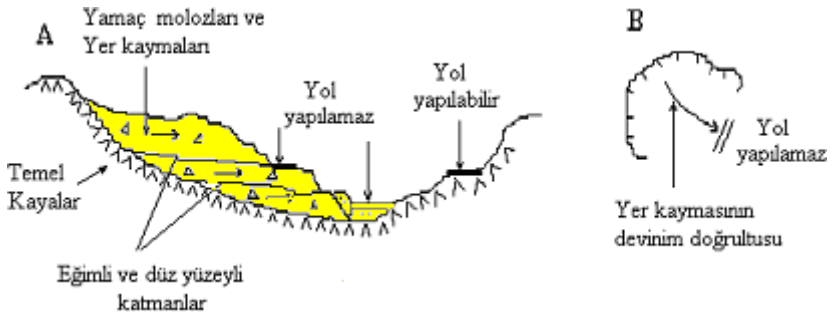
ÇİZGİSEL MÜHENDİSLİK YAPILARI: YOLLAR ve BORU HATLARI

Karayolları, demiryolları ve boru hatları gibi çizgisel mühendislik yapıları ulaştırma sektörünün omurgasını oluşturmaktadır. Ekonomik ve sosyal girdileriyle toplumu sürekli etkileyen ulaştırma sektörü, üretim sürecinin de önemli bir bölümünü oluşturur. Türkiye, doğu ile batı arasında bir köprü niteliğindedir. Bu jeopolitik konum, ülkeyi ve ulaştırma sektörünü önemli bir noktaya taşımıştır. Türkiye'nin jeopolitik konumu ve Dünya ticarinde giderek daha fazla bir işleve sahip olması, ulaştırma konusunun önemini artırmaktadır (Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2013).

Ulaştırma sektöründe, artan arz-taleple birlikte trafik yoğunluğunun hava kirliliğini yaratması ve çeşitli kazaların çevresel etkilere yol açabileceği unutulmamalıdır (Ülgen ve diğerleri, 2007). Tüm bu etkiler göz önünde bulundurulduğunda; karayolu, demiryolu ve boru hatları gibi çizgisel mühendislik güzergâhlarının iyi bir şekilde planlanması zorunlu görülmektedir. Dolayısıyla, ulaşım sektörünün çevresel etkileri ayrıntılı irdelenmeli ve çevresel etkileri en alt düzeye indirecek önlemler alınmalıdır.

Güzergâh seçimi

Tüm çizgisel mühendislik projelerinde, jeoloji, hidrojeoloji, mühendislik ve jeoteknik çalışmaların eksiksiz bir biçimde yapılmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca güzergâh boyunca doğa kaynaklı risklerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle heyelanların (kayma kütlelerinin) devinim doğrultusunu dik kesecek şekilde otoyol, demiryolu ya da petrol boru hattı yerleştirilmemelidir (Şekil, 8). Jeoteknik açıdan gerekli görülen yerlere, temeli sertleştirici kil enjeksiyon tekniği ya da donatılı toprak dolgu kullanılmalıdır.



Şekil 8, Yer kayması (heyelanlı yapılar) ve çizgisel mühendislik yapıları arasındaki ilişkiler;
A, enine kesit; **B,** bir yer kaymasının (heyelanın) planda üstten görünümü ve yolun doğrultusu.

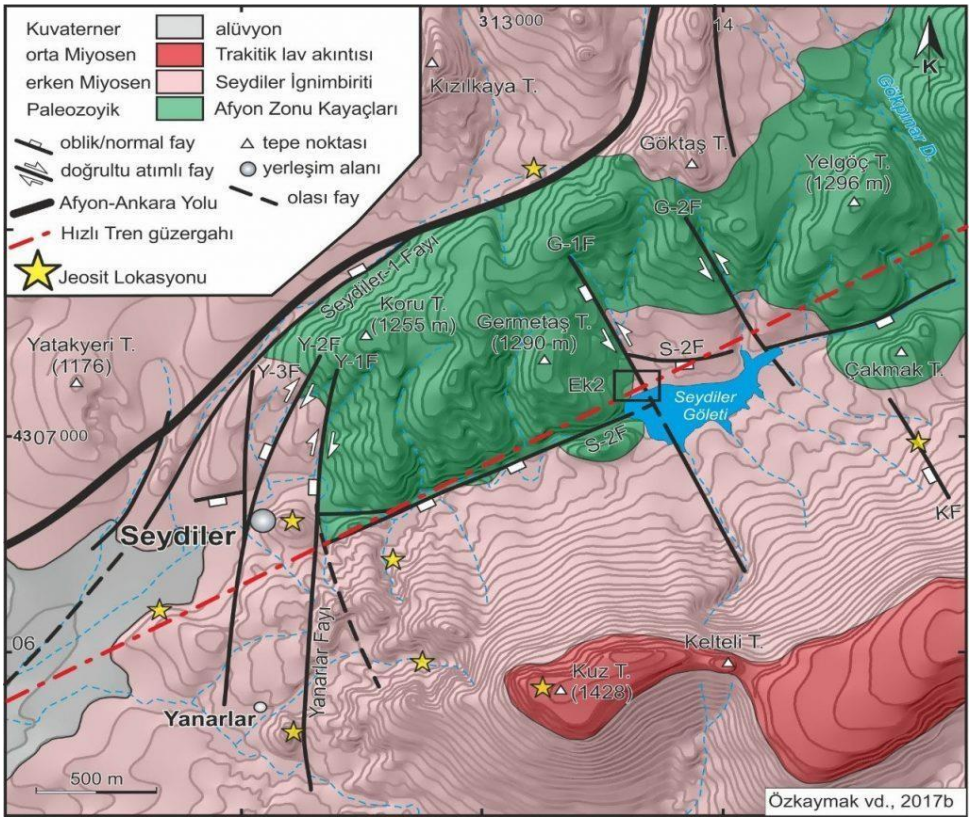
Otoyolların ve demiryollarının planlanmasında su-süreksizlik-kil (SSK) üçlüsünün olumsuz etkilerinin ve dik yamaçların egemen olduğu yerlerden kaçınmak gerekmektedir. Bu tür yerlerde en etkili süreksizlik türü katmanlanmadır. Katmanlanma eğiminin fazla olması duraysızlığı artırır. Ayrıca çok yağış alan bölgelerde aşınma (erosion) ile yamaç yüzeyi sürekli bozulur, akaçlama hendekleri sık aralıklarla su ile dolar ve yol sık sık çamur akmalarının olumsuz etkileri altında kalır. Sonuç olarak böyle yollarda bakım-onarım ve araç işletme giderleri kabul edilebilir sınırların ötesine taşar. Yamaçlarda kablolu tutturma, çubuklu tutturma ya da püskürtme beton kullanılarak öncelikle yamacın duraylılığının sağlanması gerekir.

Kara ve demiryollarının yapımına başlamadan önce, bölgede jeolojik araştırmalar yapılmalıdır. Yer kayması, oturma, yeraltı suyu durumu, kaya ve zeminlerin ayrışma durumu ve kazılabilme özellikleri, kullanılan malzemenin sağlanabilme olanakları maliyeti etkiler. Bazen topografik harita

üzerinden seçilen en kısa güzergâh, en elverişli güzergâh olmayabilir. Yollar tepe, yamaç, dere ve düzlüklerden geçer. Yeryüzü ve zemin koşullarına göre sorunlar çeşitlenmektedir. Genellikle dağ tepelerden geçen yollarda kar ve don; yamaçlarda yer kaymaları, dere ve düz yollarda taşkın ve oturma sorunları vardır.

Yapılan çalışmalarda yol zeminin tanımı ve zemininin kayatürü (litolojisi) ve yapısal özellikleri yüzey ve yeraltı suları, kazılabilme durumu, dona karşı duraylılık malzeme olabilme niteliğindeki kayalar araştırılır. Jeolojik harita yapımından sonra, üzerinde durulan güzergâhlar boyunca jeolojik kesitler çıkarılır. Burgu, çukur açma, sondaj ve jeofizik yöntemlerle yeraltı araştırmaları da yapılır. ***Kayalar*** çatlak, ayrışma durumu, suya karşı duyarlılık gibi özelliklere göre sınıflandırılıp bu özelliklerin de hazırlanan kesitlere işlenmesi gerekmektedir.

Güzergâh seçiminde ve seçilen güzergâhın bakımında gerekli özen gösterilmezse, çeşitli kazalarla karşı karşıya kalınabilir. Örneğin, Ankara-Afyon-İzmir Yüksek Hızlı Tren (YHT) güzergâhı çalışmalarında, viyadük ayaklarından birinin aktif fay hattı üzerine inşa edilmesi dolayısıyla meydana gelen kaza, herkesin bilgisi dahilindedir (http://sendika62.org/2018/10/tmmob-jeoloji-muhendisleri-odasi-uyardi-hizli-tren-guzergahindaki-viyaduk-aktif-fay-hatti-uzerine-insa-ediliyor-515466/, 28 Ekim 2018, saat 21.00). Kazanın meydana geldiği yer, Şekil 9'da sunulan jeoloji haritasından izlenebilir. Söz konusu harita incelendiğinde, hızlı tren güzergâhının fayın üzerinden geçtiği açıkça görülmektedir.



Şekil 9. Ankara-Afyon-İzmir YHT hattının Seydiler (Afyonkarahisar) bölümü ve dolayının jeoloji haritası (JMO, 2018'den).

Yapılan incelemede, Ankara-Afyon-İzmir YHT hattının Seydiler (Afyonkarahisar) bölümünde, Seydiler Göleti kuzeyinde geçiş güzergahı viyadüklerle karşılandığı görülmektedir. Bu viyadüklerden biri için açılan temelin (Şekil 10), KKB-GGB uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı bir fay üzerinde yer aldığı,

bununla beraber göletin hemen kenarına açılan temel litolojisinin bu fay kırığı boyunca gölden sızan sularla suya doygun hale geldiği gözlenmiştir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olması, fayın varlığı ve zeminin dayanımını önemli oranda düşürmekte, buda olası bir deprem sırasında mühendislik yapılarının zarar görmesine neden olmaktadır.

Şekil 10. YHT viyadük ayağı için açılan temelin görünümü (JMO, 2018).

JMO'nun (2018) yaptığı incelemede belirttiği gibi karayolu, demir yolu, viyadük, tünel gibi mühendislik yapıları yapılırken, fayların paleosismolojik analizinin, tipi ve geometrisi gibi jeolojik özelliklerinin dikkate alınarak etüt, planlama ve yapım çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu gereksinim duyulan hususlar gözetilmezse, 1999 Marmara depreminde, 50'ye yakın yurttaşın canına mal olan Sakarya'daki viyadük yıkılması ile Bolu Tüneli ve bağlantı viyadüklerinde yaşanan benzer sorunlarla karşılaşılabilir.

Sonuç olarak, konuya dair yapılan değerlendirmeler sonucunda, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara-Afyon-İzmir YHT hattının Seydiler (Afyonkarahisar) bölümünde yapım çalışmaları devam eden viyadük ayaklarından birinin aktif fay hattı üzerine oturtulduğunu duyurdu. 8 Temmuz 2018'de 35 kişinin yaşamına mal olan Çorlu'daki tren kazasının da zemin problemlerine dayalı mühendislik hatasından kaynaklandığını anımsatan TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası açıklamasında ***"Gelecekte herhangi bir kazaya, can ve mal kaybına yol açmamak adına henüz inşaat aşamasındayken uyarıyoruz!"*** ifadelerini kullandı.

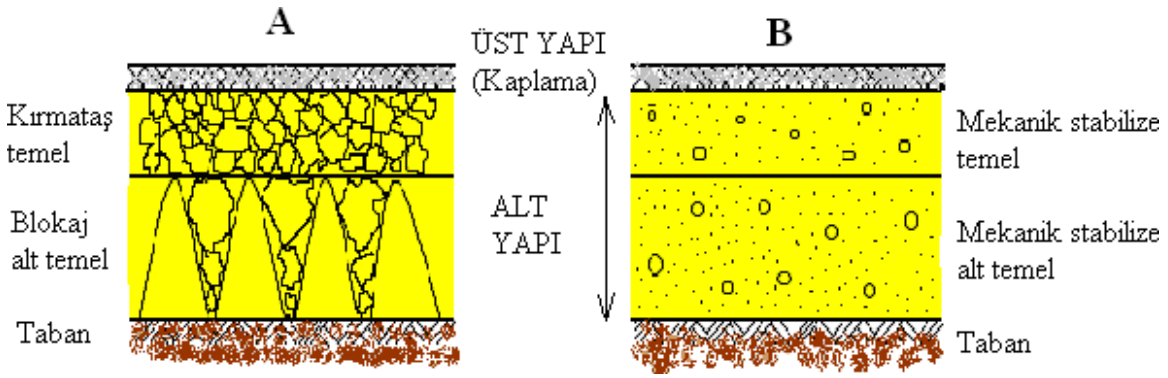
Karayollarının tasarımı

Karayolları başlıca a) Makadam (Mc. Adam) b) Parke taş c) Stabilize d) Beton olarak yapılabilir.

Yolların yapımında, trafik dolayısıyla gelen yüklerin homojen olarak zemine verilmesi, gelen yüklerin zeminin taşıma gücünü aşmaması ve ayrıca yol yüzeyinin kolayca aşınmaması istenir. Bunun için yol yüzeyinin sağlam ve su geçirmeyen maddelerle kaplanması gerekmektedir.

Yollar, zemin üzerine çeşitli özelliklerde (kırma taş ve blokaj) ve kalınlıklarda katmanlar serilerek ve sıkıştırılarak yapılır. En altta doğal zemin (subgrade) üzerinde ise sıra ile alt temel (subbase) ve temel (base course) gelir. Bunların tümü yolların ***"alt yapı"***sını oluşturur. Alt yapının üzerine yolun cinsine göre stabilize, bitümlü kaplama ya da beton kaplama konulur ve bunlar da yolun ***"üst yapısı"***nı oluştururlar (Şekil, 11).

Makadam yol için tabanın üzerine alt yapı olarak sıra ile blokaj alt temel, kırmataş temel, üst yapı olarak ise kaplama yapılır. ***Stabilize yol*** için üst yapı yani asfalt 1-15 cm. arasında bir kalınlıkta olup ince bir bitüm ile sıvanır. Alt yapı (temel) ise doğal olarak bulunan çakıl, kum ya da çimento-asfalt gibi bağlayıcılar ve silt-kum-çakıl karışımı bir gereçten yapılır. Bazen yerli taban üzerine doğrudan beton kaplama da yapılır.

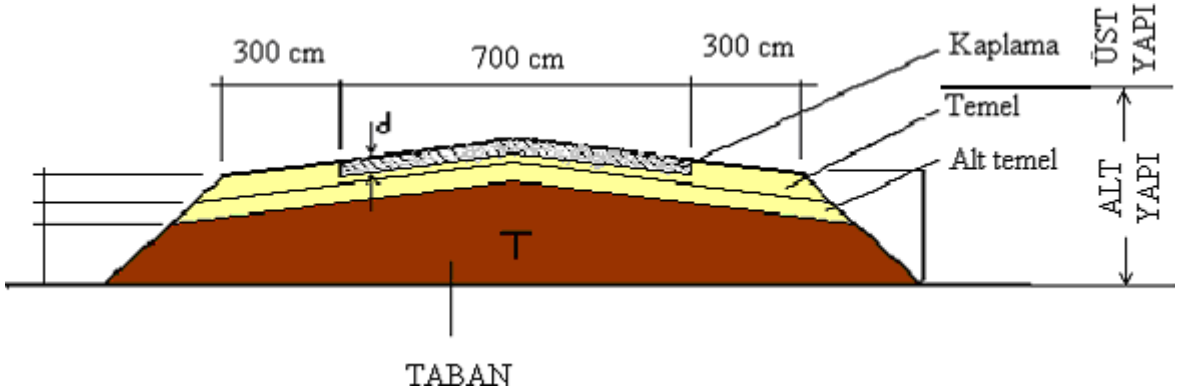


Şekil 11, Karayolu enine kesitleri: A) Makadam (Mc Adam) yol; B) Stabilize yol (Erguvanlı, 1994).

Şekil 11 irdelendiğinde ***makadam yol*** ile ***stabilize yol*** arasındaki farkın, alt yapıyı oluşturan gereçlerin türünde olduğu görülür. Örneğin Makadam yolun alt yapısı iri taneli gereçten, stabilize yolun alt yapısı ise ince taneli gereçten oluşmaktadır.

Yeraltı suyu sorunu olan ve demir tekerlekli vasıtaların geçe bileceği il ve ilçe yolları ***parke taşı*** döşenerek yapılmaktadır. Bunların bakım harcamaları azdır. Ancak hemen yakın yerlerde parke taşı ocakları ve alta serilecek kumun yeteri kadar yakın dolaylarda bulunmaları ve ayrıca ucuz olmaları gerekmektedir.

Öte yandan, tipik bir ***devlet yolu*** enine kesiti ve yolun temel bölümleri Şekil, 12'de görülmektedir. Böyle bir yol, başlıca Üst Yapı (Kaplama), temel, alt temel ve tabandan oluşmaktadır.



Şekil 12, Türkiye'de tipik bir kara yolunun enine kesiti. Kaplama, temel, alt temel ve taban (Erguvanlı, 1994).

Günümüzde, karayolları, artık artan nüfus yoğunluğunun gereksinimlerini karşılayacak şekilde planlanmaktadır. Örneğin, Kahramankazan'da Anadolu Otoyolu'nun Akıncı mevkiindeki Türk Havacılık

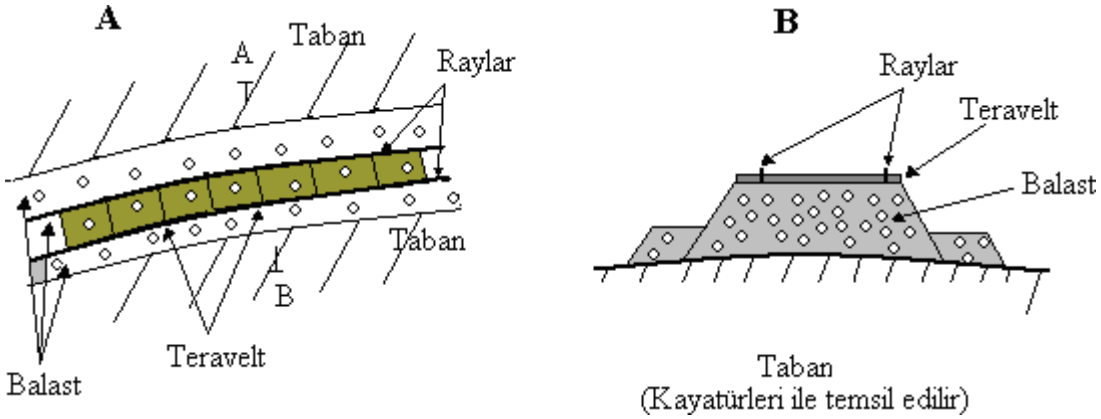
ve Uzay Sanayi Köprülü Kavşağı ve bağlantı yolları (Şekil 13) söz konusu planlanmaya güzel bir örnektir.

Şekil 13. Köprülü bir kavşak örneği
https://www.hurriyet.com.tr/yerel-haberler/ankara/bugun-hizmete-acilacak-41812983
(18 Mayıs 2021, saat 14.15).

Bu köprülü kavşak projesinde 2x3 şeritli, bitümlü sıcak karışım kaplamalı 1 kilometrelik yol, 85 metre uzunluğuna sahip 1 kanal köprüsü, 41 metrelik 1 alt geçit köprüsü ve 2 menfez yapımı ile 4 menfez genişletmesi yer almaktadır. İnşa edilen köprülü kavşakla, Türk Havacılık ve Uzay Sanayi ile Ankara Havacılık ve Uzay Havacılık İhtisas Organize Sanayi Bölgesi'nin Anadolu Otoyolu'na doğrudan katılımı sağlanmaktadır.

Demiryollarının tasarımı

Demiryollarının tasarımı ile karayollarının tasarımı farklıdır. Bir demiryolunun tasarımında zeminin üzerine belli bir oranda balasttan oluşan gereçler serilir. Raylar ve rayları enine bağlayan ***teraveltler*** balastların üzerinde döşenir (Şekil 14). Ayrıca, demiryolu için, karayoluna göre daha az eğimli güzergâh seçmek gerekir.



Şekil 14, Bir demiryolunun boyuna **A** ve enine **B** yapay kesitleri

Zeminler kazılıp ortaya çıkan gereçler bir yere yığılınca kendi iç hacimlerinden daha fazla bir yer işgal ederler. Bir süre, hacim belli bir oranda artar. Buna ***kabarma*** denir. Örneğin 100 m^3 lük bir som kireçtaşı kazılıp, bir yere konulunca 125 m^3'lük bir hacim kaplar. Yani kabarma % 25 ve ***kabarma katsayısı*** 1,25'dir. Bu kazı malzemesi yol yapımında kullanılırsa sıkıştırılması gerekir. Böylece hacmi de bir miktar azalır. Buna ***sıkışma*** denir. Sıkışma miktarının ya da sıkışma % sinin bilinmesi, yolun dolgu

hacmi hesapları için önemidir. Sıkışma oranı laboratuvar deneyleriyle bulunur. Kabarma ise gözle tahmin edilebilir.

Yol profilleri üzerine zeminin sıkışma ve kabarma yüzdeleri işaretlenir. Ayrıca yol boyunca yer alan kayaların taban gereci olarak elverişlilik dereceleri de belirlenir. Bu da ***taban kayalarının sınıflandırılması*** çerçevesinde yapılır. Sınıflama ışığında kayaların nitelikleri ile birim alana gelen yükün dağılışı, bu yükün taşınıp taşınamaması ve kayaların su tutması ya da suda erimeleri arasında ilişkiler aranır. Buna göre yolun sağlam ve en uygun zemine oturtulmasına ve gerekirse sağlamlaştırılmasına çalışılır. Zeminin taşıma gücüne göre yola serilecek malzeme kalınlığı belirlenir.

Trafik yükü, Kalifornia Taşıma Oranı (CBR) gibi değerler daima gözetilir. Elek analizleri %' lerine (40 no'lu elekten geçen kısmın özelliklerine ve içerdiği kayatürlerine) göre hazırlanan çizelgelerde, gerecin grup indisleri sunulmakta ve bu indislerle günlük iki akslı vasıta ağırlığı düzeyinde bir trafiği taşıyan ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) ölçütlerine göre yapılan abaklardan, serilmesi gerekli malzeme kalınlıkları bulunur. CBR, 19 cm^2 daire kesitli bir piston ile zemin kütlesinde 1.3 mm/dk bir penetrasyon sağlanması için birim alana uygulanması gereken kuvvetin standart malzemede aynı penetrasyonu sağlamak için gereken kuvvete oranıdır.

Son yıllarda demiryollarına yönelik çalışmaların ivme kazandığı ülkemizde, Yüksek Hızlı Tren (YHT) hatlarının bir kısmının tamamlandığı, bir kısmının inşaatlarının devam ettiği ve yeni bazı hatların etüt-proje çalışmalarının ise devam ettiği bilinmektedir. Bu güzergâhların son derece ayrıntılı incelenmesinde ve planlamanın yapılan jeolojik incelemeye göre tasarlanmasında yarar vardır. Çünkü, YHT hatları (Şekil 15), önemli ve güvenlik gerektiren bir ulaşım modelidir.

Şekil, 15. Faaliyet halinde olan Yüksek Hızlı Tren hattında bir görünüm (JMO, 2018).

Yasal çerçeve

Anayollar ve hava alanları ÇED yönetmeliği (2022)'nin EK-1 listesinde; İl yolları ve çevre yolları, Karayolu ya da demiryoluna tünel eklenmesi, Ek-2 listesinde yer almaktadır. Ek-1 projesinde yer alan projeler için ÇED Genel Formatı, EK-2 listesinde yer alan projeler için ise Proje Tanıtım Formatı hazırlanması zorunluluğu vardır.

ÇİZGİSEL MÜHENDİSLİK YAPILARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Ülkelerin ekonomileri için önemli yere sahip olan ulaştırma sektörü; karayolları, demiryolları, havayolları ve denizyolları gibi alt sektörleri ile birlikte sahip oldukları sosyal ve ekonomik girdileri açısından yatırım projeleri arasında ön plana çıkmaktadır. Sosyal ve ekonomik yararlarının yanı sıra ulaşım sektörünün, fosil yakıt kullanımı, atık oluşumu ve ekosistem üzerindeki etkileri gibi önemli çevresel boyutları bulunmaktadır. Bu nedenle, ulaşım sektörünün çevresel etkileri detaylı olarak irdelenmeli ve çevresel etkileri ortadan kaldıracak ya da en aza indirecek önlemler belirlenerek uygulanması sağlanmalıdır (Çakır ve diğerleri, 2013). Bunun için, söz konusu projelerin çok disiplinli yapısı ve ülkenin mevcut doğal kaynakları gözetilerek, proje seçeneklerinin sağlıklı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

Ulaştırma sistemleri insan yaşamı ve ekonomik faaliyetler için vazgeçilmez olmalarının yanı sıra gerek inşaat gerekse işletme aşamalarında doğal çevreye ve insanlara farklı boyutlarda zarar vermektedir. Ulaştırma alt sistemlerinden biri olan karayolu da ekolojik sistemi ve insan sağlığını farklı oranlarda etkilemektedirler. Karayollarının yapımı sırasında doğal araziler tüketilmekte ve habitatlar bölünmekte, bu da ekolojik dengeyi olumsuz etkilemektedir (Çizelge 2).

Çizelge, 2. Karayolları ulaşım güzergâhların çevresel etkileri (Yüksel ve Baştanlar, 2013).

İnşaat aşamasındaki etkiler	**Etki Türü**
-Geçici arazi işgali	*
-Geçici hava kirletici emisyonlarda artış	*
-Geçici suya deşarjlar ve su yatakları üzerine fiziksel etkiler	*
-Geçici gürültü emisyonları	*
-Toprak yapısında değişiklikler ve bozulmalar	*
-Su kalitesindeki değişiklikler ve bozulmalar	~
-Habitatlar, flora ve faunada değişiklikler ve kayıplar	*
-İnşaat alanının çevresinde yaşayanlara verilen rahatsızlıklar	~
-Peyzajda görsel değişiklikler	*
-Doğal, kültürel ve arkeolojik kaynak değerler üzerinde değişiklikler ve bozulmalar	~
-Arazi örtüsü/kullanımı değişikliği ve kayıplar	~
-Sınır-kenar etkisi oluşumu	*
İşletme aşamasındaki etkiler	
-Morfolojinin bozulması	*
-Hidrolojinin değişmesi	*,~
-Habitat kaybı	*,~
-Biyolojik çeşitliliğin azalması	*,~
-Kırsal peyzajdaki değişiklikler	*
-Toprak kirliliği	*
-Hava kirliliği	*
-Su kirliliği	*
-Gürültü kirliliği	*
-Peyzaj üzerindeki etkiler	*
-İnsan sağlığı üzerine etkiler	~
-Sınır-kenar etkisi oluşumu	*

*:Doğrudan etki, ~:Dolaylı etki

Çizgisel mühendislik yapılarının planlanmasına ve inşaatına başlamadan önce, mevcut çevresel durumun tanımlanması gerekmektedir. Mevcut durumu tanımlamak üzere aşağıda boru hatları için Canter (1977) tarafından önerilen, ancak kısmen değiştirilmesinde yarar görülen örnek bir liste sunulmuştur:

1. Arazi kullanımı ve özellikleri- Sahanın özellikleri ve kullanımının belirlenmesi,

Arazi kullanımları. Şu andaki arazi kullanımların (yani tarım, sanayi, dinlenme amacıyla ya da doğal yaşamla ilişkili olarak ortaya konulan arazi kullanım biçimlerinin) tanımlanması ve böylece, gelecekteki gelişmelere bağlı olarak ulaşım koridorlarını belirlemeyi, yolları, karayolları, gemi güzergâhları ve hava trafik yollarını ve bunların (yeraltında, yüzeyde ya da havada) yerleşimini tanımlamak da mümkündür. Ayrıca su kaynaklarının bu çerçevede değerlendirilmesinde yarar vardır.
Topografya, fiziki coğrafya, jeoloji. Önerilen faaliyetin sahası içinde topografik, coğrafik ve jeolojik özelliklerin ayrıntılı tanımlarının hazırlanması,
Doğal Jeolojik tehlikeler. Sahada jeolojik tehlikeler; depremler, sel ve taşkın, toprak çökmesi, heyelan, don altındaki toprak ve erozyon gibi doğal Yer süreçlerinin tanımlanması,
Topraklar. Toprağın bileşimi, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ve kullanım biçiminin tanımlanması,

2. Türler ve ekosistemler- Önerilen faaliyetten etkilenmesi olası türlerin ve ekosistemlerin belirlenmesi,

Türler. Önerilen proje sahasında bulunan flora ve faunanın ve doğal yaşama ilişkin ilişkilerin bilimsel ve genel isimlerinin listelenmesi,
Topluluklar ve birlikler. Önerilen faaliyet sahası içinde tür toplulukların ve birliklerin yerini tayin etmek ve baskın olan bitkilerin ve doğal yaşamın tanımlanması, bu çerçevede türlerin popülasyon yoğunluğuna ilişkin kestirimlerin hazırlanması ve önerilen faaliyet sahasında verile yoksa komşu sahalardaki karşılaştırılabilir verilerin kullanılması,
Nadir bulunan diğer türler. Önerilen faaliyet sahasında nadir veya tehlikeli türlerin ve diğer biyotik kaynakların veya ekosistemlerin sahadaki öneminin tanımlanması,

3.Sosyoekonomik durum- Önerilen bir faaliyet yerel bir sahada önemli sosyoekonomik etkilere sahipse faaliyetin gelecekte uygulanmaması nedeniyle ortaya çıkması olası sosyoekonomik durumun tartışılması gerekir. Bölgenin yakın dolayındaki ekonomik gelişmeyi tanımlayan özellikle yerel vergi tabanları, kişi başına yıllık gelir ve ekonomik gelişmedeki yönelimlerin tanımlanması gerekir. Ayrıca arazi kullanımını, tarihi ya da geleceğe yönelik bakışın değerlendirilmesi, sahanın populasyon listelerini, şehirlerin ve meskenlerin yakınındaki projenin siteden uzaklığının belirlemesi, bu çerçevede önerilen faaliyetin gerçekleşmesi halinde doğrudan etkilenecek ve gerekli görüldüğünde yer değiştirecek iş ve endüstri alanları ve meskenlerin tip ve sayılarının belirlenmesi planlanmalıdır.

4.Hava ve su ortamı- Sahanın hava ve su kaynakları potansiyelinin ve iklimin öneminin tanımlanması,
İklim. Önerilen faaliyetin gerçekleşeceği yerde egemen olan iklimsel koşulların tanımlanması, ayrıca fırtına ve kasırga gibi hasar yaratan hava hareketlerinin ve sis, duman, sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi,
Hidroloji ve hidrojeoloji. Havza akaçlama sistemlerinin gösterilmesi ve önerilen projenin yakınında bulunan tatlı, hafif tuzlu veya tuzlu yüzeysel suları su döngüleri, su gereksinimi, su kullanımını ve fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlaması, bu çerçevede akifer sistemlerinin akış özelliklerinin su kaynakları kullanımının ve yeraltı su düzeyinin tanımlanması,
Hava ve su kalitesi ile gürültü düzeyi. Faaliyet sınırları içerisinde maksimum gürültü düzeyinin, hava ve su kalitesinin mevcut durumunu yansıtan verilerinin derlenmesi,

5.Nadir bulunan kültürel yapılar- Tarihi, arkeolojik ve doğal değeri bulunan yapıların belirlenmesi.

Ulaşım sektörü projeleri, genel olarak planlama ve inşaat aşamasından başlayarak, işletme ömrü boyunca önemli çevresel etkileri barındırmaktadır. Bu çevresel etkilerin başında, iklim değişikliği, hava kalitesi, gürültü, su ve toprak kalitesi, biyoçeşitlilik ve arazi kullanımı üzerindeki etkiler yer almaktadır (Çakır ve diğerleri, 2013).

Temel çalışmaları sırasında, özellikle çok katlı binaların yapımında ya da köprü ve yol yapımları sırasında küçümsemeyecek boyutlarda çevresel etkilerin ortaya çıkacağı açıktır. Kimi zaman bir açık taş ocağı işletmesi sırasında ortaya çıkması olası tüm etkiler, temel incelemeleri sırasında da görülebilir. Çünkü bu tür işletmeler de bir bakıma bir açık işletmenin özelliklerini yansıtmaktadır. Dolayısıyla açık işletmeler için geçerli önlemler temel incelemeler için de geçerlidir.

Temel işletmelerinin çevresel etkileri de, ortaya çıkan çevre kirliliği açısından dört bölümde irdelenebilir. Bunlar sıra ile görüntü kirliliği, hava kirliliği, su kirliliği ve gürültü kirliliği biçiminde sunulabilir.

Görüntü kirliliği: Ortaya çıkan pasa, yani katı atıklar ya da kullanılan malzeme iyi değerlendirilmezse görüntü açısından bir kirlilik oluştururlar. Bu atıkların, yasa ve yönetmeliklerde öngörüldüğü gibi bertaraf edilmelidir.

Hava kirliliği: Özellikle yol yapımı sırasında ya da gerekli malzemenin taşıma evresinde ortaya çıkan partikkül, toz ve kullanılan yakıtlardan ortaya çıkan gazların hava kirliliği yarattığı bilinmektedir. Bu kirlilik özellikle çalışanlar üzerinde olumsuz etkiler bırakabilmektedir. Yerlerin ve kimi zaman kullanılan malzemenin sulanması ve bazı çalışanlar tarafından gerektiğinde maske kullanılması birer çözüm olabilir.

Su kirliliği: Temel incelemelerinde özellikle inşaat sırasında ortaya çıkan kayalarda bulunan ağır metallerin ve makinalarda kullanılan yağların gelişigüzel doğaya bırakılması yeraltı sularını kirletme potansiyeli vardır. Bunun için yörenin yeraltı su tablası ile işletme yapılan yerin ilişkileri de gözden geçirilip gerekli önlemler alınmalıdır.

Gürültü kirliliği: İnşaat evresinde kullanılan kimi büyük makinaların çalışması yoğun bir gürültü kirliliği yaratabilir. Ayrıca yolların işletme evresinde çevrelerinde yoğun bir gürültüye yol açtıkları görülmektedir. Özellikle, çalışanların kulaklık kullanması ve makinaların bakımının düzenli yapılması gerekir. Ayrıca yolların işletme evresinde çevrelerinde yoğun bir gürültüye yol açtıkları görülmektedir. Böyle bir durumda ÇED Yönetmeliği ışığında, gürültünün yayıldığı ve algılandığı yerlere özgü bazı önlemler öngörülebilir.

Yolların yapımı sırasında alınması gereken önlemler

1- Yol yapımı, yükleme ve boşaltma sırasında oluşacak toz miktarını en alt düzeye indirmek için; kazı ya da dolgu yapılan kesim, uygun miktarda, düzenli olarak sulanmalı ve taşıma yapan kamyonların üzerleri ise örtülmeli.

2- İş makinelerinden kaynaklanan gürültünün azaltılması için, makinelerin bakımları düzenli yapılmalıdır.

3- Kazı yapılan kesimlerde patlatmalar, 08.00- 22.00 saatleri arasında halka radyo anonslarıyla duyurulmak suretiyle yapılmalı ve kesinlikle galerili patlatma yapılmamalıdır. Basamak türü gecikmeli patlatma tekniği uygulanmalıdır.

4- Yarmadan elde edilecek malzemenin dolgu yapılacak yamaçtan (şevden) aşağıya gelişigüzel bir şekilde atılmaması, gerekli inşaat önlemlerinin alınması, bunun mümkün olmadığı yerlerde koruyucu önlemlerin alınması gerekmektedir.

5- Şantiyede gürültüye neden olan çalışmalar 06.00- 22.00 saatleri dışında yapılmamalıdır.

6- Patlatma yapılan kesimde çalışacak işçilere kulaklık ve baret verilmeli ve bu gereçleri kullanmaları sağlanmalıdır.

7- Tüm projelerde hazırlanmış olan projeler kapsamında, yol çevresinde peyzaj düzenlemeleri yapılmalıdır.

8- Orman içinden geçen yollarda, kamulaştırma sınırları içinde (otsu bitkiler, bitki artıkları gibi) orman altı doku düzenli olarak temizlenmelidir.

9- Yüklenici tarafından, asfalt plentlerinin bacalarına emisyon önleyici filtre yada benzeri emisyon denetim mekanizmaları takılmalı ve mutlak surette "***Emisyon İzni***" alınmalıdır.

10- Şantiyede oluşan katı atıklar (çöpler) ***Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği***' ne (Madde 20) uygun olarak taşınmak suretiyle, ilgili Belediyenin izin verdiği bir Çöp Deponi Alanı'na boşaltılmalıdır.

11- Makinelerin atık yağları ise Orman ve Çevre Bakanlığı genelgeleri hükümlerine uygun olarak depolanmalıdır.

12- Şantiyede oluşan evsel atık sular (kanalizasyon suyu), "***Lağım Mecrası Mümkün Olmayan Yerlerde Yapılacak Çukurlara Ait Yönetmelik***" hükümlerine uygun olarak tasarlanmış, sızdırmaz fosseptiklerde toplanarak, vidanjörlerle ilgili belediyenin uygun gördüğü şekilde bertaraf edilmelidir.

13- Yol güzergâhlarının yerleşim yerlerinin içinden ya da yakınından geçtiği durumlarda mekanik ya da bitkisel gürültü perdesi uygulanmalıdır.

14- Güzergâhın içme suyu barajlarının su toplama havzasından geçtiği yerlerde akaçlama(drenaj) suyu toplanarak arıtılmalı ve daha sonra boşaltılmalıdır.

Tüm çalışmalarda Çevre Bakanlığı tarafından yayımlanan, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Su Kalitesinin Korunması Yönetmeliği ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği ve ÇED Yönetmeliği gibi çevrenin korunmasına yönelik tüm yönetmeliklerin hükümlerine uyulmalıdır.

Çevrenin ve ormanların korunması ve onarım çalışmaları

Yol çalışmaları, genel olarak çeşitli firmalara ihale edilmektedir. İlgili firma, taş (malzeme) ocakları (su temin yerleri dahil) ve yol projesi kapsamındaki faaliyetler için Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği (2008) çerçevesinde şantiye alanı için belirtilen tüm sınırlamalara uymak zorundadır.

Çevrenin korunması amacıyla işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili tüm yasa ve yönetmeliklere uyulmalıdır. Çevre kirliliğini denetim altına alan tüm yasa ve yönetmeliklere uyulmalıdır. Çevrenin korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesi ile ilgili yürürlükteki yasal sınırlamalara uyulacak ve bu yasalara uygun olarak atmosferde kirlilik yapan unsurları, gerekli denetim önlemleriyle en aza indirmek üzere çaba gösterilmelidir.

Dere, göl, bataklık ve rezervuarların yakıt, yağ, bitüm, kalsiyum, klorit, boya ve diğer zararlı maddelerle kirlenmesini önlemek için gerekli tüm önlemler alınmalıdır. Dere, göl ve rezervuarların dolmasını önlemek için çalışmalar yapılmalı ve bu çalışmalar bir programa bağlanmalıdır.

Derelerin daraltılmasını gerektiren çalışmalara izin verilebilmesi için iş sahibi, deredeki siltleşmenin asgari düzeyde olacağını gösteren bir plan yapmalı ve ilgili uzmandan bu çalışmaların önerilen plan doğrultusunda yapılmasının uygun olacağına dair onayını almalıdır. Uzman tarafından aksi yönde bir onay verilmedikçe, kanal değişiklikleri ve geçici ya da sürekliliği olan sanat yapılarının yapılması için gerekli durumlar haricinde, iş ekipmanları derelerde çalıştırılmamalıdır.

Şantiye alanı ya da ocakların dere, göl ya da sulak alanlarda ve bunların yakınlarında olması durumunda, şantiye alanları ya da ocaklar, çökellerin buralara girmesini önlemek için sedde, silt çitleri ve diğer bariyerlerle dere, göl ya da sulak alanlardan ayrı tutulmalıdır. Bariyerlerin konulması ve sökülmesi sırasında dere, göl ya da sulak alanların siltleşmesini ya da dolmasını en aza indirgemek için çaba harcanmalıdır.

Agregatların yıkandığı ya da çökel içeren diğer çalışmaların yapıldığı yerden gelen sular, döküldükleri dere ya da göldeki tortulaşmanın en alt düzeyde olması sağlanmalı, filtre edilmeli ya da çökeltim havuzunda bekletilip diğer yöntemlerle temizleme işlemine tabi tutulmalıdır.

Bölgeyi düzenli bir biçimde korumak, atıklardan arındıracak ve şantiye binaları, büro, depo, ev, tuvalet, lağım çukur, septik tank ve diğer yapıları uyması yasal sınırlamalara göre yaptırılması ve bakıma alınması için gerekli izinler alınmalıdır.

Ormanların korunması

Ormanlarda ya da ormanlara yakın bölgelerde yürütülen çalışmalarda, ilgili firmanın, ormanların korunması ile ilgili olarak tüm yasa ve yönetmeliklere uymak gerekmektedir. Orman ve yeşil alanların yanmasını önlemek ve çıkabilecek yangınları söndürme için gerekli tüm önlemlerin alınması, gerektiğinde resmi makamların isteği üzerine, orman yangınlarının önlenmesi ve söndürülmesine yardımcı olmak için her türlü çabanın gösterilmesi ve yangın görüldüğünde olabildiğince en kısa sürede yangının yeri ve boyutunu orman memurlarına bildirilmesi gerekmektedir.

Orman alanlarındaki kesimlerde, kamulaştırma sınırları içinde proje gereği kesilecek ağaçlar haricindeki yüksek boydaki ağaçlar kesilmeden bırakılacak, bu ağaçların altındaki kökler, otlar, yapraklar, çalılar, makilik alanlar ve benzeri bitki artıklarından temizlenmelidir. Kesilmeden bırakılan ağaçların, toprak yüzeyinden 1 m yüksekliğe kadar olan alt dalları kesilmelidir.

Taşınmazlar, ağaç ve anıtların korunması ve onarım çalışmaları

Karayolları boyunca ve karayolları yakınlarındaki kamu ve özel tüm taşınmazlar, ürünler, ağaçlar, anıtlar, karayolu levha ve işaretlemeleri, korkuluklar gibi yapıların korunması ve bunlara gelebilecek zarar ya da hasarın önlenmesi için gerekli tüm önlemler alınmalıdır. Projelerde gösterilsin ya da gösterilmesin, boru, mecra, direk, tel, kablo ve diğer yeraltı ya da genel yapılara gelebilecek hasarlara ilişkin tüm önlemler alınmalıdır. Mühendis tarafından belirlenen ya da yerleri belirlenene kadar bütün anıtları ve mülkiyetlere ait işaretlemeleri zarar ve yıkıma karşı koruyacak ve talimat verilene kadar bunları yerlerinden kaldırılmamalıdır. Ağaç ve çalılara zarar verilmemeli ya da bunları tahrip etmeyecek ve kesip sökmeyecek önlemler alınmalıdır.

İşlerin gerçekleştirilmesinde ya da yürütülememesi sonucunda herhangi bir hareket, ihmal, kusur ya da kötü yönetimden dolayı kamu ya da şahsa ait mülkiyete doğrudan ya da dolaylı olarak zarar gelmesi ve hasar görmesi durumunda, masrafları firma tarafından karşılanmak üzere, belirli bir talimata göre onarılmalı ya da yeniden inşa edilmeli ve söz konusu mülkiyeti zarar ya da hasarın yapılmasından önceki durumuna benzer ya da aynı düzeye getirilmelidir. En azından böylesi zarar ya da hasar kabul edilebilir bir biçimde onarılmalıdır.

İşin yapıldığı yerlerde bulunan kültür ve tabiat varlıkları (fosiller, eski paralar, kıymetli ve antika eşyalar, arkeolojik ve jeolojik kıymeti haiz bütün enkaz ve kalıntılar) kamunun ortak malı kabul edilmeli ve ilgili firma bunların işçiler ya da başkaları tarafından alınıp götürülmemesi ya da hasara uğratılmaması için gerekli tüm önlemler alınmalıdır. Tarihi eşya ve sanat eserlerinin meydana çıkmasında, yetkililere bilgi vermek ve ilgililere gelip teslim alıncaya kadar bunları saklayıp korumak ve bu hususta yasa, tüzük ve yönetmelik hükümlerine uymak zorunludur.

Sonuç olarak bir hususu daha vurgulamakta yarar vardır. Kâğıt üzerinde veriliyormuş gibi görünen mühendislik hizmetlerinin, gerçekten verilmesi gerekmektedir. Örneğin, şartnamelerde ve taahhütnamelerde belirtilen mühendislerin, gerçekten çalıştırılması elzemdir. Böylesi bir düzenlemenin yapılması ve uygulanması, kamu kurumlarının ve belediyelerin kadro açıklarının kapatılmasını sağlayacaktır. Bu da Türkiye'de mühendislik alanındaki işsizliği, önemli ölçüde ortadan kaldıracaktır.

KAYNAKLAR

Aral, F., 1992, Mühendislik Jeolojisi Ders Notları; C.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, 72 s.

Canter, L.W., 1977, Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.
Çakır, Ç., Yalçın, M., Özkan, Ö., Özdemir, L.B. ve Dölek E., 2013, Ulaşım Sektöründe Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamaları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 341-349.
ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
ÇŞB, 2019, Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 80 s.
ÇŞB, 2021, Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatına Dair Tebliğde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ de 17 Şubat 2021 tarihli 31 398 sayılı Resmî Gazete'
Erguvanlı, K., 1995, Mühendislik Jeolojisi; Dördüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, Cemal Nadir Sok. Akşam İş hanı, 13/1, 34410, Cağaloğlu, İstanbul, 590 s.
http://v3.arkitera.com/
http://www.sustainable.doe.gov/freshstart/articles/ptipub.htm
http://www.usgbc.org/leed
https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/QgrcJHsBmtGfBmfsKrtHclKljTrXTCTBTZb (06 Kasım 2020, 23.00).
https://tr.pinterest.com/pin/142918988164059913/ (Erişim: 03 Kasım 2020).
https://www.haberler.com/haberler/canakkale-koprusu-kac-yil-isletilecek-canakkale-14826582-haberi/ Güncelleme tarihi: 28 Mart 2022 18:42
https://www.hurriyet.com.tr/yerel-haberler/ankara/bugun-hizmete-acilacak-41812983 (18 Mayıs 2021, saat 14.15).
https://www.structuremag.org/?p=8763#:~:text=The%20Earthquake%20Shaking%20Force%20is,for%20designing%20buildings%20and%20structures (08 Şubat 2023, 10.00).

https://www.trthaber.com/haber/gundem/1915-canakkale-koprusu-dunya-basininda-yuksekligi-eyfeli-gecti-613901.html Güncelleme tarihi: Mart 18, 2022 18:02

JMO, 2018, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası uyardı: Hızlı tren güzergahındaki viyadük aktif fay hattı üzerine inşa ediliyor (http://sendika62.org/2018/10/tmmob-jeoloji-muhendisleri-odasi-uyardi-hizli-tren-guzergahindaki-viyaduk-aktif-fay-hatti-uzerine-insa-ediliyor-515466/)(28 Ekim 2018, saat 21.00).
JMO, 2021, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Ankara, 17 s.
Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957, Principles of Engineering Geology and Geotechnics; Mc. Graw-Hill Comp. Inc., NewYork, USA, 730 s.
Rodrigue, J.P, 2013. The Geography of Transport Systems, Routledge, New York, 271 s.
Spiegel, R. ve Meadows, D., 1999, Gren Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2013. 2013 İdare Performans Programı, Ankara.
Ülgen, S., Guerin, S.S., Tekçe, M., 2007. İkinci Kuşak Yapısal Reformlar: Altyapı Sektörlerinde De-Regülasyon ve Rekabet, G Yayın, İstanbul, s.130- 189.
Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276s.
Yılmaz, I., 2000, Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.
Yılmazer, İ., Yılmazer, Ö., Özkök, D. ve Gökçekuş, H., 1999, Jeoteknik Tasarıma Giriş; Yılmazer Eğitim ve Mühendislik, Ltd. Şti., 420. Sok, 259/1, 100.Yıl, 06530, Çankaya, Ankara, 216 s.
Yüksel, Ü. D. ve Baştanlar, D., 2013, Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinde Peyzaj Onarım Planları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 555- 567.

Bölüm 20-3. BARAJ VE HES İNCELEMELERİ

GENEL BİLGİLER

İçme suyunu sağlamak, enerji üretmek, akışı düzenlemek ve taşkınları önlemek ya da sulama amacıyla yapılan su tutma yapılarına ***baraj*** denir. Barajlar kazı, dolgu gibi işlemlerin yapıldığı derivasyon tüneli, yol ve savak gibi çeşitli bölümlerden meydana gelmektedir.

Akarsuların suyunu toplamak için yapılan en eski barajın Dicle nehri üzerinde yapılmış olan Maruk Toprak Barajı olduğu ileri sürülmektedir. MÖ 5000 yıllarında yapılan bu barajdan 13. yy' ın sonlarına kadar yararlanılmıştır. İlk kağir baraj ise Nil nehrinin sularını çevirmek ve içme suyunu sağlamak için Menfis şehrinin 20 km güneyinde MÖ 4000 yıllarında yapılan barajdır. Bu baraj 450 m uzunlukta, 15 m genişlikte olup 4- 5 bin yıl kullanılmış ve daha sonra kullanılamaz hale gelmiştir. MÖ 1700 yıllarında Yemen'de yaklaşık 3 km uzunlukta 40 m yükseklikte ve 130 m genişlikte yapılan eski bir barajdan da 2000 yıl yararlanılmış ve daha sonra bu baraj bir taşkınla yıkılmıştır.

İlk beton ağırlık barajı, 1887- 1888 'de Kalifornia'da yapılan St. Mates barajıdır. Bu barajın, önce tümünün taştan yapılması düşünülmüş, fakat baraj dolayında yeteri kadar sağlam kaya bulunmadığından beton-ağırlıklı bir yapıya dönüştürülmüştür. Daha sonra baraj gölü sularının hidrostatik basınçlarını yamaçlara veren kemer tipi baraj yapımı gelişmiştir.

Jeoloji mühendisliğinin en çok uygulandığı alanlardan biri de barajlarla ilgili incelemelerdir. 1928 yılında Amerika'da St. Francis barajının yıkılmasından sonra 1929 yılında barajların tasarımı ve yıkılmasına etki yapan öğeleri (faktörleri) ortaya koymak ve tartışmak amacıyla büyük bir sempozyum gerçekleştirilmiştir. Sempozyumda barajlarla ilgili sorunlar her yönü ile ele alınmıştır. Bu görkemli toplantıya, baraj incelemelerinin temel atma töreni gözüyle bakılabilir. Bugün Dünya'nın her yerinde, projeler hazırlanmadan önce baraj yerleri ve göl (rezervuar) alanlarının jeolojik incelemeleri yapılmaktadır.

Genel tanımlar

Yani, baraj ya da gölet, akarsuların bir set gerisinde depolandığı ve su gereksinimini karşılamak üzere inşa edilen yapılardır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ölçütlerine göre, kret yüksekliği 15,00 metreden daha fazla olan yapılara ***"baraj"***, kret yüksekliği 15 metreden daha az olan yapılara ise ***"gölet"*** adı verilmektedir. Barajlar kazı, dolgu gibi işlemlerin yapıldığı derivasyon tüneli, yol ve savak gibi çeşitli bölümlerden meydana gelmektedir.

Hidroelektrik enerji üreten yapılar genel olarak ***hidroelektrik santraller*** **(HES)** olarak adlandırılmaktadır. HES yapılarında, belli bir yüksekliğe ulaştırılan su, bulunduğu konumdan çok daha düşük yerdeki türbinlere aktarılır, düşük düzeydeki türbin çarklarına çok hızlı çarpan su, önce türbin milini döndürür, buna bağlı olarak önce jeneratör çalışır ve sonuç olarak da elektrik enerjisi üretilir. Bu bölümde barajların ve HES' lerin çevreye dönük yönleri genel olarak birlikte ele alınacaktır.

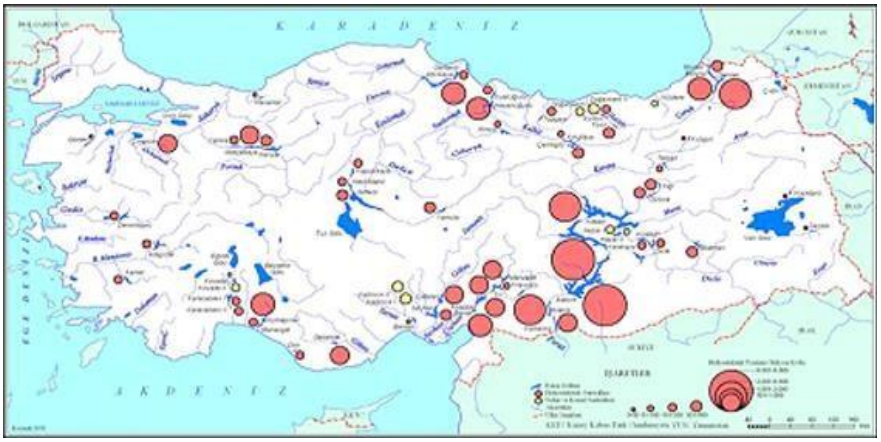
Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi (International Commitee of LargeDamsICOLD) tarafından benimsenen ölçütlere göre, kret yüksekliği 29 metreden fazla olan yapılara ***baraj*** (dam) adı verilmektedir. ***Regülatör*** (diversion dam, diversionweir) ise akarsularda suyu istenilen oranda artıran, arzu edilen oranda prizlere veren, bulunduğu noktada akarsu yatağını sabit tutmaya yarayan yapılardır. Regülatörler çok özel durumlar dışında genel olarak yüksekliği 10 m' den fazla olmayan su yapılarıdır (Bekişoğlu, 2013).

Öte yandan belli bir oranda yükseklik kazandırılan suyun sahip olduğu potansiyel enerjiye hidrolik enerji, hidrolik enerji de bazı sistemler aracılığı ile sıra ile mekanik enerjiye ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Sonuç olarak elde edilen bu elektrik enerjisine hidroelektrik enerji denilmektedir. Barajların planlanmasında öncelikle bölgenin yağış durumu göz önüne alınmalıdır. Türkiye'nin yağış anomalisi haritası Şekil 1'de, ülkede mevcut HES' lerinin büyüklüğü ve dağılımı da Şekil 2'de görülmektedir.

Şekil 1'de ve 2'de sunulan iki harita karşılaştırıldığında HES' lerin daha iyi planlanması gerektiği açıkça görülmektedir. Örneğin, Batı Karadeniz bölgesinin de yağış açısından su yapılarına uygun ve

tercih edilebilir bir alan olduğu, oysa güneyde ve güneydoğuda HES'lerin belki de gereğinden fazla planlandığı görülmektedir.

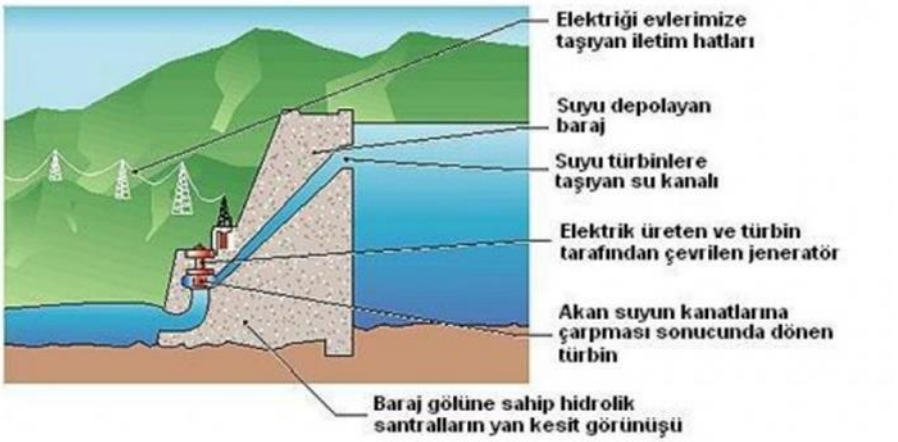
Şekil 1. Türkiye'nin Yağış normalleri haritası (http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/2012-yagisdegerlendirmesi).



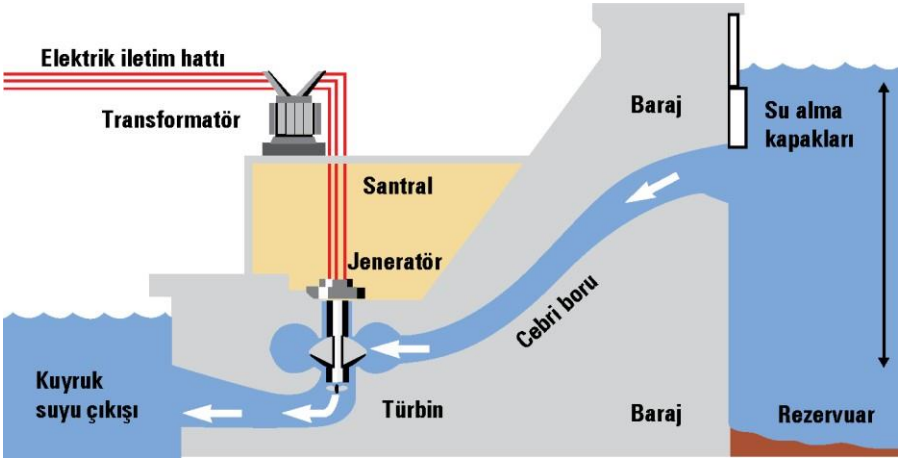
Şekil 2. Türkiye'nin hidroelektrik santralleri (http://www.bilgiustam.com).

Bir HES'in arazideki konumu ve bazı bölümleri şematik olarak sıra ile Şekil 3'de ve 4'de görülmektedir. HES'ler, Nehir Santraller ve Baraj Santralleri olmak üzere iki farklı yapıda tasarlanabilir (Saraçoğlu ve Keçeci, 2013).

Nehir Santrallerinde akarsular bir çevirme yapısı ile kanala (ya da tünele) yönlendirilir ve santral de bu kanalın üzerinde yapılır. Kanal (ya da tünel) düşü kazanmak için söz konusu kanalın (ya da tünelin) boyu uzatılır ve cebri borularla santrale bağlanır. Bunun için su potansiyeli, topografya ve jeolojik yapının uygun olması gerekir. Baraj Santralleri ise, topografik yapı uygun ise göle set kurulması ile inşa edilir. Gölde depolanan suyun debisi ve düşüşü yeterli ise elektrik enerjisi de üretilebilir.



Şekil 3. Bir hidroelektrik santralinin arazideki konumu ve önemli bölümleri http://www.bilgiustam.com



Şekil 4. HES' te türbin ve jeneratörün diğer yapılarla ilişkileri (http://www.bilgiustam.com)

Baraj suyunun boşaldığı tarafın doğrudan arazideki görünümü Şekil, 5'de izlenebilir. Böyle bir yapının planlama ve hazırlık ya da inşaat ve işletme evrelerinde elbette ciddi çevresel etkilerinin ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Şekil, 5. Baraj suyunun boşaldığı tarafın arazideki görünümü (http://www.bilgiustam.com).

BARAJLARIN SINIFLANDIRILMASI

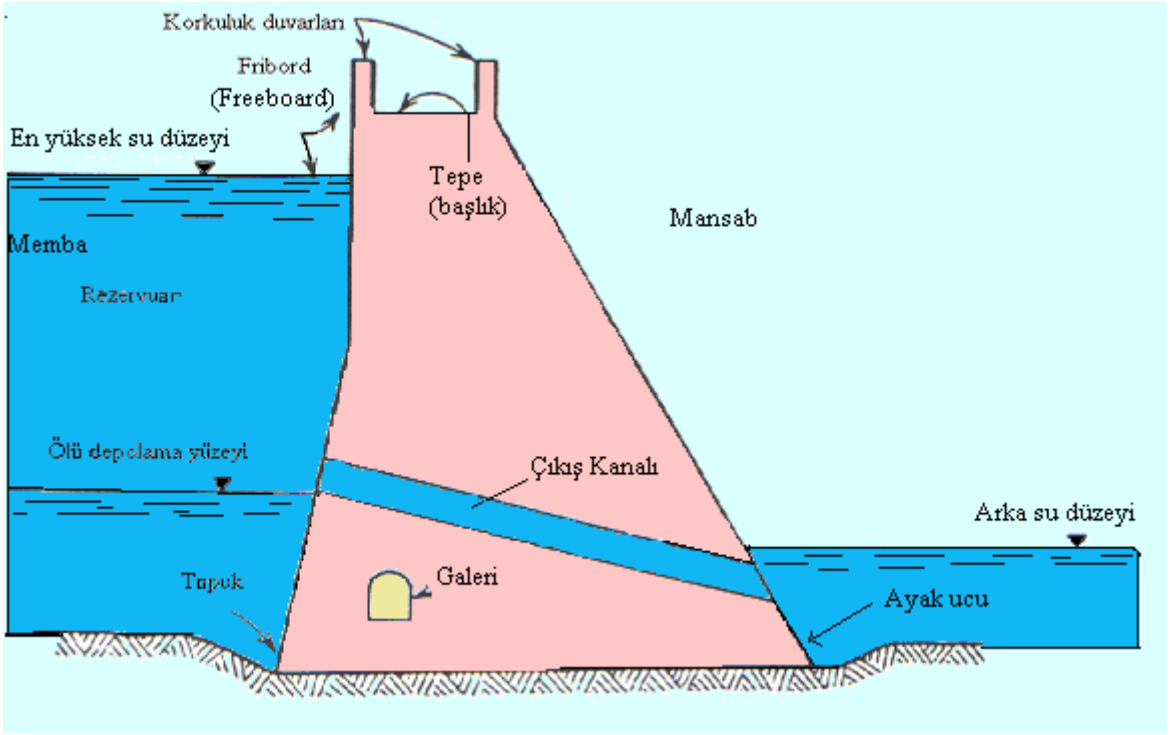
Barajlar, amaçlarına ya da yapımlarında kullanılan gerece göre sınıflandırılmaktadır. Genel olarak barajların amacı, içme suyu sağlanması, enerji üretimi, taşkın önleme ve sulamadır. Ayrıca ulaşım, dinlenme yeri, spor tesisleri ve balıkçılık amacıyla barajlar yapılmaktadır. Çoğu barajlar, birden fazla amaçla kullanılmaktadır. Barajlar, kullanılan gerece göre ise beton, kaya dolgu, toprak dolgu, ahşap ya da çelik barajlar olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Beton barajlar

Beton barajlar, kendi içinde ağırlık, payandalı ağırlık, kemer türü olmak üzere üçe ayrılırlar;

Ağırlık barajları

Ağırlık barajları, suyun itme kuvvetine karşı kendi ağırlıklarıyla duran masif yapılardır. Ağırlık barajları eski zamanlarda taşla yapılmaktaydı. Bugün aynı barajlar betonla yapılmaktadır. Bu barajların eksenleri, bir doğru biçiminde ya da akış yukarı doğru hafifçe kavisli olabilirler. Barajın enine kesiti üçgene benzeyen yamuktur (Şekil, 6). Ağırlık barajlarının sağlam temele oturması istenir. Vadi yamaçları az eğimli, geniş, V şekilli olabilirler.

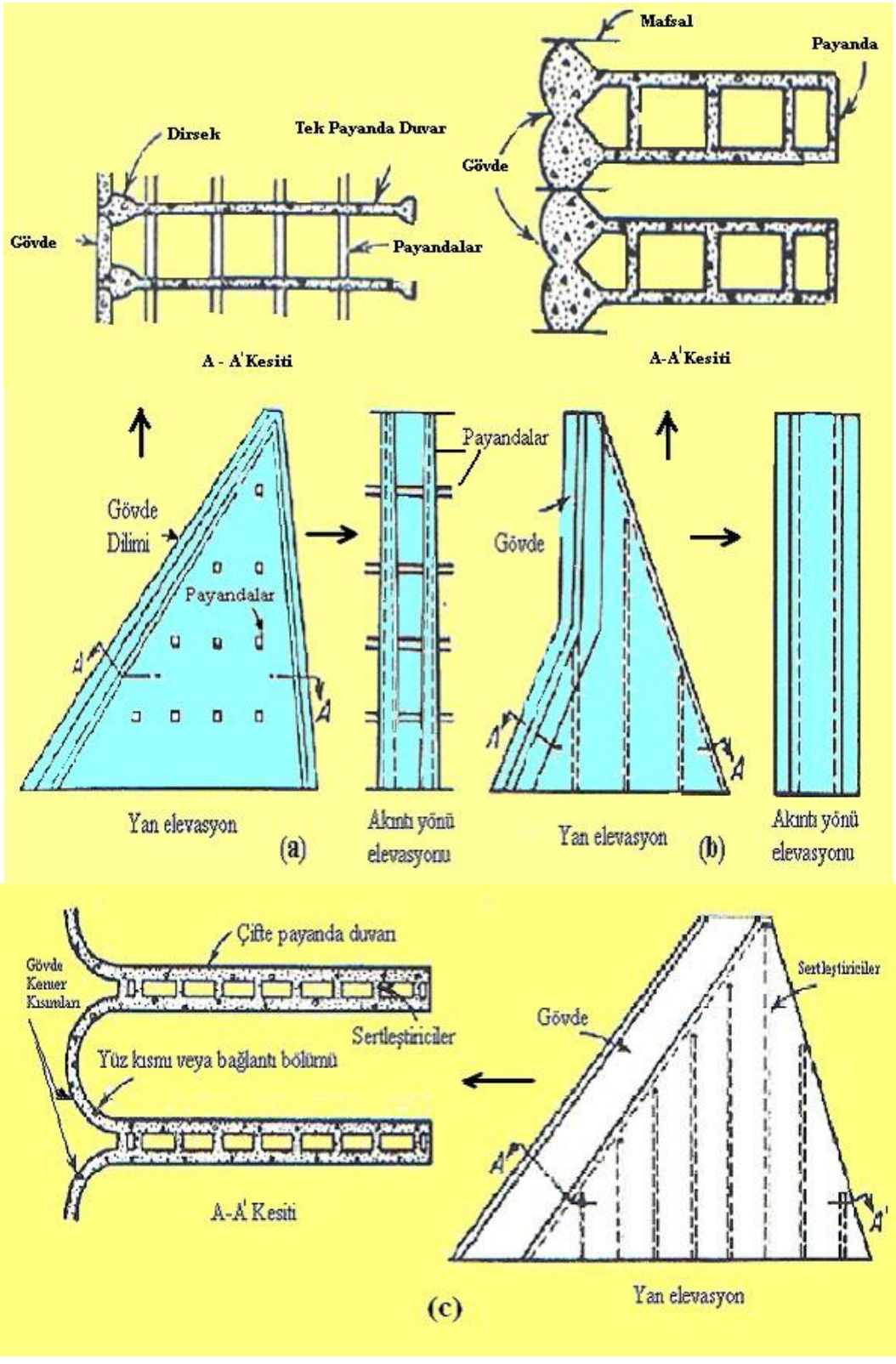


Şekil 6. Bir barajın yalınlaştırılmış enine kesiti

Payandalı ağırlık barajları

Payandalı barajların memba tarafı, su basıncına karşı duran düz ya da az eğimli betonarme bir perde şeklindedir. Mansap tarafında, su tarafından gelen basıncı temele ileten payandalar vardır. Payandalı ağırlık barajlarında ağırlık barajlarına oranla daha az beton kullanılır. Temel kazısı da daha az olur. Payandalar arasındaki yerlere kuvvet santralleri ve diğer bazı yapılar yerleştirilebilir. Payandalı ağırlık barajlarında nitelikli beton dökme ve kalıp işçiliği önemlidir.

Payandalara fazla yük düşer, payandalar arasında ise fazla yük binmez. Fay, çatlak gibi zayıflık zonları payandalar arasına rastlatılır. Yamaç eğimi az geniş V şekilli vadilerde payandalı ağırlık barajları yapılabilir (Şekil 7).



Şekil 7. Payandalı barajların türleri ve çeşitli bölümleri (Krynine ve Judd, 1957).

Kemer barajlar

Kemer baraj, kavisli tek bir beton duvardan oluşan su tutma tesisidir. Suyun basıncını kemer tesiriyle yamaçlara vermek için beton duvar, membaya doğru kavisli yapılır. Basınç temele ve yamaçlara eşit dağılıyorsa baraj, kemer ağırlık ya da ağırlık-kemer olarak adlandırılabilir. Yükün büyük bir kısmı kemer etkisiyle yamaçlara aktarılabilirse bu baraja ince kemer baraj adı verilir. Bunun için yamaçlar çok sağlam olmalı ve kemer, yamaç içine iyice kenetlenmelidir.

Kayaya merdivenimsi şekiller verilerek, gerilmelerin toplanmasına ve betonda çatlakların oluşmasına engel olunur. Kemerin yamaçlara iyi bir şekilde kenetlenmesi için kemer ile vadinin birleştiği noktadaki açının en az 45^0 olması gerekir. Ayrıca kemere elden geldiğince (133^0 fazla olmak üzere) büyük bir merkez açısı verilmelidir (Şekil, 8).

Toprak-kaya dolgulu barajlar

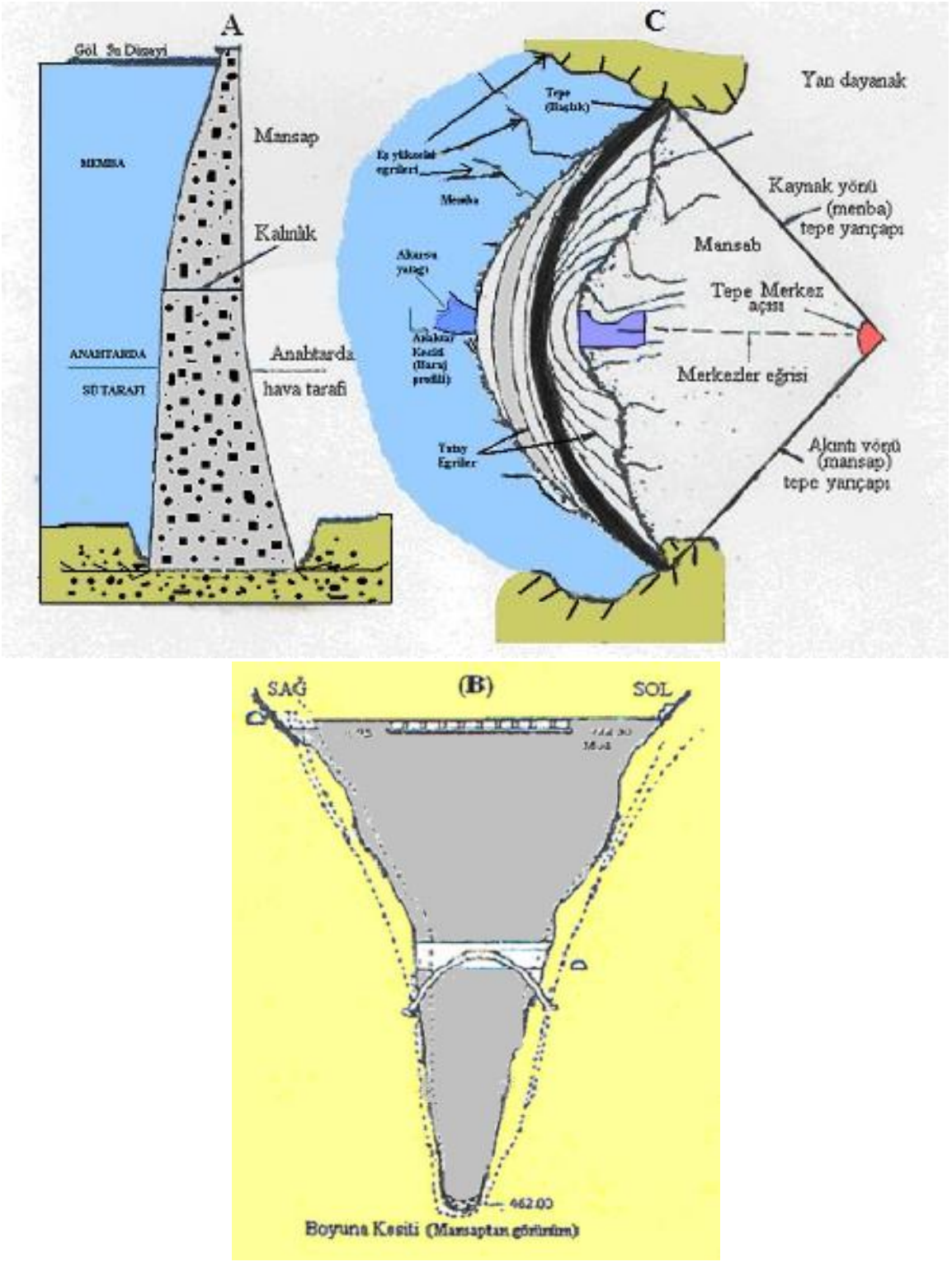
Toprak-kaya dolgulu barajlar, toprak ve kayanın belli bir oranda karıştırılması ile meydana gelen gereçle yapılan su tutma tesisleridir. Bu tip barajlar zeminin yeterince sağlam ve homojen olmaması halinde tercih edilir. Geniş ve yayvan vadilerde de toprak baraj yapılır. Bu malzeme, kaya parçası, çakıl, kum, silt, kil ve bunların karışımından oluşur.

Toprak-kaya dolgulu barajların, baraj gövdesinde kullanılan malzemeye göre sınıflandırılması:

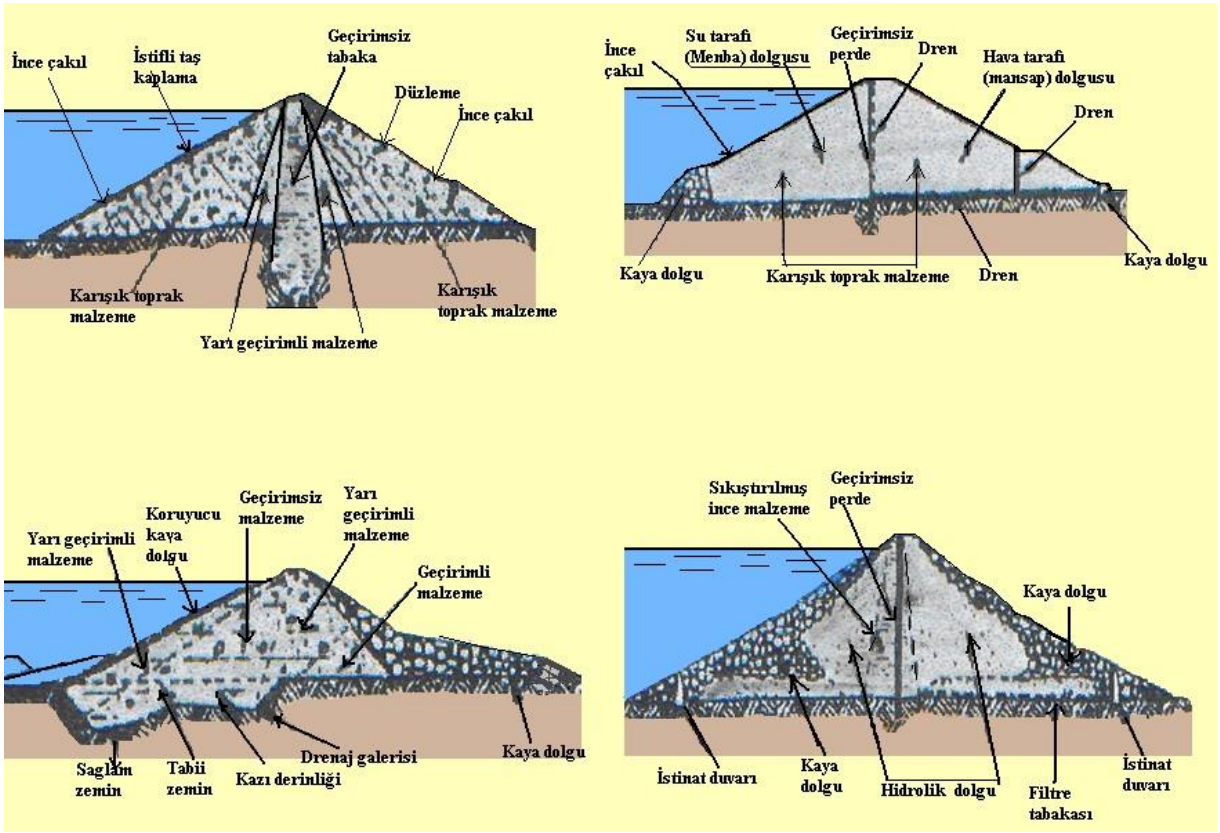
1. Homojen gövdeli
2. Bölgeli (zonlu) gövdeli
3. Kaya dolgu gövdeli
4. Toprak dolgu gövdeli
5. Kaya-toprak dolgulu gövdeli olarak yapılabilir. En çok var olan malzemeden yararlanmaya çalışılır.

Homojen gövdede her taraftaki malzeme aynı özelliktedir. Bölgeli gövdelerde ortada geçirimsiz bir bölüm (çekirdek), iki tarafta tane boyu dışa doğru giderek büyüyen geçirimli kısım ile memba ve mansap kopuklarında filtre bulunur. Kaya-dolgu gövdeler kırılmış taştan yapılır. Bazen geçirimsiz çekirdek bulunur. Bazen de memba yüzü kil, asfalt, çelik, takviyeli beton gibi geçirimsiz bir örtü ile kaplanır (Şekil, 9).

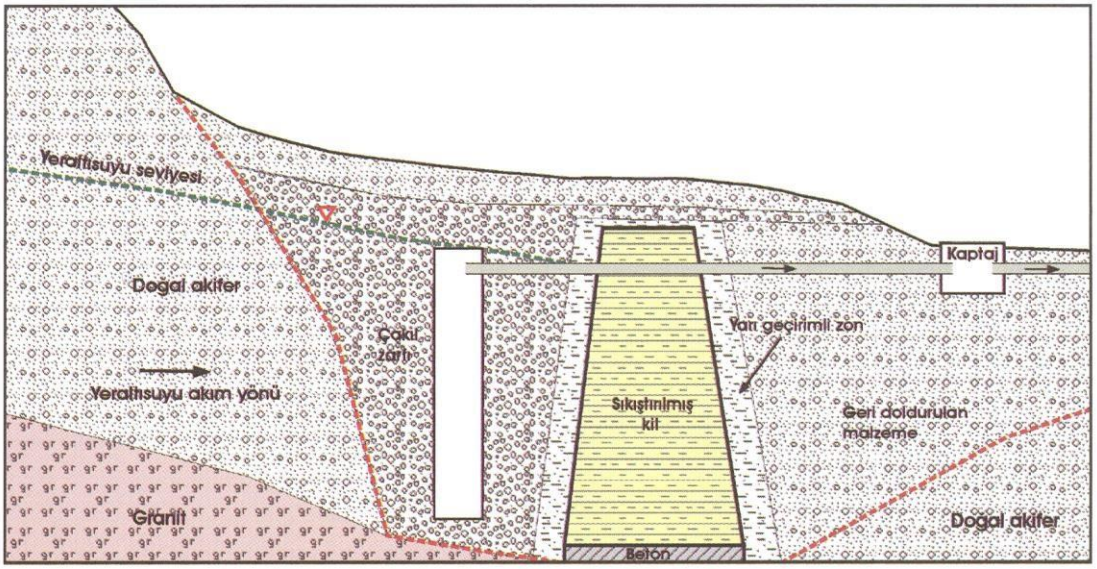
Ayrıca yeraltı barajları da inşa edilmektedir. Bu tür barajlara ait bir örnek de Şekil 10'da görülmektedir. Özellikle Orta Anadolu Bölgesi' inde kuraklıkla mücadele amacıyla bu tür barajların yapılması önemli bir seçenek olarak sunulmaktadır.



Şekil 8. Kemer tipi bir barajın enine kesiti (A), boyuna kesiti (B) ve üstten görünümü (C) (Aral, 1992).



Şekil 9. Toprak ve kaya dolgulu baraj türleri ve çeşitli bölümleri (Aral,1992).



Şekil 10. Ankara Yahşihan yeraltı barajının kesiti (Apaydın ve diğerleri, 2008).

BARAJ TİPİ ve YER SEÇİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Baraj tipi seçimine etki yapan bütün faktörleri içeren herhangi bir tasarım bugüne kadar ortaya koyulmuş değildir. Emniyet ve maliyet göz önünde tutularak çeşitli öğeler ayrıntılı şekilde irdelenip, en uygun baraj yeri ve tipine karar verilir. Bu faktörlerin önemli olanları aşağıda sunulmuştur:

1. Topografya
2. Jeolojik durum ve deprem oluşturan diri fayların konumu
3. Hidrolik ve hidrojeolojik durum
4. Malzeme durumu
5. İşçilik durumu, projeyi yapanların eğitim düzeyi ve ülkedeki alışkanlıklar
6. İklim ve iklimin yapılara etkisi

Topografya

Baraj yeri ve türünün seçiminde ilk akla gelen öğe, topografyadır. Vadi şekli ve genişliğine göre bazı baraj tipleri tercih edilebilir. Örneğin çok geniş bir vadiye beton kemer baraj yapılamaz. Vadi şekilleriyle ilgili aşağıda sunulan sınıflama yapılabilir:

a. U şekilli vadiler
b. V şekilli (dar veya geniş) vadiler
c. U ile V arası vadiler
d. Geniş ve düz vadiler

Dar U ve V şekilli vadilerde diğer öğeler de elverişli ise öncelikle kemer ya da ağırlık baraj türü düşünülür. Geniş vadilerde kaya ya da toprak dolgu barajlar, tercih edilmektedir. Baraj yüksekliği fazla ise beton ağırlık barajı tipi daha uygundur. Böyle bir seçimde vadi şekli değişkeni (K), yani tepe uzunluğunun, maksimum baraj yüksekliğine oranı gözetilir. Bu değişken gözetildiğinde beton baraj için ekonomik limit Amerika'da 5; İtalya'da 7; Fransa'da 11 olarak kabul edilmektedir. Bundan büyük değerler, beton baraj yapılmamasını gerektirir.

Jeolojik durum ve deprem oluşturan diri fayların konumu

Baraj yeri ve göl alanındaki kaya birimlerinin kayatürü ve yapısal özellikleri ile baraj yeri dolayının duraylılığı çok önemlidir. Kayatürlerinin taşıma gücü, geçirimliliği, su tutma özelliği eklem ve çatlak durumu gibi özellikleri ve birimlerin suyla temasında olabilecek değişimler bilinmelidir. Bu özelliklerin bilinmesi, baraj yeri ve türünün seçiminde belirleyicidir.

Deprem sırasındaki titreşimler gövdeyi ve su kütlesini etkiler. Bunun sonucunda barajda bazı deformasyonlar oluşabilir. Bölgede önceden meydana gelmiş depremler araştırılır ve baraj hesaplarında daha önce meydana gelmiş depremlerin şiddeti göz önünde bulundurulur. Depremi oluşturan diri fayların konumu ve etkinliği irdelenir. Depremlerin etkili olduğu bölgelerde, toprak ya da kaya dolgu barajların yapılması, geniş tabanlı geçirimsiz çekirdek konulması, temelde enine kesit boyunca devamlı beton duvar yapılması, 3-4 m yüksek dalga payı bırakılması, geniş tepe ve az eğimli baraj yamacının (şevi'nin) gözetilmesi tercih edilir. Ancak böyle durumlarda maliyet de artar.

Hidrolik ve hidrojeolojik durum

Baraj beslenme alanına düşen yağış miktarı ve süresi, akarsuların taşkın debileri ve dalga etkileri, baraj yapılmadan çok önce belirlenir. Akarsuların en yüksek taşkın suyunu boşaltacak bir savak yapmak ve bunu uygun bir yere yerleştirmek önemlidir. Savak yerinin, şeklinin ve büyüklüğünün iyi seçilmemesi birçok barajın yıkılmasına neden olmuştur.

Yağış ve beslenme alanına ait yeterli hidrolojik veri yok ise, baraj tipi ve yüksekliğini saptamak zordur. Baraj yapılsa bile, ancak yeterli su toplanamayabilir. Sıcak bölgelerde buharlaşma da çok önemli bir faktördür. Yapılan hesaplamalarda yağış alanı ile beslenme alanı birbirine eşit kabul edilir. Ancak, bir yağış alanına düşen suyun bir bölümü, jeolojik yapı ve diğer nedenlerle başka bir havzaya sızabilir. Tersine, başka bir alandan da su gelebilir.

Malzeme durumu

Baraj yapımında kullanılacak malzemenin yakın yerlerde ve yeterli ölçüde bulunması, baraj türü seçimini etkiler. Temel kazısından çıkacak malzemenin ne kadarının gövdede kullanılacağı bilinmelidir. Yeterli çimento ve diğer gereçler sağlanamazsa beton barajdan vazgeçilip toprak dolgu barajı tercih edilebilir.

İşçilik durumu, projeyi yapanların eğitim düzeyi ve ülkedeki alışkanlıklar

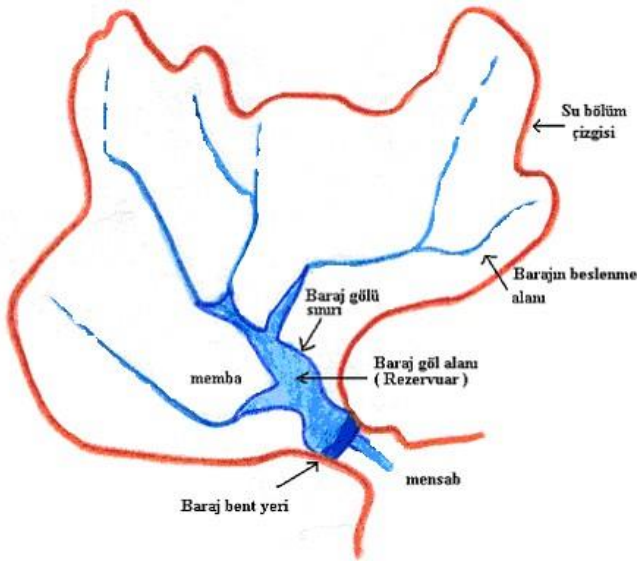
Ülkede yetişmiş kalıp ve beton ustası varsa beton baraj yapımı tercih edilebilir. İşçiliğin pahalı olduğu yerlerde dolgu tipi daha ekonomik olabilir. Bazı ülkelerin elden geldiğince baraj türlerini tercih ettiği ve o alanda iyi elemanların yetiştiği görülür. Örneğin Fransızlar kemer türü barajları yapmakta daha ustadırlar. Ülkemizde Hasan Uğurlu Barajı gibi bazı kaya dolgu barajların yapımında yerli özel firmalar deneyim kazanmıştır. Dolayısıyla ülkemizde bu tür barajlara öncelik vermek dövizin dışarıya kaçmasını önleyecektir.

İklim ve iklimin yapıma etkisi

Soğuk iklimin hüküm sürdüğü yerlerde beton yüzeyinde oluşacak donma ve çözülme olaylarının, kemer ve payandalı ağırlık barajlarına zarar verdiği bilinmektedir. Bu gibi yerlerde toprak, kaya dolgu ya da beton ağırlık barajı türleri daha uygundur. Çok yağışlı ve don yapan bölgelerde toprak baraj gövdesinin geçirimsiz ve yarı geçirimli malzemelerin yerleştirilmesi zor olmaktadır. Buralarda genel olarak çekirdeğin ince olması gerekir.

BARAJLARA DAİR JEOLOJİK ÇALIŞMALAR

Barajlarla ilgili jeolojik çalışmalar iki konuda yoğunlaştırılır (Yılmaz, 2009). Bunlardan biri beslenme havzası (ve gölalanı) incelemeleri, diğeri de baraj bent yeri araştırmalarıdır. Bölgeye dair önceki çalışmalar varsa değerlendirmeye alınır. Şekil 11'de bir barajın göl (rezervuar) ve bent yeri ilişkileri görülmektedir. Öncelikle beslenme havzasının topoğrafik, hidrolik, jeolojik ve hidrolojik özellikleri irdelenir. Havza ölçüsünde yapılan jeolojik incelemeleri, bent yerlerinin belirlenmesi ve incelenmesi izler.



Şekil 11. Bir barajın göl ve beslenme alanı ile baraj bent yeri ilişkileri

Beslenme havzanın tümünün 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yapılırsa yamaç duyarlılığı, su kaçağı, gereçlerden ileri gelmesi olası sorunlar ortaya konulup bent yeri seçim yapılabilir. Havzada birkaç baraj yapımı düşünülüyorsa, barajların bent yeri, havzayı en iyi değerlendirecek şekilde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Barajlardan birinin büyüklüğünde yapılacak değişiklik, diğerlerini de etkiler.

Gölalanı (rezervuar) incelemeleri

Havza ölçüsünde 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmışsa, bent yeri araştırmaları sırasında göl alanında kritik yerlerde 1/10.000 ya da 1/5.000 ölçekli jeolojik haritalar yapılabilir. Amaç, göl

alanında yer kayması (heyelan) ya da su kaçağı sorunu varsa bunu ayrıntılı olarak ortaya koymak ve çözüm aramaktır. Bent yeri araştırmaları başlamış, ancak göl alanının 1/25.000 ölçekli jeolojik haritaları yapılmamışsa işe tersten başlanmış demektir. Bu durumda, bent yeri araştırmaları ilerlediği bir evrede, göl alanındaki sorunlar nedeniyle o kesitten vazgeçme olasılığı bile çıkabilir.

Gölalanı (rezervuar) çalışmalarında her arazide değişik durumlarla karşılaşılabilir. Çalışan kişiler deneyim, emek, araştırma, karşılaştırma ve sonuca varma açılarından yeterli olmalıdırlar. Yeterlilik de zamanla ve yoğun bir çaba ile kazanılabilir. Gölalanı incelemeleri aşağıdaki konularda yoğunlaşır:

1. Bent yeri, ve göl alanındaki kayatürü özellikleri, yanal ve dikey değişimler incelenir.
2. Yapısal özellikler (tabakalanma, kıvrım, fay, eklem, dilinim, yapraklanma ve gölalanındaki yamaçların duyarlılığı incelenir. Yer kayması olasılıkları ve alınması gereken önlemler araştırılır. Deprem oluşturacak diri fayların konumu irdelenir.
3. Kayaların su sızdırma durumu, kayaların suyla temastaki davranışları incelenir.
4. Ayrışma ve erime (erime boşlukları, mağaralar) süreçleri ele alınır.
5. Çalışma alanındaki kaynakların debisi ve sıcaklığı, kuyuların su düzeyi ve değişimleri ölçülür.
6. Yeterli veri varsa yeraltı su tablasının haritası yapılır ve su tablasının konumu bir blok diyagramla üç boyutlu olarak ortaya konulur.
7. Suların kimyasal analizi yapılır.
8. Komşu havzalara su kaçağı olasılığı araştırılır.
9. Su altında kalacak doğal yeraltı kaynakları ve tarihi eserler belirlenir.
10. Bent yeri ve göl alanında gömülü vadi olup olmadığı araştırılır. Bunun için sondajlar yapılır.

Göl alanından (rezervuarlardan) su kaçması

Gölalanı (Rezervuar) araştırmalarında en önemli konulardan biri, baraj yapıldığında göl alanından su kaçağı olup olmayacağının kestirilebilmesidir. Su kaçağı durumunda bunun baraj için zararlı olup olmayacağı ve alınması gereken önlemler araştırılır. Bazen bir miktar kaçağa göz yumulabilir. Göl alanından su kaçmasını denetleyen öğeler başlıca kayatürü ve yapıdır.

Kayatürü özellikleri bakımından su kaçağına neden olan başlıca kayalar anhidrit, jips ve kireçtaşıdır. Ayrıca, iyi çimentolanmamış kaya ve buzul vadileri çökelleri ve alüvyon gibi zeminlerde de su kaçakları olabilir. Öte yandan bazaltta soğuma çatlaklarının ve volkan gazlarının oluşturduğu boşluklar kaçağa neden olabilir. Ancak bunların önceden fark edilmesi zordur.

Jips belli bir basınç altında su kaybına uğrar ve anhidrite dönüşür. Anhidrit su alıp jipse dönüştüğünde ise % 30-58 arasında hacim artışı olur. Bu da arazide çeşitli kabarmalara neden olmaktadır. Jipsin erimesiyle arazide çökme ve dolinler oluşur. Buna bağlı olarak da su kaçakları meydana gelir.

Kireçtaşında meydana gelen erimeler sonucu büyük boşluklar ve mağaralar oluşur. Böylece baraj yeri ve göl alanında Yunanistan'da Perdikas ya da Keban'da olduğu gibi büyük ölçüde su kaçakları meydana gelebilir. Bazen de baraj gölünde hiç su birikmeyebilir. Göl alanında, yeni çökel örtü altında fark edilmeyen eski nehir yatağı ve buzul vadileri de büyük ölçüde su kaçaklarına neden olabilirler. Çalışmalarda bunları belirlemek için çok dikkat edilmesi gerekir.

Fay, eklem, çatlak, katmanlanma gibi süreksizlikler göl alanından su kaçmasına neden olabilirler. Katman eğimleri, kıvrımlar su kaçağına olumlu ya da olumsuz yönde etki yaparlar. Örneğin bir antiklinalin çekirdeğinde geçirimsiz bir kaya varsa, buradan su kaçağı önlenmiş olur. Bent yerinden membaya doğru eğimli yüzeyler, su kaçağını azaltır.

Bir diğer etken su tablasının konumudur. Göl alanında, vadi yamaçlarındaki su tablası, en yüksek su düzeyinden yüksek ise göl alanından başka havzalara su kaçmaz. Baraj gölü altında kalacak büyük kaynaklar daima bir soruyu akla getirmelidir: Göl dolduktan sonra bu kaynağın geliş yolu ters çalışarak, gölden diğer havzalara su kaçağı olabilir. Kaynağın geliş yolu saptanabilirse, bunun en yüksek su düzeyinden daha yukarıdan gelip gelmediği bilinebilir. Çoğu zaman bu da mümkün olmayabilir. Bazen bir deneye başvurulur. Kaynağın ağzı betonla tıkanır ve bir manometre konulur. Kaynağın konumu ile en yüksek su düzeyi arasındaki farka karşılık gelen bir hidrostatik basınç oluşuyorsa, böyle bir durumda kaynak yoluyla su kaçağı beklenmemektedir.

Ancak basınç yeterince yükselmiyorsa su kaçağı olasılığı var demektir. Ancak, basıncın yükselmesi başka nedenlerden de olabilir. Deney sırasında çevreden olabilecek sızıntılara da dikkat edilmesi gerekir.

Göl alanından su kaçma olasılığı jeolojik haritaların irdelenmesiyle anlaşılabilir. Bunun için ilk yapılacak iş, harita üzerinde en yüksek su yüksekliğini gösteren düzeyi belirlemektedir. Bu düzeyin altında kalan geçirimli kayaların gidişi izlenir. Geçirimli kayalar daha düşük yükseklikte başka bir vadiye kadar iniyorlarsa, bu yolla göl alanından su kaçma olasılığı beklenebilir. İrdeleme sırasında geçirimli ve geçirimsiz kayaların yapısal durumu da göz önüne alınmalı ve kritik doğrultularda jeolojik kesitler çizilerek durum daha açık bir biçimde görülmeye çalışılmalıdır. Göl alanının jeoloji haritası yapılırken, geçirimli ve geçirimsiz kaya dokanaklarının haritaya çok hassas olarak çizilmesine özen gösterilmelidir.

Göl alanında yamaçların duyarlılığı*: *Yer kaymaları (heyelanlar)

Göl alanında yamaçların duyarlılığı, önceden ayrıntılı olarak araştırılmalıdır. Yer hareketleri ve yer kaymaları, bent yerine ne kadar yakın olursa, etkisi de o kadar çok olur. Yamaçlardan gelen malzeme göl alanına dolarsa, baraj kullanılamaz hale gelebilir ya da en azından ömrü kısalır. Kaymanın yapacağı dalga etkisi, baraj üzerinden suyun aşmasına neden olabilir ve bunun yaratacağı basınç (Vaiont Barajı'nda olduğu gibi), barajı yıkabilir.

Barajın akış aşağı yönündeki alanlarda olası yer hareketleri de irdelenmelidir. Örneğin, akış aşağı bölgelerde bir yer kayması, nehri kapatıp göl meydana getirirse, baraj tesislerini su basabilir.

Göl alanındaki suların kimyasal özellikleri

Göl alanına gelen akarsuların ve kaynakların sıcaklık ve kimyasal özellikleri (PH) tayin edilir. Asitliği fazla suların beton ve gövde kaplama üzerine etkileri araştırılır. Ayrıca sulama amacıyla baraj yapılıyorsa, suyun niteliklerinin sulamaya uygun olup olmadığı araştırılmalıdır.

Baraj bent yeri araştırmaları

Daha önce yapılmış olan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarının ışığında baraj bent yerlerinde 1/5.000 ve 1/1.000 ölçekli jeolojik haritaların yapımıyla başlanır. Jeoloji haritalarının hazırlanmasıyla, bent yerinin de kayatürü özellikleri, yapısı, duraylılığı öğrenilmiş olur. Alınan kaya malzeme ve su örnekleri laboratuvarlara gönderilir. Sondajlar ve galerilerle ayrıntılı araştırmalara geçilir. Araştırmalar, bent yerlerinin jeolojik özelliklerine göre değişir. Her bent yerinde aynı program uygulanmaz. Ancak her bent yerinde bilinmesi gereken bazı temel özellikler vardır. Sondaj ve galerilerle aşağıdaki bilgiler derlenmelidir.

a. Kayatürü özellikleri ve sınırları
b. Kayaların ayrışma derecesi, ayrışma derinliği
c. Fay ve çatlakların konumları ve özellikleri.
d. Alüvyon kalınlığı, alüvyon altında akarsuya paralel bir fay olup olmadığı.
e. Karot yüzdesi, kaya kalite göstergesi (RQD), basınçlı su deneyleriyle hesaplanmış lugeon değerleri, kayaların delinebilme özellikleri.
f. Yer altı su düzeyleri ve değişimleri.

Bazı nehirlerin yatakları fayları izler. Çünkü fay boyunca yatak açmak daha kolay olabilir. Bu nedenle, her iki kıyıdan karşı sahile doğru ve akarsuya az çok dik doğrultuda eğimli kuyular açılır. Bu kuyuların eğimi, vadi kesiti çıkarıldıktan ve düşey kuyularla alüvyon kalınlığı bulunduktan sonra kararlaştırılır. Eğim az olursa, yani yatay doğrultuya yakın olursa kuyu alüvyona girer ve ilerlemeye devam edilse bile yeterli bilgi elde edilemez. Eğim gereğinden fazla olursa, yani dik doğrultuya yakın olursa kuyunun karşı sahile kadar gidebilmesi için derin açılması gerekir.

Kaya kalite göstergesi (RQD) sondajlarda karotlu ilerlemede doğal süreksizlikler tarafından bölünmüş ve boyları en az 100 mm olan karotların uzunluğunun, toplam ilerleme uzunluğuna oranının % olarak ifadesi olup yalnızca kaya zeminlere uygulanır.

Baraj özelinde yapılması gereken bazı mühendislik çalışmaları

Galeri ve tünel açılmasında, yapıya ve süreksizliklere dik yada verev ilerlemeye çalışılır. Bazen önemli fayların araştırılması için yan kollar açılır. Gereksinim duyulursa galeri içinden de sondaj yapılabilir. Bent yeri ve dolayında gömülü vadi olup olmadığı araştırmak amacıyla sık aralıklarla sondajlar yapılır.

Araştırmalar ilerledikçe, yapıların yerleştirileceği yerlerde sondajlar yapılır. Baraj yeri dolusavak, derivasyon tüneli, santral yeri planları sondaj verilerine göre belirlenir. Temel araştırmalarında karotlu sondaj yapılır. Elden geldiğince büyük çapta karot alınmaya çalışılır. Yani karot yüzdesinin yüksek olması istenir. Sondaj derinlikleri barajın amacına göre değişik olabilir. Nehir yatağındaki sondaj derinliği, baraj yüksekliği ile bu yüksekliğin iki katı arasındaki bir konumda olabilir. Alüvyonlarda yapılacak sondajların, suyun en düşük olduğu mevsimde başlanıp bitirilmesine, nehir kıyısındaki sondaj ve galerilerin, yağışlı mevsimlerde suyun basmayacağı yükseklikte açılmasına dikkat edilmelidir.

Dayanımlılıkla ilgili deneyler galeri ve tüneller genellikle 2x2 m kesitli boyutlarda açılır. Sızıntılar, yağışlı havalardan sonraki değişimler, derindeki ayrışma durumu, faylar, çatlaklar, tabakalanma ve kıvrımlar haritalanmalıdır. Galeri ve tünellerde, yerinde kaya mekaniği deneyleri yardımıyla kaya birimlerinin ***elastisite modülleri*** ölçülür. Böylece kaya birimlerinin dayanımlılığı ile ilgili değerlendirme kolaylıkla yapılabilir.

Lugeon basınçlı su deneyi; Araştırma ve enjeksiyon kuyularında ***basınçlı su deneyleri yapılıp kayanın geçirimliliği hakkında bilgi edinilir.*** Şekil 12'de basınçlı su deneyi ile ilgili bir tasarım sunulmuştur. Çeşitli basınçlar altında deney zonunda kayaya sızan suyun debileri ölçülür. Bir ***lugeon birimi***, 10 atmosfer gerçek basınç altında, l dakikada, l metre uzunluktaki zonda sızan bir litrelik su miktarı olarak tanımlanır.

Lugeon tek ve çift lastik deneyleri; 1, 2, 3, 5, 10 metrelik zonlarda yapılabilir. Onar dakika süreyle artan ve azalan basınçlar uygulanır. Zonların m olarak sıralanması (2-4-6-8-10-8-6-4-2 ya da 3-6-10-6-3) şeklindedir. Deneye başlamadan önce pompa kapasitesi ve yeraltı su düzeyi ölçülür. Her basınç uygulandığında 10 dakikadaki kaçak su miktarları kaydedilir. Daha doğrusu kaçak su miktarı 5 dakikada bir kaydedilmektedir. Yamaç molozunda basınçlı su deneyi yapılmaz. Karotların sağlam olduğu zonlarda kaçak fazla ise lastik tutmamış olabilir. Bu durumda deney tekrarlanmalıdır. Lugeon deneyinin basınç (P) ile dolgu derinliği (D) arasındaki ilişkilerin yorumu Şekil 13' de sunulmuştur.

1 Lugeon $= 10^{-5}$ cm/sn

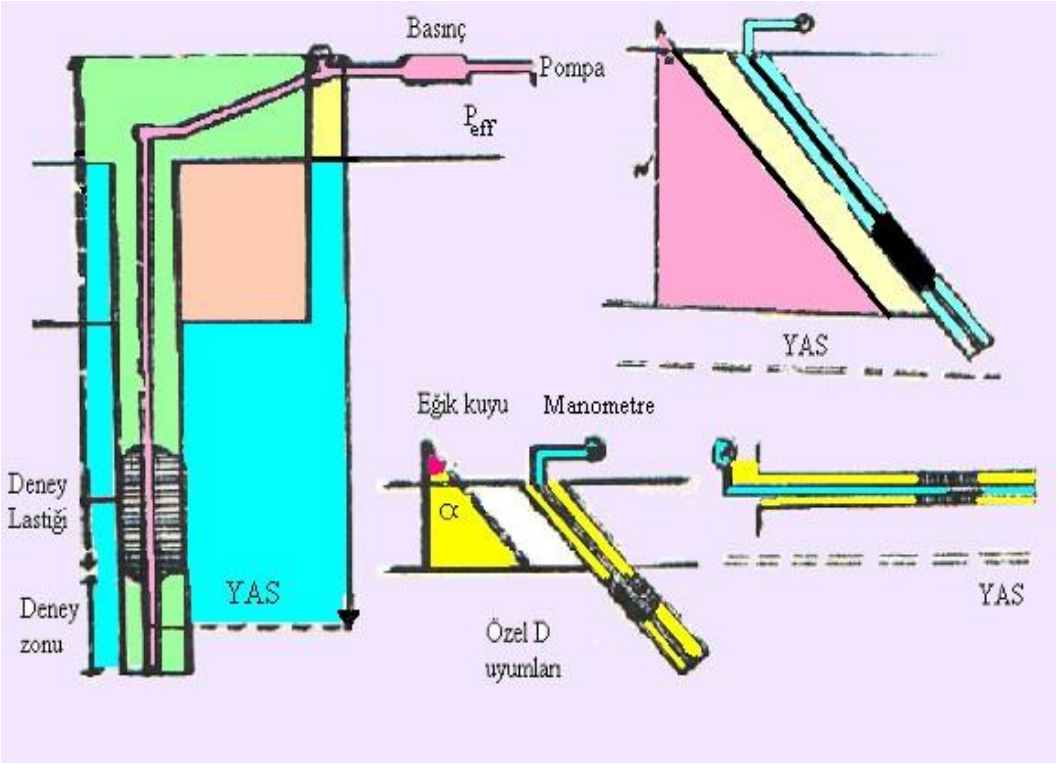
$$P_{eff} = P_m + \frac{H}{10} - P_e$$

P_{eff} = Deney zonundaki gerçek basınç,
P_m = Manometrede okunan basınç (Atmosfer),
H = Yeraltı suyundan manometreye kadar olan mesafe yani dolgu derinliği(m),
H' = Yeraltı suyu olmadığı takdirde deney zonunun ortasından manometreye kadar olan mesafe (m),
P_e = Manometre ile deney zonu arasındaki lastikte tijlerde, bağlantı yerlerinde, vanalarda, ve manometreden sonraki borularda meydana gelen yük kaybı.

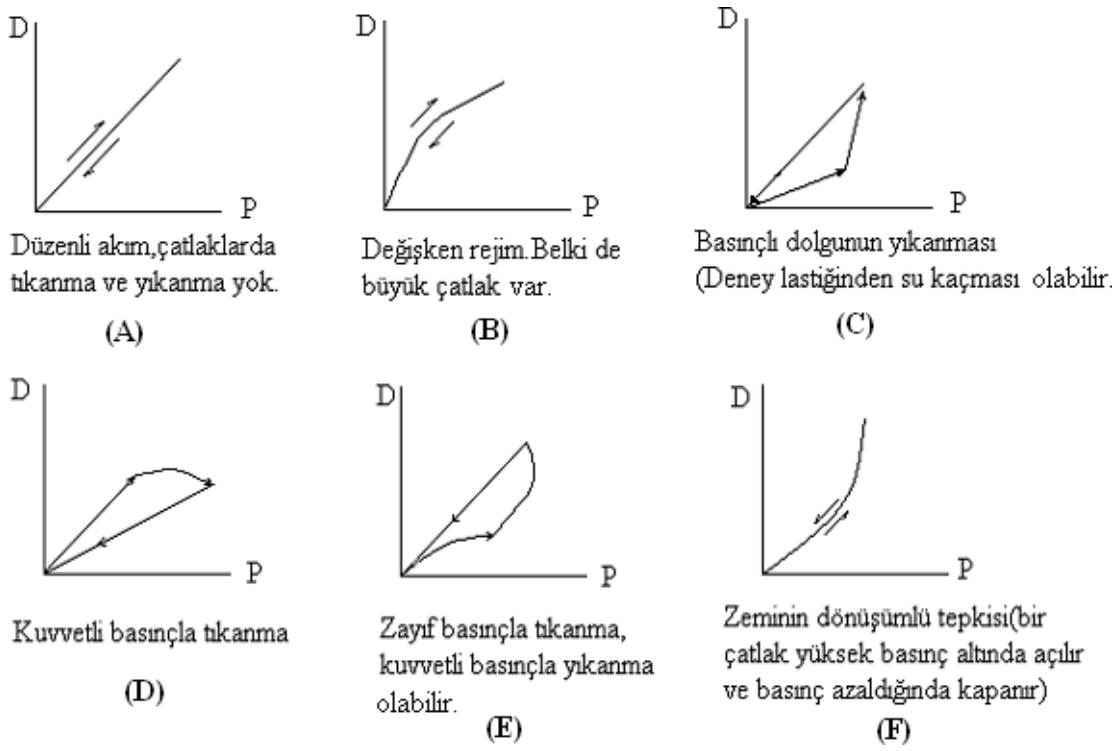
Nehir içi kuyularda gerçek basınç
$P_{eff} = P_m - P_e$ ile hesaplanır.
Hesaplanan Lugeon değerlerine göre kayanın geçirimliliği hakkında şu yargılara varılır:

1 Lugeon' dan az	Geçirimsiz
1-5 Lugeon	Az geçirimli
5-25 Lugeon	Geçirimli
25 Lugeon'dan fazla	Çok geçirimli

Basınç su deneyi sırasında suyun tümü kaçmış ve basınç yükselmemişse Lugeon değeri sonsuz kabul edilir. Genel kural olarak 30 m' den yüksek barajlar için 1 Lugeon biriminden daha az su emen bir kaya geçirimsiz kabul edilir ve enjekte edilemez. Bu sınır 30 m' den alçak barajlar için 1 Lugeon birimidir.



Şekil 12. Lugeon tek ve çift lastik deneyleri (YAS, yeraltı su düzeyi) (Aral,1992).

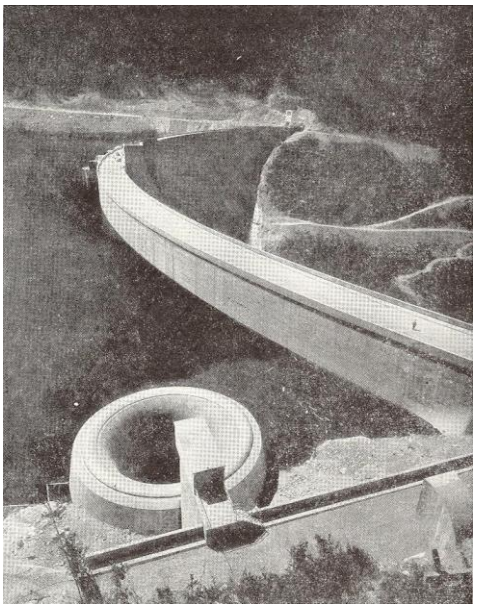


Şekil 13. Basınç (P) ile derinlik (D) arasındaki ilişkilere göre Lugeon deneyinin yorumları (Aral,1992).

Dolusavaklar

Bir barajın üstünden ya da yanlarından taşkın suyunun geçmesini sağlayan kanala dolusavak (spillway) denir. Tipik örneklerde biri olan Glory-Hole savağının arazideki görünümü Şekil 14'de, enine kesiti ise Şekil 15'de görülmektedir. Tasarımları birbirinden farklı dolusavak türleri vardır. Bunlar, baraj gövdesinin üstünde, yanında, tabanda, yamaç içinde ya da rezervuarda olabilirler. En basit dolusavak, suyu barajın üstünden aşıran tiptir. Buna ***üstten akan dolusavak tipi*** denir.

Üstten kapaklı tipte ise dolusavak barajın üstünde bir köprü, bir açıklık şeklinde olur. Bunlar elle ya da otomatik olarak açılır ve kapatılırlar. Buna ***normal dolusavak*** da denir. Barajın yanında baraj eksenine dik ya da dike yakın bir şekilde yapılan kanala ***yandan çevirmeli dolusavak***, adı verilir. Baraj rezervuarında dike yakın konumlu huni ve kuyu şekilli dolu savaklara ***kuyu tipi dolusavak*** denir. Bu tipte huni şekilli bölümden giren taşkın suyu baraj gövdesinin altında bulunan yatay tünele geçer. Huninin üst kısmı, göl havzasının (rezervuarın) en yüksek su düzeyinde bulunur.



Şekil 14. Glory-Hole savağı, Hungry Horse Barajı, Montana (Krynine ve Judd, 1957).

Dipsavak, bir bölüm suyu ya da taşkın sırasında gelen çökelleri atmak amacıyla açılır. Taşkın suyu dolusavak kapasitesini aştığı zaman çalışan savaklara ***tehlike savağı*** denir.

Dolusavak için ideal yer, baraj bent yerine yakın bir boyun noktasıdır. Topografya ve jeolojik özellikler dolusavak yer seçimini etkileyen önemli öğelerdir.

Dolusavak yeri seçiminde gözetilmesi gereken diğer ögeler

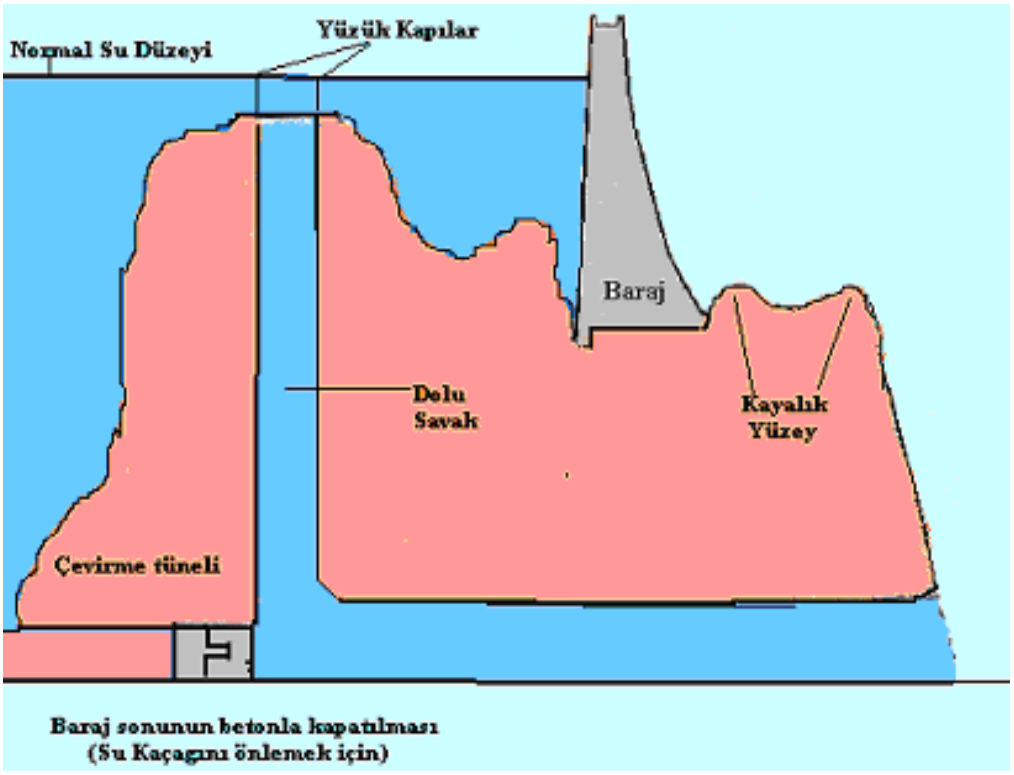
1- Dolu savak için yapılacak kazıdan çıkan malzemenin büyük bir kısmı, baraj gövdesinde kullanılabilmelidir. Bunun için sondajlarla gerekli araştırma yapılmalıdır. Ortaya çıkan malzemenin büyük bir bölümü işe yaramıyorsa projenin de değişmesi gerekebilir. Bu gibi durumlarda zaman kaybı olur.

2- Kayatürlerinin sızma durumu da etkili bir ögedir. Barajın dolması yeraltı sularını büyük ölçüde etkileyebilir. Yapay bir dolusavağın altından çıkabilecek sular, alttan kaldırmayla yapıyı bozabilir. Bu nedenle, böyle bir tehlike varsa dolusavak temelinin önceden enjeksiyonla geçirimsiz hale getirilmesi gerekir.

3- Bent yeri şev duraylılığı (stabilitesi) göz önünde tutulmalıdır. Dolusavak için yapılacak kazılarla duraylılık bozulabilir.

4- Dolusavakta çıkan suyun düşme kanalında ve topukta meydana getireceği aşındırma ve oyma göz önünde bulundurulmalı, önceden gerekli önlemler alınmalıdır.

5- Dolusavak tünel şeklinde yapılacak olursa, tünellerde karşılaşılabilecek olası sorunlar da önceden gözetilmelidir.



Şekil 15. Glory-hole savağı enine kesiti (Krynine ve Judd, 1957).

Balık geçitleri

HES'lerin planlanmasında göz ardı edilmemesi gereken yapılardan biri de can suyu ve balık geçitleridir. Örneğin, Antalya'nın Manavgat ilçesine bağlı Değirmenözü köyünde bulunan Kasımlar Barajı ve HES'e ait santralden nehir yatağına verilmesi gereken can suyu kesilince binlerce balık öldü. Çevresel akışın kesildiği nehir yatağının onlarca kilometrelik kısmı kurudu (https://odatv4.com/binlercesi-oldu-geriye-kalani-can-cekisiyor-23082011.html; 23.08.2020 12:11).

Balık geçitleri 'akarsuyun doğal akışını önleyen yapay yapılarda, balıkların ve su içi canlarının yapının memba (akış yukarı) ve mansap (akış aşağısı) arasında hareketini sağlayan yapılardır'. Bu yapılar, balıkların daha temiz ve berrak akarsu ortamlarına yumurta bırakmaları için inşa edilmesi gereken balık geçitlerinin planlanması, projelendirilmesi, inşa edilmesi, işletilmesi, izlenip değerlendirilmesi gibi hususları içerir ve birçok uzmanlık alanının ortak çabasını gerektirmektedir.

Örneğin, balık geçitleri inşa edilmeden önce, nehir yaşamını sağlayan akarsuyun özelliklerinin bilinmesi, bu suda yaşayan balık türlerinin tespit edilmesi, nehir üzerindeki depolama ve su alma yapılarının incelenmesi ve balık göçleri konularında bilgi edinilmesi gereklidir. Ayrıca, inşa edilen yapılardan balıkların geçip geçemeyecekleri izlenip değerlendirilmelidir. Bunun için gerekirse balık asansörleri ya da perdeleri de yapılmalıdır (Bekişoğlu, 2013). Bu temel bilgilerin ortaya konulması çok disiplinli bir çaba gerektirir. Şekil 16' da balık geçitleri ile ilgili bir sahne, Şekil 17' de balık asansörü görülmektedir. Sanırım böyle bir sahne olayın ciddiyetini de göstermektedir.

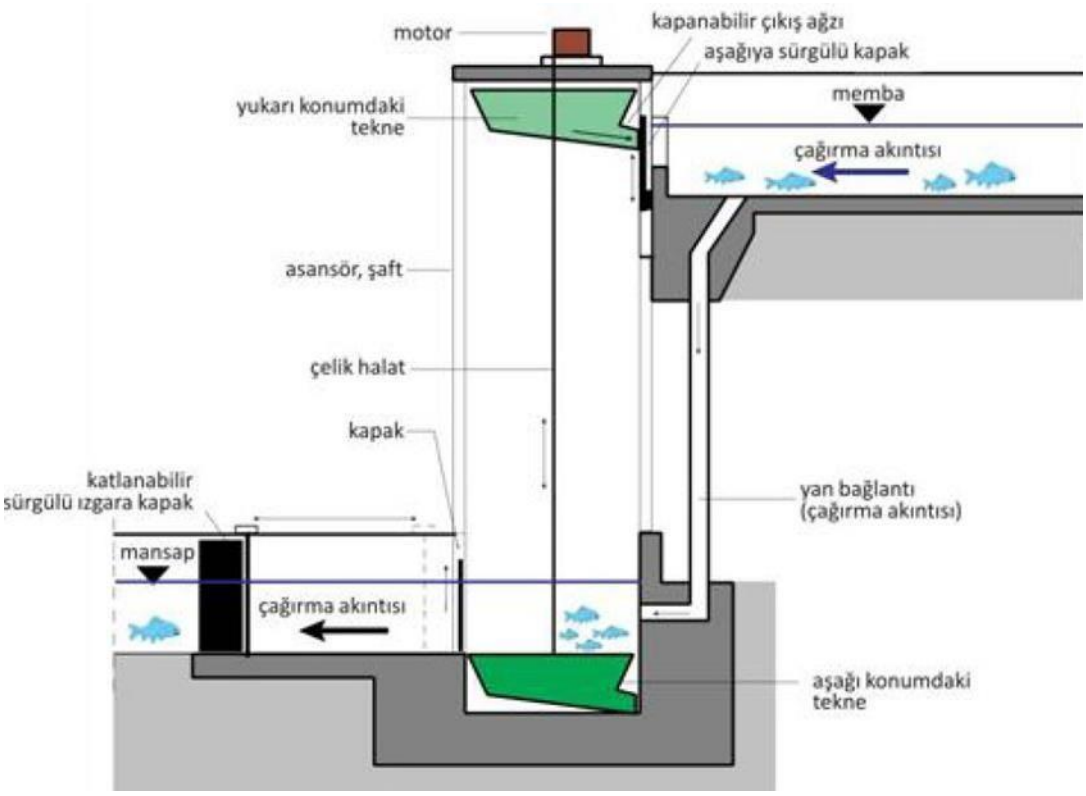
Göletin ya da akarsuyun su sıcaklığı ve bu sıcaklığın balık geçitleri yapıları nedeniyle değişimi gibi çevresel faktörlerin sürekli izlenmesinde yarar vardır. Çünkü küçük sıcaklık değişimlerine bile balıkların uyum göstermesi mümkün değildir.

Baraj memba ve mansap arasındaki su sıcaklığının birbirinden çok farklı olması nedeniyle gövde gerisinde biriken su derinliği 20 metreden fazla olan barajlara balık geçidi ve balık asansörü yapılamaz. Bu durumun nedeni ise, balıklar bulundukları ortamdan başka bir ortama geçerken su sıcaklığı farkı 3 ^{0}C'den fazla ise "şoka girer" ve ölür. Dolayısıyla, dünyada yüksekliği 20 m'den fazla olan depolamalı yapılarda balık geçitleri inşa edilmemektedir. Bu konuda acilen ***balık geçitleri teknik rehberinin*** ilgili kurum ve kuruluşların katkısı ile hazırlanmalı ve uygulanmalıdır (Bekişoğlu, 2013).

Şekil 16. Balıklar için göç asansörü (http://www.hurriyet.com.tr/baliklar-icin-goc-asansoru).

Şekil 17. Tuilieres Balık Asansörü (Dokay, 2013).

'Asansör Tipi Balık Geçidi' DSİ tarafından 2009 yılında basılan "Balık Geçitleri: Tasarım, Boyutlandırma ve İzleme" adlı kaynak dikkate alınarak hazırlanmıştır (Dokay, 2013). Önerilen balık asansörünün şematik yapısı Şekil 18' de görülmektedir. Balık asansörleri omurgasızların memba yönünde göçü için uygun değildir. Ayrıca asansörlerin inşaat ve bakım giderleri yüksektir.



Şekil 18. Balık asansörünün şematik yapısı (Dokay, 2013).

KAYALARIN BARAJ YERİ OLMA NİTELİKLERİ

Yeryüzünde bulunan magmatik, çökel ve metamorfik kayaların baraj yeri olma yönünden niteliklerini belirten tanımlar yapma olanağı yoktur. Kayatürleri, oluştukları sırada geçerli olan ortamın özellikleri ve etkisinde kaldıkları kuvvetlere göre değişik özellikler gösterirler. Dolayısıyla, kayatürü adı, bileşimi ve oluşumu aynı olan birimler, her zaman aynı mühendislik özellikleri göstermeyebilir. Buna göre, her baraj yeri ayrıntılı olarak incelenmelidir. Ancak, çeşitli kayaların baraj yönüyle davranışları, su tutma nitelikleri, suya karşı duyarlılıkları bugüne kadar edinilen bilgilerin ışığında genel olarak ortaya konulabilir.

Derinlik kayaları

Derinlik kayaları ayrışmamış, çatlaksız ve kırıksız oldukları zaman çok sağlam ve geçirimsizdirler. Bu tür kayalardan oluşan alanlar, ideal bir baraj yeridir. Ayrışmış, kırılmış, faylanmış derinlik kayalarının ise dirençleri azalmakta ve böyle durumlarda derinlik kayaları olsalar bile fazla su emerler ya da kırık ve fay zonlarından su kaçırırlar. Dolayısıyla baraj yerlerinde sondaj ve galerilerle ayrıntılı araştırmalar yapılmalıdır. Derinlik kayaları üzerinde büyük ağırlık ya da kemer baraj yapılacaksa, en azından kayaların elastisite modülleri de tayin edilmelidir. Kayaların çeşitli noktalardaki mühendislik değişkenlerinin değişimleri ve bu değişimlerin nedenleri araştırılmalıdır.

Volkanik kayalar

Volkanik kayalar çok değişik doku ve bileşimde bulunabilirler. Tüflerde taneler arası boşluklar, bazaltta soğuma çatlakları ve gaz boşlukları çok görülür. Bazı yerlerde lavlar, tüflerle ve çökellerle ardalanmalı olarak bulunur. Bu durumlarda ardalanmalı düzeylerin her birinde değişik geçirgenlik (permeabilite) nitelikleri görülür. Andezit, dasit ve trakit ayrışmamış ise baraj yeri olarak kullanımları uygundur. Ancak bunlar çoğu zaman ayrışmış, çatlaklı ve geçirimli bir yapı sunarlar.

Çökel kayalar

Çökel kayaların baraj yeri olabilme nitelikleri çok farklıdır. Alüvyon, buzultaş (moren) gibi zeminler çok geçirimlidir. Bunların killerle ya da geçirimsiz kimyasal maddelerle enjeksiyonu gereklidir. Bu işlem ise zor ve masraflıdır.

Çökel kayalar, iyi çimentolanmış ise, baraj yeri olabilme potansiyelleri kısmen de olsa vardır. Kumtaşı, arkoz, grovak, kuvarsit baraj yeri olma yönünden iyidirler. Ancak özellikleri çimentonun türüne ve çatlaklarının sıklık ve açıklığına göre değişebilir. Marn, silt, kil, silt taşı temellerde şişme, kabarma ve şev duraysızlığı gibi sorunlar yaratabilirler. Katmanlar yamaç dışarı yönde eğimli ise kaymalar meydana gelebilir. Şeyl, geçirimsiz olup suyla temasta duraylılığı bozulabilir.

Kireçtaşı üzerinde baraj yapılması istendiğinde karstik araştırmaların çok iyi yapılması gereklidir. Araştırmalar çok iyi yapılırsa, karşılaşılacak güçlüklere karşı alınması gerekli önlemler önceden kestirilebilir. Maliyet hesapları da buna göre yapılır. Genellikle her baraj yerinin bazı kayatürü özellikleri yönüyle kusurları bulunabilir.

Metamorfik kayalar

Metamorfik kayaların mühendislik özellikleri kayatürü, yapı ve ayrışma durumuna göre değişir. Çoğu zaman mermer hariç metamorfik kayalarda geçirimlilik sorunu yoktur. Ancak, ayrışmış ve killi metamorfik kayalarda duraylılık kolayca bozulabilir. Fay, eklem, yapraklanma gibi süreksizlikler olumsuz yönde etkilidirler.

BARAJLARIN YIKILMA SORUNLARI

Dünyanın çeşitli bölgelerinde zaman zaman çeşitli tipteki barajların yıkıldığı ya da göl alanlarında su toplanmadığı görülmektedir. Şimdiye kadar 300'den fazla baraj yıkılmıştır. Barajların yıkılması bent yeri ve dolayında ya da göl (rezervuar) alanında meydana gelen olayların etkisiyle olmaktadır.

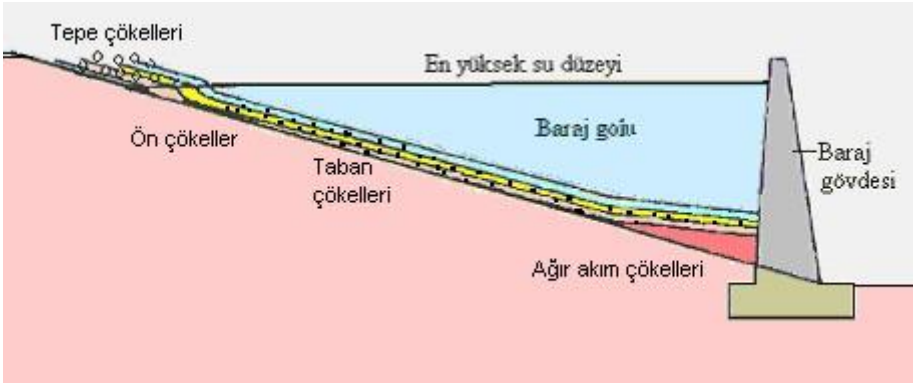
A. Bent yeri ve dolayında meydana gelen sorunlar:
   a) Bent yeri ve dolayında oluşan sızıntılar,
   b) Özellikle toprak barajlarda temel zemininde yada gövde gerecinde kohezyonun yetersizliği,
   c) Baraj gövdesinin şevlerine (yamaçlarına) uygun eğimin verilmemiş olması,
   d) Akış yukarı bölgelerde oyulmaların meydana gelmesi,
   e) Gövdede farklı oturma nedeniyle çatlak ve yarıkların açılması
   f) Çekirdek ve filtre malzemesinin iyi seçilmemiş olması,
   g) Dolusavak şekli ve kapasitesinin iyi saptanamaması ve yerinin iyi ayarlanmamış olması,
   h) Diri fayların devinimi,

B. Göl alanında oluşan olaylar
   a) Yer kaymaları (Heyelanlar) ve bunların yarattığı dalgaların etkileri
   b) Diri faylar ve depremlerin dalga hareketleri.

BARAJLARDA SİLTLENME ve SİLTLENME MEKANİZMASI

Barajların yapımından sonra, suların taşıdığı blok, çakıl, kum, silt, kil gibi gereçler, baraj gölüne dolmaya başlar ve barajın işlevi ve ömrü giderek kısalır. Özellikle sağnak yağışları izleyen sellenme ile bol oranda malzeme baraj gölüne ulaşır. Bitki örtüsü de az ise aşınma (erozyon) daha da fazla olur. Taşınan gereçler baraj gölüne ulaştıktan sonra, taneler iriden küçük olanlara doğru çökelmeye başlar. Silt ve kil baraj gövdesi dolayında çökelir ve özgül ağırlığı 1,3-1,6 olan bir çamur oluşur.

Siltlenmenin baraj eksenine doğru gelişmesi Şekil 19'da gösterilmiştir. Akış yukarı alanda ve en yüksek su düzeyinin üstünde kalan çökellere tepe çökelleri denir. Ön çökeller, suların baraj gölüne girdiği kısımda biriken tortulardır. Burada suyun hızı azalır ve iri blok ve çakıllar toplanır. Bunlar akışa engel olur ve akış yukarısında çökelme artar. Biriken kırıntıların artmasıyla dik bir yamaç oluşur. Gereçlerin bir bölümü göle doğru kayar. Olayın tekrarlanmasıyla gölde iri ve ince malzemeler ardalanmalı olarak birikir.



Şekil 19, Baraj göllerinin zamanla dolması ile oluşan çeşitli çökeller (Aral,1992).

Baraj gövdesine yaklaştıkça daha ince malzeme çökelir. Bunlara taban çökelleri denir. Baraj gövdesine yakın çökelen en ince taneli çökellere ağır akım çökelleri adı verilir. Bunlar, zamanla sıkışarak yoğunlukları artar ve baraj eksenine doğru basınç yaparlar.

Bir baraj gölünün silt tutma niteliği, iklim, baraj gölüne gelen su miktarı, erozyon oranı, barajın yaşı ve kullanma süresi, topografyası, gölün şekli ve kapasitesi, jeolojik yapısı, kayatürü özellikleri, bitki örtüsü ve boşaltma yapıları gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Göl (rezervuar) alanlarının ***silt tutma niteliği*** (Te) aşağıda belirtilen değişkenler gözetilerek ifade edilir.

$$Te = \frac{S_i - S_o}{S_i}$$

(Yani silt tutma niteliği, rezervuara gelen tüm silt miktarının, baraj gölünde alıkonan silt miktarına oranı olarak ifade edilir.)

S_i = Bir yılda baraj gölüne gelen çökelin lt hacmi
S_0 = Bir yılda baraj gölünden geçip giden çökelin lt hacmi

Projenin hizmet süresi, rezervuar kapasitesinin (C), yıllık su akımına (I) bölünmesiyle bulunur ve C/I oranı ile ifade edilir. I ise S_i ile T_e'nin çarpımına karşılık gelir. Bu bilgilere göre rezervuarın hizmet süresi (R_L):

$$R_L = \frac{C}{S_i.Te}$$ 'dir.

Gölde siltlenmeyi önlemek için, beslenme alanını ağaçlandırmak yani aşınmanın erozyon denetimini ve birikmiş silt çökellerini suyun akışını değiştirdikten sonra başka bir yöne aktarmak gerekmektedir.

BARAJLARIN VE HES'LERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Bol kırık ve çatlakların olduğu arazilerde barajların inşa edilmesi maliyeti bir hayli arttırmaktadır. Ayrıca bir köprü ya da tünel çöktüğünde can ve mal kaybı meydana gelmektedir. Bir barajın tümüyle çökmesi büyük su taşkınlarının yanı sıra binlerce insanın birkaç dakika içinde yaşamını kaybetmesine yol açar. Bu nedenle barajların yol seçimi ve gözetimi oldukça önemli bir konudur.

Çevresel etkilere geçmeden önce yaşanmış bir deneyimi anımsatmakta yarar vardır. Ne var ki geçmişte yaşanmış deneyimler bu konuda karamsar olmamıza neden olmaktadır. Bu nedenle de St. Fransız Barajı özelinde yaşanmış olan deneyimin iyi bir şekilde değerlendirilmesinde yarar vardır. St. Fransız Barajı, Kaliforniya'da Los Angeles'ın 70 km kuzeyinde inşa edilmiştir. Rezervuar su gereksinimi için yeterli baraj 1926 yılında, 60 m yüksekliğinde ve 150 m genişliğinde olacak şekilde tamamlanmıştır. Barajın yapıldığı vadi yamaçları iri taneli kumtaşı ve diğer çökel kayalardan oluşmuştur. Diğer kayalar ise genel olarak, şist ve mikaşistten oluşan metamorfik kayalar olup,

bunların yapraklanması baraja ve rezervuara yönelikti. Bu iki kayatürü arasındaki dokanak, yani barajın yapıldığı yerdeki dokanak faylı idi. Bu fayın varlığı biliniyordu ve baraj yapılmadan önce bu fay haritaya işlenmişti.

Baraj 12 Mart 1928 yılında çöktü ve yüzlerce insan boğuldu. 10 milyon $ dolayında zarar meydana geldi. Daha sonra yapılan laboratuvar testleri sırasında bu çökmenin nedeni olarak söz konusu fayın yeterince göz önüne alınmadığı görülmüştür. Vadinin yamaçlarını oluşturan kayalar kuruyken yeterince dayanımlı olduğu ortaya konulmuştur. Fakat barajın her iki tarafındaki çökel kayalar, jips ara katkılar açısından zengindi ve jipsler suyla temasa girdiğinde kolaylıkla çözünebilirler. Bu çökel kayalar, suyla temasa geçtiğinde kolaylıkla çözüldüğü için birkaç saat içinde dahi çözülür ve geriye sadece kum ve kil yığını kalır. Dolayısıyla bu tür kayalar, YAS açısından da bir akiferi temsil ederler.

Açıkça bu tür kayalar çözülmeden sonra önce çöker, daha sonra kaymalara neden olur. Böylece baraj ile ilgili destek de zayıflamış olur. Çökel kayalar böylece eriyip azaldıkça temeli oluşturan şistler ortaya çıkar. Böylece barajın her iki tarafında kaymalar olur, çökmeler meydana gelir ve barajın gövdesi desteksiz kalır. St. Fransız Barajı'nda meydana gelen bu olay kaya birimlerinin suyla reaksiyona girmesiyle bu facianın ortaya çıktığını ve seçiminin de son derece önemli olduğunu tüm mühendislere hatırlatır. Özenli jeolojik araştırmalar ve uygun yer seçimi bir şekilde yapılmış olsaydı St. Fransız Barajı'ndaki facia yaşanmazdı.

Barajların yer seçimi ve planlanmasından sonra baraj yapımına karar verilen yere özgü mevcut durumu belirlemek üzere yoğun bir çabanın gösterilmesi gerekmektedir. Canter (1977) barajların olası çevresel etkilerini gözeterek aşağıda belirtilen faktörlerin değerlendirilmesinin yararını vurgulamaktadır. Ülkemizde de barajların ÇED çalışmalarında özel bir format öngörülmektedir. Dolayısıyla barajların yoğun çevresel etkilerini gözeterek Canter (1977) tarafından belirtilen temel faktörlerin sunulmasında yarar görülmektedir:

I. Arazinin doğrudan kaybı ya da verimliliği

A- Özellikle arazi kullanımı
   1. Tarımsal ya da çim
   2. Ormanlık ya da kereste
   3. Sulak alanlar ve bataklıklar

B- Ticari verimlilik
   1. Mineral kaynakları (çakıl, kireçtaşı, petrol, gaz gibi)
   2. Ticari balıkçılık

II. Yapıların yerleştirilmesi sırasında arkeolojik veya tarihi yerlerin zarar görmesi

A- Arkeolojik veya tarihi yerler
B- Evler veya köyler
C- Karayolları, demiryolları ve diğer taşıma araçları
D- Mezarlık
E- Eğlence yerleri

III. Doğal yaşam yerlerinin kaybı

A- Türlerin yaşam yerlerinin belirlenmesi
B- Fırsatçı avcılığın verdiği hasarlar

IV. Estetik kalitenin değişimi

A- Estetiğin azalması
B- Estetiğin artması

V. Doğal akarsuyun sel taşkınları veya hasarları

A- Akarsu balıkçılığının hasarları
B- Potansiyel eğlence alanlarının zararı

VI. Su Kaynakları nedeniyle olan çevresel etkiler

A- Bir akarsu çevresinin göl çevresi yerine kullanılması

B- Sıcak su balıkçılığının yapılması
C- Doğal yaşam alanlarının oluşturulması

VII. Kirlilik yükleri nedeniyle su kalitesindeki değişimler
A- Termal katmanlanma
B- Alg büyümesi
C- Besin ve atıkların birikmesi
1. Su kalitesinin azalması
2. Ötrofikasyonun artması

VIII. Baraj yarattığı etkiler
A-Çökellerin artması
B- Balık üretimindeki azalma

IX. Su savakları nedeniyle ortaya çıkan etkiler

X. Akarsuların akıntı yönündeki etkileri
A-Akarsu yatağının akıntı yönünde silt veya çökel azalması
1. Akıntı yönünde erozyon artması
2. Akıntı yönünde su kalitesinin artması
B- Akıntı yönünde balıkçılığın çoğalması veya düzelmesi
C- Düşük akışı artırma veya düzeltme
1. Akış yönünde su kalitesinin düzeltilmesi
2. Akış yönünde estetiğin düzeltilmesi
3. Akış yönünde eğlencenin tanzimi
4. Akış yönünde sivrisinek probleminin azaltılması

XI. Yeraltı suyunun boşalımının etkileri

XII. Kıyı çizgisindeki değişim ve peryodik taşkınların etkileri
A- Doğal yaşam üzerindeki olumsuz etkileri
B- Bitki örtüsü üzerindeki olumsuz etkileri
C- Su haznesi düzeyinin düşük olduğu aşamalarda estetiğin azalması

Barajların planlama ve hazırlık (kuruluş), inşaat ve işletme evrelerinde ise çeşitli çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Planlama ve hazırlık evresinde sınırlı olarak, inşaat evresinde ağırlıklı olarak hava, su ve toprağın yanı sıra gürültü kirliliği; işletme evresinde ise aşağıda sunulan etkiler ve sorunlar yoğun olarak yaşanmaktadır.

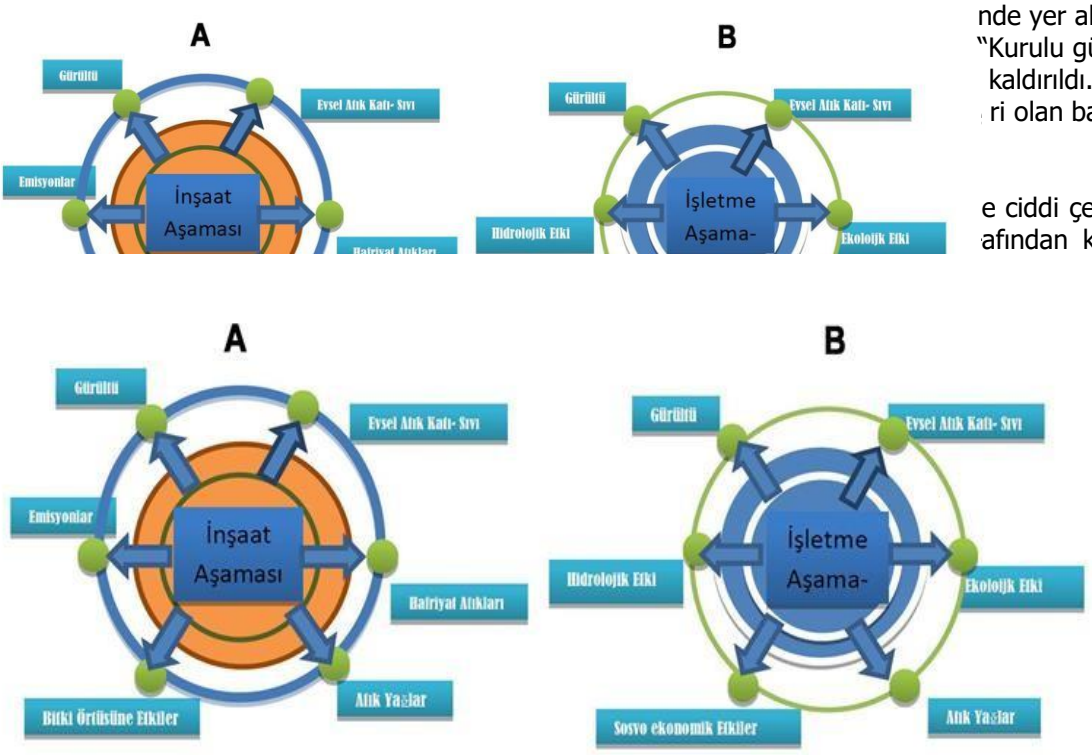
1- Ekolojik etkiler; bitki örtüsünün değişmesi, kirlilik nedeniyle türlerin azalması,
2- Sosyoekonomik etkiler; göç olayları, nüfus yoğunluğu değişimi, yeni yaşam biçimleri, verimli toprakların su altında kalması, yeni iş olanakları, gelir düzeylerinin değişmesi,
3- Doğal ve kültürel miras üzerine etkiler; eski uygarlıkların ya da doğal ve görsel yapıların akarsular boyunca yer almaları nedeniyle su altında kalmaları,
4- İklim etkileri; buharlaşma, havadaki su buharının artması ve yaşamı etkilemesi,
5- Yer altı sularına etkiler, YAS düzeyi yükselmeleri ya da yer altı su kaçaklarının meydana gelmesi,
6- Doğal afetlere ilişkin etkiler: 1) Yer kaymalarının çevresel etkileri, 2) Depremlere ilişkin etkiler; suyun ve su basıncının diri fayları etkilemesi, 3) Diğer doğal afetlerin etkileri,
7- Çevre kirliliğine ilişkin etkiler; su, hava, toprak kirliliği ve katı atıkların uzaklaştırılmasıyla ilgili sorunlar,
8- Çeşitli kazalar ya da sabotaj nedeniyle meydana gelmesi olası çevresel etkiler,

Barajların çevresel etkileri, büyük mühendislik yapılarının çevresel etkileri ışığında GAP örneği özelinde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

ÇED Yönetmeliği (2014)'e göre, göl hacmi 10 milyon m^3 ve üzeri olan baraj ve göletler ile kurulu gücü 10 MWm ve üzeri olan hidroelektrik santralleri EK-1 listesinde yer almakta ve ÇED

nde yer almakta
"Kurulu gücü 10
kaldırıldı. ÇED
ri olan baraj ve

e ciddi çevresel
afından kısmen



Şekil 20. HES' lerin inşaat **(A)** ve işletme **(B)** evrelerindeki çevresel etkileri (Saraçoğlu ve Keçeci, 2013).

Örneğin, inşaat evresinde başlıca atıklar (evsel katı ve sıvı; hafriyat ve yağ atıkları), çeşitli türde emisyonlar ve gürültü gibi çevresel etkiler ortaya çıkar. Ayrıca bitki örtüsü tahrip olur. İşletme evresinde ise yine çeşitli atıkların yanı sıra gürültü oluşur. Ayrıca ekolojik, sosyoekonomik ve hidrolojik değişimler kaçınılmaz olarak çevreyi etkiler.

Baraj ve HES türü su yapıları, doğal hidrolojik rejimi değiştirerek ve buna bağlı olarak su kalitesini, yüzey ve yeraltı suyu arasındaki hidrodinamik ilişkiyi, jeomorfolojiyi ve biyoçeşitliliği etkileyerek; ekolojik olarak değerli bölgelerin yok olmasına, fiziksel bölünmesine, ya da daralmasına ve bu bölgelerdeki yaşam alanı kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır.

Bu yapıların etkilerini önlemek için çeşitli stratejilerin geliştirilmesine karşın bu stratejilerin etkin olup olmadığı tartışmalıdır. Su yapılarının ekosistemlere kümülâtif etkileri "Karmaşık Uyumlu Sistemler (KUS)" ve Aktör Temelli Modelleme (ATM) türü uygulamalarla incelenmektedir (Şengül, 2013). Son yıllarda, hidrolojik değişimle bitki örtüsü, doğal yer süreçleri ve biyoçeşitlilik arasındaki ilişkileri analiz eden hidrolojik modelleri, sucul yaşam modelleri, bitki örtüsü modelleri ve ekolojik ağ modellerini oluşturma yönünde çabalar artmıştır.

Nehir tipi HES'lerin ardışık olarak planlanmasında uzun süreli kümülâtif etkiler ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Değerlendirmenin inSTREAM modeliyle yapılabileceğine dair çeşitli uygulamalar vardır. inSTREAM modelinin amacı, akım, sıcaklık, türbidite ve nehir yatağı değişimleri sonucu oluşan ekosistem populasyonlarını sayısal olarak belirlemektir. inSTREAM modelinde gözetilen değişkenler ve değişkenlerin yer aldığı denklemler aracılığıyla ekosistemde yer alan populasyonlar sayısal olarak kestirilebilir (Şengül, 2013).

HES' lerin inşaat ve işletme evrelerindeki işlemler ve etkiler Yüksel ve Baştanlar (2013) tarafından ayrıntılı olarak sunulmuştur (Çizelge, 1). Bu liste irdelendiğinde, her iki evrede de kapsamlı işlemlere gereksinim olduğu ve bu işlemlere bağlı olarak önemli çevresel sorunların çıkabileceği söylenebilir.

Gerek enerji, gerekse çok amaçlı Hidroelektrik Santrallerinin (HES) taşkın koruma, çevre ziraatını geliştirme, balıkçılığı destekleme, ağaçlandırma ile çevrenin estetik kalitesini ve mansapta su kalitesini yükseltme gibi olumlu etkileri vardır. Bununla birlikte gerek baraj gerekse nehir tipi hidroelektrik santrallerinin çeşitli çevresel etkileri vardır. Özsayın (2013), HES' lerin çevresel etkilerini arazi kullanımı, yabani yaşam etkileri ve yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonları açısından irdelemiştir. Çeşitli kaynaklardan yararlanarak varılan sonuçların bir bölümü aşağıda özetlenerek sunulmuştur:

Çizelge, 1. HES'lerin inşaat ve işletme aşamasında çevreye etkileri (Yüksel ve Baştanlar, 2013).

Tesis/Faaliyet	İşlem	Etki
INŞAAT AŞAMASINDA		
Rezervuarın hazırlanması	Bitki örtüsünün sıyrılması	Su kıyısında ve suyun yükseleceği tarım alanları, çalılık, ağaçlık alanlarda yaşayan türler için habitat kaybı
		Su kıyısındaki bitki türlerinde ve tarım alanları gibi habitatlarda yetişen türlerde kayıp
		Yavaş hareket edebildiği için su seviyesi yükseldiğinde kaçamayan faunaya ait türlerde kayıp
	Orman alanlarının kaybı	Rezervuar alanı içinde kalacak Habitatların kaybı
		Rezervuar alanı içinde kalacak Tür kaybı
	Ulaşım/trafik	Gürültü ve titreşimin yaban hayatını etkilemesi
	Atık	Su, toprak kirliliğine yol açarak ekosistem üzerine olumsuz etkiler yaratması
Baraj inşaatı	Bitki örtüsünün sıyrılması	Habitat kaybı İnşa edileceği alanın yakınındaki bitki örtüsünü tahrip edeceğinden habitat kaybına yol açacaktır
		Bitki örtüsünün tahribatından ötürü bitki ve hayvan türlerinde kayıplar olacaktır
	Orman alanlarının kaybı	Habitat kaybı
		Tür kaybı
	Ulaşım/trafik	Gürültü ve titreşimin yaban hayatını etkilemesi
	Atık	Su, toprak kirliliğine yol açarak ekosistem üzerine olumsuz etkiler yaratması
	İnşaat aktivitelerinin su kalitesini etkilemesi	Sedimantasyon, kirlilik suda yaşayan ekosistemleri etkiler
Şantiye Alanı, Beton Santrali, Erişim Yolları, İletim Hatları	Bitki örtüsünün sıyrılması	Habitat kaybı
		Tür kaybı
	Orman alanlarının kaybı	Habitat kaybı
		Tür kaybı
Kaya ocağı, Malzeme Ocağı	Bitki örtüsünün sıyrılması	Habitat kaybı
		Tür kaybı
	Malzeme alımı, işleme faaliyetlerinin su kalitesini etkilemesi	Sedimantasyon, kirlilik suda yaşayan ekosistemleri etkiler
		Tür kaybı
İŞLETME AŞAMASINDA		
Rezervuar alanı	Bitki örtüsünde biomas ayrışımı ve çürüme	Oksijen seviyesinin düşmesi sudaki canlıların yaşamını etkiler
	Mansap kısmında suda yaşayan türlere etkiler	Yerel türlerin üreme ve yumurtlama alanlarında değişiklik
	Mevcut balık türlerinin değişmesi	Üreme ve yumurtlama alanlarının değişmesinden ötürü tür sayısının azalması
	Suyun sıcaklık, ph derecesi vb parametrelerindeki değişiklik	Suda yaşayan türlerin populaşyonunu ve fizyolojik özelliklerinin etkilenmesi
Tesis	Doğal akış rejiminde değişiklik	Doğal akış hızının ve miktarının değişmesinden ötürü ekosistemin ve mansaptaki türlerin etkilenmesi
	Habitatı sınırlandırma	Habitatı ikiye böler

Arazi Kullanımı

Bir HES' in rezervuarının büyüklüğü, hidroelektrik jeneratörlerinin büyüklüğüne ve arazin topografyasına bağlı olarak farklılıklar sunar. Düz alanlardaki hidroelektrik tesisler, (daha fazla hacimde su tutan kanyonlara göre) daha fazla arazi gerektirmektedir. Bir hidroelektrik rezervuarının da son derece önemli çevresel etkileri vardır: Örneğin bu alanlardaki ormanlar, yabani yaşam habitatı, tarım arazileri ve güzel görüntülere sahip araziler zarar görebilir.

Yabani Yaşam Etkileri

Barajların rezervuarları, tarımsal sulama, sel denetimi ve dinlenme yeri gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Bu nedenle barajlarla ilişkili yabani yaşam etkilerinin tümü doğrudan HES'e atfedilmemelidir. Ancak, hidroelektrik tesislerin yine akustik ekosistemler üzerinde önemli bir etkisi olabilir. Örneğin, etkiyi azaltmaya yönelik çeşitli (balık savakları ya da içeri alım elekleri gibi) ek yapıların olmasına karşın, balıklar ve diğer organizmalar türbinin kanatlarının çarpmasından zarar görebilir ya da ölebilir.

Doğrudan temastan ayrı olarak, yabani yaşam hem rezervuarlarda hem de tesisten aşağı akış yönündeki alanlar da etkilenebilir. Rezervuar suyu genellikle normal nehir suyundan daha durgundur. Bunun bir sonucu olarak, rezervuar normalden fazla miktarda çökel ve besin içerir. Bu da fazla miktarda alg ve diğer su yosunlarının gelişmesine neden olur. Bu yabani otlar, diğer nehir hayvanlarını ve bitki yaşamını tehdit edebilir. Bu gibi durumlarda, yabani otları yiyen balıkları ortama salmak suretiyle bir denetim sağlanabilir (NREL, 2012: http://www.nrel.gov.tr/' den).

Ayrıca, baraj rezervuarlarda buharlaşma yoluyla kaybedilen su miktarı, akan nehirlere göre çok daha fazladır. Buna ek olarak, rezervuarın arkasında eğer çok fazla su depolanırsa, rezervuardan aşağı akış yönündeki nehir kolları kuruyabilir. Bu nedenle, birçok hidroelektrik operatörünün yılın belli zamanlarında asgari miktarda suyu serbest bırakması gerekmektedir. Eğer uygun şekilde serbest bırakılmazsa, aşağı akış yönündeki sucul yaşam zarar görebilecektir.

Rezervuar suyu, normal nehir suyuna göre tipik olarak çözünmüş oksijen bakımından düşük ve daha soğuktur. Bu su serbest bırakıldığında, aşağı akış yönündeki bitkiler ve hayvanlar üzerinde olumsuz bir etkiye neden olabilir. Bu etkileri azaltmak için, havalandırma türbinleri tesis edilmeli ve böylece çözünmüş oksijen artırılmalıdır.

Yaşam Döngüsü Küresel Isınma Emisyonları

Küresel ısınmaya yol açan emisyonlar HES' lerin planlama ve hazırlık ile inşaat ve işletme evrelerinde üretilmektedir. HES' in inşaat ve işletme evrelerinde ortaya çıkan emisyonlar önemlidir. Bu emisyonlar, rezervuarın büyüklüğüne ve su altında kalan arazinin yapısına bağlı olarak değişmektedir.

Küçük nehir akışlı tesisler, kW-saat başına 0,01 ve 0,03 pound karbondioksit dengi bir emisyon yaymaktadır. Yarı kurak bölgelerde inşa edilmiş olan geniş ölçekli hidroelektrik santrallerinden gelen yaşam döngüsü emisyonları da orta düzeydedir: kW-saat başına yaklaşık 0,06 pound karbondioksit dengi bir kirlilik söz konusudur. Ancak, tropik alanlar veya ılıman turbalık alanlara kurulan hidroelektrik tesislerden gelen yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonları çok daha yüksek düzeydedir. Alan su ile dolduktan sonra, bu alandaki bitki örtüsü ve toprak ayrışmakta ve hem karbon dioksit hem de metal salımı ortaya çıkmaktadır. Emisyonların kesin miktarı büyük ölçüde sahaya özgü özelliklere dayanmaktadır. Ancak, mevcut tahminler, yaşam döngüsü emisyonlarının kW-saat başına 0,5 pounddan fazla olabileceği yönündedir (http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12619).

Bu çerçevede, doğalgaz ile üretilen elektrik için yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonları kilovat saat başına 0,6 ve 2 pound karbondioksit dengi, kömürden üretilen elektrik için kilovat saat başına 1,4 ve 3,6 pound karbondioksit dengi bir kirlilik olarak tahmin edilmektedir (http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12619' den).

Barajlarla HES'lerin çevresel etkileri aslında farklı boyutlardadır. HES' lerin çevresel etkileri sadece inşaat ve işletme aşamalarında ortaya çıkan çevresel etkiler anlaşılmaktadır. Oysa Atatürk Barajının günümüzdeki yapısına bakıldığında (Şekil, 21) büyük barajların planlama ve hazırlık, inşaat ve işletme evrelerinde de çok ciddi çevresel sorunlar yaratabileceği kolaylıkla söylenebilir.

Şekil 21. Atatürk Barajı' nın işletme evresinden genel bir görünüm.

BARAJ VE HES'LERE DAİR ÇED'İN İÇERİĞİ

Yukarıda sunulan bilgiler irdelendiğinde HES'lere dair ÇED çalışmalarının önemi kolaylıkla anlaşılır. Böyle bir durumda HES'lerle ilgili bir ÇED raporu hazırlanırken dikkat edilmesi gereken hususların da önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu çerçevede HES'lere dair hazırlanmış olan ÇED raporlarının içeriğine bakmakta yarar vardır. Aşağıda HES'lere dair ÇED raporlarının içeriği de gözetilerek bazı öz bilgiler sunulmuştur:

Projenin tanımı ve amacı

HES'lerle ilgili bir projenin tanımı, amacı ve gerekçesinin yanı sıra projenin ömrü, teknik özellikleri, hizmet alanları ve sosyoekonomik açıdan projenin önemi aydınlatılmalıdır.

Proje için seçilen yerin konumu

Proje yerinin konumu çevre düzeni planı, imar planları ya da mevcut arazi kullanımları gözetilerek CBS çerçevesinde topografik bir pafta üzerinde hazırlanmalıdır. Bu harita aynı zamanda bir bulduru haritası gereksinimini de karşılamalıdır. Konumun yukarıda belirtilen çerçevede bir ek olarak hazırlanması ve raporda ek olarak değinilmesi birçok yinelemeyi önler.

Projenin ekonomik ve sosyal boyutları

Projenin ekonomik ve sosyal boyutları çerçevesinde kamulaştırma ve yeniden yerleşimle birlikte yatırım programı ve finans kaynakları tanımlanmalıdır. Özellikle projenin fayda/maliyet (F/M) analizi projenin sürdürülebilirliği ile ilişkilendirilmelidir. Yani projenin faydası, tesisin kurulu gücü (yani elde edilen enerji) ISO standartlarına göre ve KDV' le birlikte ele alınmalıdır. Maliyet ise kamulaştırma ve çevrenin yeniden düzenlenmesi dâhil tüm harcamaları kapsamalıdır. Yapılan değerlendirmede proje nedeniyle çevresel etkiler açısından ortaya çıkan kayıpların karşılanıp karşılanamayacağı anlaşılmalıdır. F/M analizinde karlılık oranı (%) ortaya konulmalıdır.

Projeden etkilenecek alanın belirlenmesi ve alanın mevcut çevresel özellikleri

HES projelerinde iki temel unsur mutlaka gözetilmelidir. Bunlardan biri projenin su kaynakları yönü ile beslenme alanı, diğeri de tesisin kurulacağı yerin belirlenmesidir. Bu temel unsurlar HES' in geleceğini belirler. Projenin beslenme alanı, yüzey ve yeraltı suları açısından tanımlanmalıdır. Yüzey suları açısından havzanın su bölüm çizgisi (ya da belen çizgisi) esas alınır. Yer altı suları için ise bölgenin ana akiferinin konumu esas alınmalıdır. Bu konuda HES' i besleyen alan ile çevre havzaları içeren bir ek hazırlanmalıdır.

Tesisin kurulacağı alanın tanımlanması ise hem tesis için kullanılacak malzeme ocaklarına yakınlığı, hem de toz emisyonu ve gürültü modellemesi çerçevesinde etkilenecek alanın belirlenmesi açısından önemlidir.

Etki alanının mevcut çevresel özellikleri başlıca meteorolojik ve iklimsel, jeolojik, hidrolik ve hidrojeolojik, doğal riskler, toprak, doğal ve kültürel miras, ekosistem (flora ve fauna), doğal kaynaklar, mevcut kirlilik düzeyleri ile sosyoekonomik durum açılarından irdelenmelidir. Mevcut durum ne kadar sağlıklı belirlenirse projenin etkilerinin izlenmesi de o denli kolay olur. Burada sunulan

verilerin projenin etki alanı ve yakın dolayı için 1/25.000 ölçekli ayrıntıda hazırlanmasında yarar vardır. Söz konusu veriler, örtmeler yönteminin katkısı ile iki ya da en çok üç ayrı ek harita halinde gösterilebilir. Metin içinde de bu ekler değinme sırasına göre numaralandırılıp kullanılmalıdır.

Projenin etkileri ve alınacak önlemler

HES projelerinde evreler başlıca planlama ve hazırlık, inşaat, işletme ve işletme sonrası iyileştirme biçiminde sıralanabilir. Bu evrelerin her birinde tüm çevresel ortamlar etkilenebilir. Bu çevresel ortamlar da fiziksel çevre, su ortamı, hava (gürültü ve koku dahil), toprak ve ekosistem (flora ve fauna), mevcut arazi kullanım biçimleri, doğal ve kültürel ortam, sosyoekonomik ortam biçiminde sıralanabilir. Bu çevresel ortamlar HES'lerin her evresi için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Yapılacak değerlendirme, bir kolonda projenin evrelerini; diğer kolonda çevresel ortamları içeren ayrıntılı matrisler oluşturulup yapılmalıdır. Kapsamlı ve gereksinimi karşılayan bir matris ile gereksiz ve uzun açıklamalar da önlenmiş olur.

Fiziksel çevre (morfoloji) planlama ve hazırlık evresinden itibaren değişmeye başlar. Barajın ya da HES'in ömrünü uzatmak için her evrede yapılabilir işler vardır. Atıklar her evrede oluşur. İnsan sağlığı ve çevresel riskler her zaman beklenebilir. İşletme evresinde sucul ekosistem derinden etkilenir. Dolayısıyla beklenen ya da beklenmeyen doğal ve yapay (İnsan hatası) riskleri karşılamak için acil eylem planları hazırlanmalıdır.

İşletme sonrası etkiler ve alınacak önlemler

Öncelikle HES çalışmaları dolayısıyla malzeme ocaklarında yapılması gereken düzenlemeler acilen yapılmalıdır. Çünkü bu ocakların işlevi sona ermiştir. Daha sonra projeden etkilenen alanın ıslahı amacıyla bir durum değerlendirilmesi yapılmalıdır. Etkilenen alanın geleceği gözetilerek bir peyzaj ve onarım planı hazırlanıp uygulanmalıdır. Bu uygulamanın da çevresel etkileri olabileceği gerçeği göz ardı edilmemelidir.

Projenin alternatifleri

HES'lerin proje alternatifleri iki ayrı konuda değerlendirilmelidir. Konulardan biri tesisin yer seçimi ile ilgilidir. Yani tesis için seçilen yerin yer seçimi ölçütleri yönü ile en uygun yer olmalıdır. Uygunluk su kaynakları potansiyeli ve projenin çevresel etkileri açısından tercih nedeni olmalıdır. İkinci konu HES'in tasarımı açısından ele alınmalıdır. En uygun tasarım da ekonomik, güvenlik ve çevresel etkilerin önlenmesi yönü ile irdelenmelidir. Bu arada HES'lerin diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması ve avantajlarının ortaya koyulmasında yarar vardır.

İzleme programı

İzlemede öncelikle hedeflerin tanımlanması ve tüm evreler için çevre mevzuatı (ilgili yasa ve yönetmelikler) açısından öngörülen ölçütlere uygunluğun değerlendirilmesi ve doğal ya da yapay (beşeri) riskler açısından acil eylem planının oluşturulması gerekmektedir. Acil eylem planı bir yalın şemadan ibaret olmamalıdır. Görev ve sorumlulukların ayrıntılı bir biçimde tanımlanması ve ilgili personelin belirlenmesi gerekir.

Halkın katılımı

Halkın katılımı ÇED yönetmeliğinde öngörülen ölçütlere göre gerçekleştirilmelidir. Halkı tatmin etmeyen uygulamalardan kaçınılmalıdır. Özellikle kamulaştırma sırasında hak ihlallerine dikkat edilmelidir. Ayrıca projeden etkilenecek halkın ne ölçüde zarar gördüğü gerçek fiyatlara göre değerlendirilmelidir. Çünkü halk, benimsediği projelere sahip çıkar. Halka zarar veren projeler ise zamanla tasfiye olur.

SU KEMERLERİ

Böylesi bir bölümde, ek olarak özellikle su kemerlerine de yer vermekte yarar vardır. Tarihi geçmişte, içme suyu gereksiniminin karşılanması için gerekli yapılardan biri de su kemerleridir. Özellikle İstanbul'da kentleşmenin gelişimine koşut olarak inşa edilen su kemerleri önemli yapılardır. Bunlardan biri de Mimar Sinan'ın en önemli başyapıtlarından olan ***Mağlova su kemeridir*** (Şekil 22 A ve B).

A B

Şekil 22, Mağlova Su Kemerinden görüntüler (A, etkin dönem; B, kuraklık sonucu görünüm).

Mağlova Su Kemeri İstanbul Alibey Deresi üzerinde yer almaktadır. Kanuni Sultan Süleyman'ın emriyle İstanbul'un su gereksinimini gidermek için Mimar Sinan tarafından inşa edilen Mağlova Su Kemeri, günümüzde, sınırlı da olsa hala İstanbul'a su taşımaya devam etmektedir.

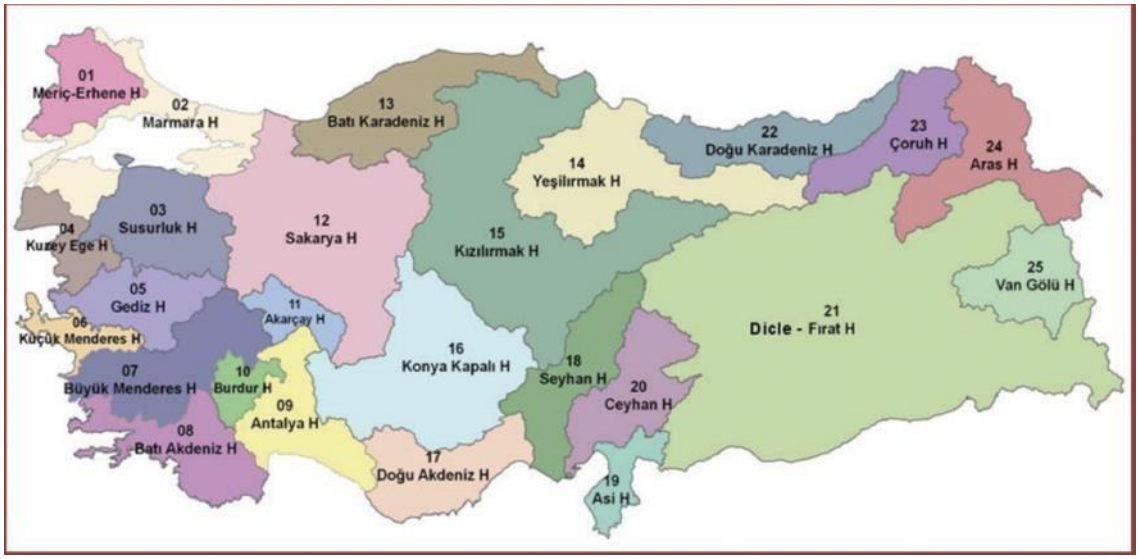
455 yıldır dimdik ayakta duran Mağlova Su Kemeri, dünyadaki tüm su kemerleri arasında mimarlık ve mühendislik açısından şaheser olarak gösterilmektedir. Uzmanlar tarafından mimari, mühendislik ve estetik açıdan bir dünya harikası, dünya su mimarisinin de başyapıtı olarak görmektedir (Şekil 22A; https://www.gezegenikesfet.com/2019/10/mimar-sinanin-bas-yapiti-maglova-kemeri.html).

Mağlova Kemeri, 35 metre yüksekliğinde ve 257 metre uzunluğundadır. Günümüze ulaşan yazılı belgelere göre 20 Eylül 1563'te İstanbul'da 24 saat süren şiddetli bir kasırga yaşandı. Gerçekleşen sel felaketi sonucunda tüm su kemerleri büyük hasar gördü. Bunun üzerine Mimar Sinan, Mağlova Kemerini ikinci kez inşa etti. Mimar Sinan, kemerin ayaklarını iki ayrı piramit şeklinde genişletti. Kemerde 33 farklı iç kemer yer almaktadır. İki katlı Mağlova kemerinin alt katında 8 büyük, üst katında 8 küçük gözü bulunmaktadır. Alt katında bulunan gözlerden 4 tanesi diğerlerine nazaran daha büyük yapılmıştır. Genişlikleri 18,4 metredir. Üst katındaki orta 4 gözün genişlikleri ise 13,4 metredir. Mimar Sinan'ın inşa ettiği camilerde bulunan ses akustiği burada da bulunmaktadır. Sel baskınlarından ve taşıması için gelen yüksek debilerden zarar görmemesi için 3 farklı sigorta sistemine sahip kemer, piramit şeklindeki ayak sistemi ile dünyada tek olma özelliğine sahiptir.

Ne var ki, yaşanmakta olan kuraklık nedeniyle, Mağlova kemerinin işlevi de etkilendi. Son yağışlara rağmen İstanbul'a su sağlayan barajlardaki doluluk oranı yüzde 26,82 ile son 10 yılın en düşük seviyesine indi. Alibeyköy Barajı'nda hayvanların otladığı görülürken, Mağlova kemerinin tüm ayakları ortaya çıktı (Şekil 22B; https://www.tarihistan.org/maglova-kemeri-nin-tum-ayaklari-ortaya-cikti/20682/).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hidrolik enerji günümüzde Türkiye'nin en önemli enerji kaynaklarından biridir. Özellikle elektrik üretiminde hidroliğin katkısı çok önemli olduğu kabul edilmelidir. TEİAŞ'ın üretim verilerine göre; 2020 yılında 22.925 MW'ı barajlı, 8.059 MW'ı akarsulu santraller olmak üzere toplam 30.984 MW hidrolik kapasite oluşmuştur. 95.890 MW olan toplam kurulu gücün yüzde 32,31'ini hidrolik kaynaklarla üretilen elektrik santralleri oluşturmuştur. 2021 yılında ise 31.492 MW hidrolik kapasite oluşmuştur. Toplam kurulu güç olan 99.819 MW'ın yüzde 31,55'ini hidrolik kaynaklarla üretilen elektrik santralleri oluşturmuştur. Hidrolojik çalışmalar için Türkiye geneli 25 ana akarsu havzasına ayrılmıştır (Şekil 23). Havzaların ortalama yıllık toplam akışları 186 milyar m^3'dür. Yüksek sayıda nehirleri ve yüksek debileri olan belli başlı havzalar şunlardır (Sav, 2022).



Şekil 23. Türkiye'nin akarsu havzaları (Sav, 2022'den).

Ülkemizde yapılan en büyük baraj Çoruh havzası üzerinde yapılan Yusufeli Barajı'dır (Şekil 24). Yusufeli Barajı, Artvin ilinin yaklaşık 40 km güneybatısında ve Çoruh Nehri üzerindeki Yusufeli ilçesinin 10 km akış aşağısında yer almaktadır. Barajın yapımına 26 Şubat 2013 tarihinde başlanmış ve 22 Kasım 2022'de hizmete girmiştir.

Şekil 24. Yusufeli Barajının genel görünümü
https://www.milliyet.com.tr/galeri/duzcede-hamile-ve-engelli-kamu-calisanlari-izinli-mi-tatil-mi-valilikten-aciklama-6861501/1 (Son Güncelleme: 23 Kasım 2022- 01:02).

Barajın bazı temel özellikleri aşağıda sunulmuştur (https://www.suyapi.com.tr/tr/38044/Yusufeli-Baraji-ve-HES#:~:text; erişim 22 Kasım 2022):

Tipi : Çift Eğrilikli Beton Kemer
Kret Kotu : 715 m
Kret Uzunluğu : 490 m
Talvegden Yüksekliği : 220 m
Temelden Yüksekliği : 275 m

Gövde Hacmi : 4.000.000 m3
Ünite Sayısı : 3 adet
Türbin Tipi : Düşey Eksenli Francis
Ünite Gücü : 186 MW
Toplam Kurulu Güç : 558 MW
Yıllık Enerji Üretimi : 1 888 GWh/yıl

Proje kapsamında 4.000.000 m^3 gövde kütle betonu ve 1.370.000 m^3 konvansiyonel beton olmak üzere toplam 5.370.000 m^3 beton dökülmüş olup, baraj ve tesislerine ait uygulama ve detay proje hazırlanması (kalıp, ard soğutma sistemi, enjeksiyon ve ölçüm cihazları) hizmetleri verilmiştir… Baraj gövdesi üzerinde yer alan 2,940 m^3/s deşarj kapasiteli 3 gözlü dolusavaktan bırakılan sular, 130 m uzunluk ve 35 m taban genişliğinde olacak şekilde projelendirilen ve tabanda 3.0 m kaplama kalınlığına sahip, taban ve yan duvarları donatılı olarak imal edilen enerji kırıcı havuzda (EKH) toplanmaktadır.

İşte böylesine büyük barajların çevresel etkileri de büyük olur. Oysa, büyük barajlar yerine daha küçük ve ardışık barajların yapılması çevresel etkilerin denetimi açısından kolaylıklar sağlayabilir.

Sonuç olarak, yukarıda baraj ve HES'lere dair tanım ve genel yapı, barajlarla ilgili jeolojik yapının genel çerçevesi, HES'lerde önemli yapılardan balık geçitleri, oluşan çevresel etkiler sunulmuştur. Bu çerçevede Baraj ve HES'lerle ilgili ÇED'in aşamaları irdelenmiştir. Bu bilgilere göre aşağıdaki değerlendirme ve önerilerin yapılmasında yarar görülmüştür:

Ülkemizde 2023 yılına kadar uzunluğu 10.000 km'yi bulan nehirlerde ve çaylarda 4000 baraj inşası planlanmıştır (Şengül, 2013). Barajların inşa etmeden önce bunların olası kümülâtif etkilerinin değerlendirilmesi zorunludur. Erzincan-Kemaliye'ye bağlı Avcı, Buğdaypınarı ve Şahinler köyleri sınırları içerisinde yer alan Gökçeköy Regülatörü, HES ve Beton Santrali'nin çevresel etkilerini bilirkişi heyeti olarak değerlendirirken yapılan gözlemlerde yıllar önce inşa edilen Keban barajının suyunun büyük ölçüde çekildiği saha verileriyle ortaya koyulmuştur (Şekil, 25).

Şekil 25. Keban Barajı Havzası'nda Kemaliye ile Başpınar köyleri arasındaki bölgede su düzeyindeki alçalma ve erozyon nedeniyle taşınan malzemelerden bir görüntü (Foto, bölgede Fırat nehri su düzeyinin en yüksek olması gereken bir dönemde, 29 Mayıs 2014 tarihinde çekilmiştir).

Şekil 25' teki görüntü, genel havza özelinde kümülâtif etkiler kapsamlı olarak gözetilmeden yapılan uygulamaların bir yansımasıdır. Yukarı Fırat havzasında planlanan diğer HES projeleri de uygulamaya koyulursa, Keban Barajı, yakın bir zamanda ömrünü tamamlayacaktır. Olumlu bir şeyler yaparken, daha önemli yapılara zarar vermekten kaçınmak gerekir.

Saraçoğlu ve Keçeci (2013)'den yararlanarak geliştirilen diğer öneriler aşağıda sunulmuştur:

· HES projelerinin yer seçimi ve tasarımı eksiksiz yapılmalıdır.
· HES projelerinin planlama ve hazırlık ile inşaat evrelerinde kaçınılmaz olarak ağaçların bir bölümü kesilir. Ancak kesilen ağaçların yerine çok daha fazlası yeniden dikilebilir.
· HES projelerinin yapımı sırasında kazı ve dolgular nedeniyle doğal morfolojinin bozulması görüntü kirliliğine yol açmaktadır. Ancak, yapı kullanıma açıldıktan sonra peyzaj onarım planları yapılabilir.
· HES projeleri nedeniyle bölgenin su rejimi mutlaka değişir. Bu değişim halkın yaşamını ve planladığı çalışmaları olumsuz etkileyebilir. Böyle bir durumda ortaya çıkması olası zararların telafi edilmesi yoluna gidilmelidir.
· HES projelerinde rezervuarlar atmosfere açık hale gelir. Bu nedenle ya da insani faaliyetlerin etkileri su kirliliğine neden olabilir. Bu gibi durumları gözeterek rezervuarların etrafında koruma bantları oluşturulmalıdır.
· Mansap Su Hakları konusunda, yatırımcı ile DSİ Genel Müdürlüğü arasında imzalanan Su Kullanım Hakkı Anlaşması ile güvence altına alınır. Bu anlaşma ile 3. tarafların da hakları korunmaktadır. Can suyu; Ekosistem Değerlendirme Raporları ile üniversitelerin deneyimli öğretim üyeleri tarafından belirlenmektedir. Belirlenen bu değerler AGİ'lerle kontrol edilmektedir.
· HES projelerinde doğal yaşamın devamlılığı için önlemler alınmalıdır. Örneğin, balık geçişleri için asansör ve geçitler, yaban hayatın devamlılığı için geçiş yolları yapılmaktadır.
· Göl alanının altında kalan köy yolları için yeni yollar yapılmalıdır. Gölalanı altında kalan yerleşim yerleri için kamulaştırma kanununa göre yeni yerleşim yeri gösterilmeli ya da arazinin değeri ödenmelidir.
· İletim hatlarının projelendirilmesi ve mülkiyeti TEİAŞ'a ait olduğundan TEİAŞ tarafından belirlenen güzergâha göre iletim hatları planlanmalı ve bunun yeni bir faaliyet olduğu gözetilerek ÇED kapsamında değerlendirilmelidir.
· HES projelerinde doğal ya da beşerî kökenli risk değerlendirilmeleri mutlaka yapılmalıdır. Büyük nehirler eski uygarlıkların sel ve taşkınlar nedeniyle yok olduğu yerlerdir. Bu nedenle, çalışmalarda potansiyel kültürel bir mirasla karşılaşıldığında ilgililerle mutlaka bilgi verilmeli ve bu konuda gerekli duyarlılık esirgenmemelidir.

Akarsular, aynı zamanda değerlendirilmesi gereken en önemli doğal kaynaklardır. Doğal kaynaklarını değerlendirmeyen ülkelerin kalkınma şansı yoktur. Ancak, kaynaklar değerlendirilirken çevrenin de koruması göz ardı edilmemelidir. Çünkü gidebileceğimiz ve yaşayabileceğimiz başka bir çevre de ülke de yoktur.

KAYNAKLAR

Apaydın, A., Aktaş, S. D. ve Kaya, S., 2008, Orta Anadolu Bölgesi' inde kuraklıkla mücadele de alternatif öneri: Yeraltı Barajları: Kuraklık ve su yönetimi toplantısı bildiri kitabı, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, Ankara, s.184-198.

Aral, F., 1992, Mühendislik Jeolojisi Ders Notları; C.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, 72 s.

Aydın, Ü. Y., 2000, GAP' ın Çevre Üzerine Etkileri: CÜ Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Sivas, 65s.

Bekişoğlu, Ş., 2013, Balık Geçitleri. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 311- 320.

Canter, L.W., 1977, Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.

ÇED Yönetmeliği, 2014, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği, 25.11.2014 tarihli ve 29186 Sayılı Resmî Gazete, ayrıca, 2016, 2017 ve 2019 tarihlerinde kısmen güncellenmiş hali.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

Dokay, 2013, Kemah Barajı ve HES I ve II Projesi Nihai ÇED Raporu. Dokay ÇED Çevre Mühendisliği LTD. Şti., Ankara, 254s. (www.dokay.info.tr).

Erguvanlı, K., 1995, Mühendislik Jeolojisi; Dördüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, Cemal Nadir Sok. Akşam İş hanı, 13/1, 34410, Cağaloğlu, İstanbul, 590 s.

Gümgüm, B., 1999, GAP Yöresindeki Çevre Sorunları ve ÇED: GAP Yöresinde ÇED Eğitimi, Türkiye Çevre Vakfı Yayını No:140, Ankara, s:69-76 İnternet

http://www.bilgiustam.com
http://www.cografta.com
http://www.hurriyet.com.tr
http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/2012-yagisdegerlendirmesi).
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12619
http://www.nrel.gov.tr
http://www.wikipedia.org
https://odatv4.com/binlercesi-oldu-geriye-kalani-can-cekisiyor-23082011.html (23.08.2020 12:11).
https://www.gezegenikesfet.com/2019/10/mimar-sinanin-bas-yapiti-maglova-kemeri.html (27.05.2022 10.45).
https://www.milliyet.com.tr/galeri/duzcede-hamile-ve-engelli-kamu-calisanlari-izinli-mi-tatil-mi-valilikten-aciklama-6861501/1 (Son Güncelleme: 23 Kasım 2022- 01:02).
https://www.suyapi.com.tr/tr/38044/Yusufeli-Baraji-ve-HES#:~:text (Erişim 22 Kasım 2022):
https://www.tarihistan.org/maglova-kemeri-nin-tum-ayaklari-ortaya-cikti/20682/ (27.05.10.50).
https://www.youtube.com
https://yandex.com.tr

IPCC, 2011, IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. vonStechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp. (Chapter 5 & 9).

Kellermeyer, D. A., 1980, Climate and energy: a comparative assessment of the Satellite Power System (SPS) and alternative energy technologies. http://adsabs.harvard.edu/abs/1980STIN.8030914K; 1980 [accessed March 2009].

Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957, Principles of Engineering Geology and Geotechnics; Mc.Graw-Hill Comp. Inc., NewYork, USA, 730 s.

MTA, 1994, Mineraller, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara.

NREL, 2012, National Renewable Energy Laboratory (NREL). http://www.nrel.gov.tr/ 'den.

Özaydın, K., 2000, Zemin Mekaniği; Birsen Yayınevi, İstanbul, 261 s.

Özsayın, S., 2013, Enerji alternatiflerinin çevre ile etkileşimi. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 287- 299.

Saraçoğlu, E. ve Keçeci, A., 2013, HES' lerin Türkiye'deki Gelişimi ve ÇED Sürecindeki Yeri. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 351- 357.

Sav, M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcut-potansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022

Schwarz, N., Bauer, A. ve Haase, D., 2011, Assessing climate impacts of planning policies- An estimation for the urban region of Leipzig (Germany). Environmental Impact Assessment Review 31, 97–111.

Smith, J.B. ve Tirpak, D.A., 1989, Potential effects of global climate change on the United States. Report to congress, Technical report EPA-230-050-89-050. Washington DC (USA). Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (eds). http://www.epa.gov/climatechange/effects/downloads /potential_effects.pdf.

Storch, V.H., Zorita, E. ve Cubasch, U., 1992, Downscaling of global climate change to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime. Journal of Climate, American Meteorological Society; 6, 1161-1171.

Şengül, H., 2013, Ardışık Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerin Uzun Dönemli, Kümülatif Etkilerinin Aktör Temelli Modelleme ile Araştırılması- Solaklı Havzası Durum Çalışması Arkaplanı. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 501-512.

TÇV (Türkiye Çevre Vakfı), 1997, GAP'ın Ekolojiye ve Tarıma Etkileri, TÇV Yayın No: 125, Ankara, s:16-23.

Wikipedia, 2010, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Global_Temperature _Anomaly_(Fig.A).gif

Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

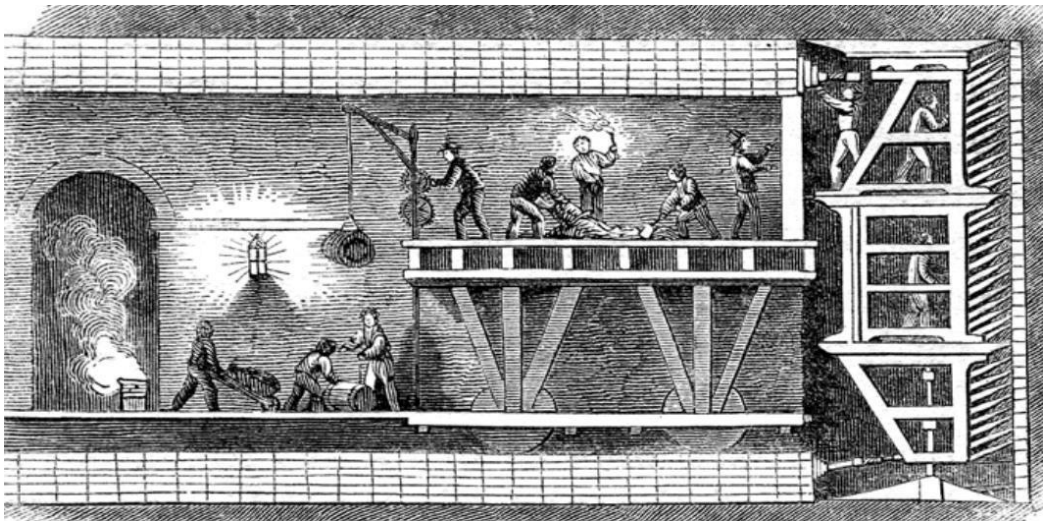
Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.
Yılmaz, A., 2009a, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.
Yılmaz, A., 2009b, Çevre Kaynakları, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.117, Sivas, 348 s.
Yılmaz, A. ve Atmaca, E., 2004, Sivas kenti katı atık deponi alanının çevre jeolojisi: CÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre 2004, 1. Ulusal Çevre Kongresi, Bildirileri, Sivas, 83-99.
Yılmaz, I., 2000, Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.
Yüksel, Ü. D. ve Baştanlar, D., 2013, Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinde Peyzaj Onarım Planları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 555- 567.

Bölüm 20-4. TÜNEL İNCELEMELERİ

GENEL BİLGİLER

Çeşitli kayaların içerisinde yapılan iki tarafı açık yeraltı kazılarına ***Tünel*** adı verilir. Yani, bir ulaşım yolunun bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin teknik açıdan mümkün olmadığı ya da bunun ekonomik açıdan uygun bulunmadığı durumlarda bu yolların bir kısmının yer altından geçirilmesine olanak tanıyan yer altı yapılarına tünel adı verildiği söylenebilir. Bir tarafı açık yeraltı kazıları ise ***Galeri*** adını alır.

Tünellerle ile ilgili çalışmaların tarihi çok eski sayılmaz. Örneğin, Thames Tüneli, bilinen en eski ve kapsamlı bir mühendislik projesidir. Şekil 1'de 1825 yılında tamamlanan Thames Tüneli'nin yapay kesiti ve tünelin yapımında kullanılan zırh (Yazgaç, 2016' dan) görülmektedir.



Şekil 1. Thames Tüneli'nde kullanılan tünel zırhı (Yazgaç, 2016' dan).

Tüneller ve galeriler ulaşım, savunma, sığınma ve depolama gibi birçok amaçla inşa edilmektedir. Tünellerin başlıca amaçları:

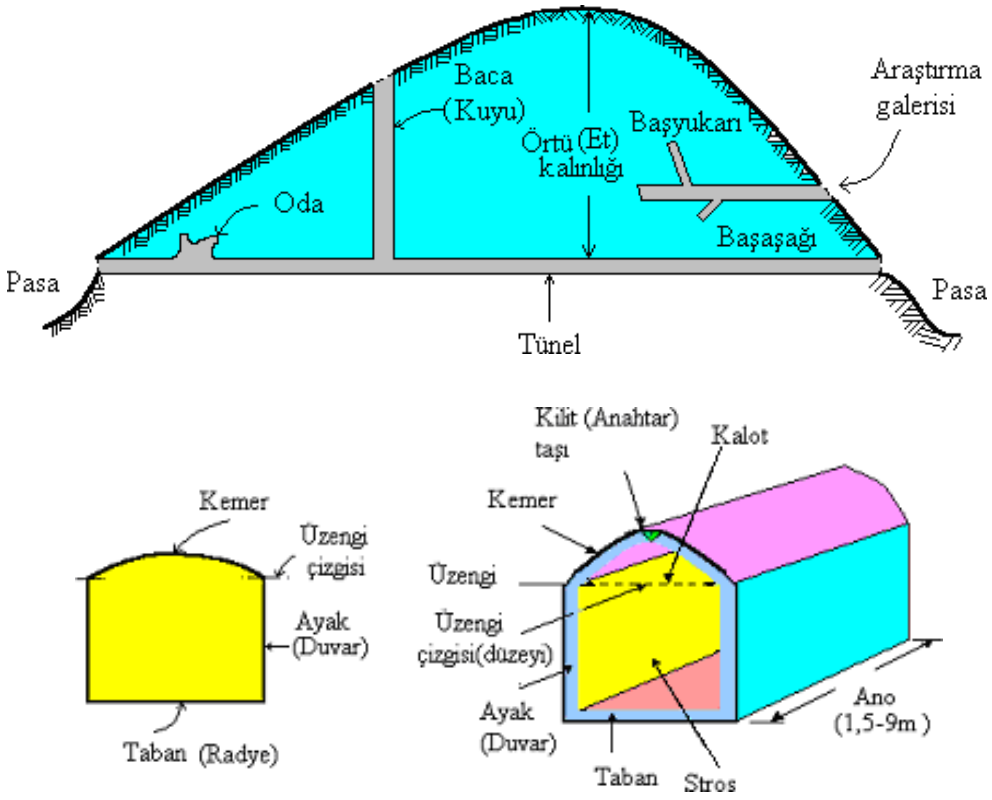
- Demiryolları ya da karayollarını kısaltmak,
- Su götürmek, kirlenmiş suyu aktarmak ya da baraj sularını çevirmek (amacıyla açılan derivasyon tünelleri),
- Şehir trafiğini hafifletmek (amacıyla yapılan metrolar),
- Maden çıkarmak,
- Çeşitli amaçlarla santral, yeraltı depolama ya da savunma sistemlerini kurmak

Çeşitli çıkar çatışmalarının yaşandığı günümüzde askeri üslerin korunması ve böylece ülkenin savunulması için tünel ve galeri türü yapılara gereksinim artmaktadır.

TÜNELCİLİKTE KULLANILAN BAZI TERİMLER

Şekil 2'de bir tünelin çeşitli kesitleri ve bölümleri görülmektedir. Yeraltında yatay ya da eğik olarak açılan, giriş ve çıkışı olan kazılara ***tünel*** denir. Bir tarafı açık olanlar galeri, dik olarak yapılan kazılar kuyu, baca, şaft olarak adlandırılmaktadır. Aşağıya eğimli olanlara baş aşağı; yukarı doğru olanlara baş yukarı, geniş daire ya da buna yakın şekillerde olanlara oda (bekletme ya da dinlenme odası), tünelin üzerinde bulunan zemine örtü ya da et ve bunun kalınlığına da örtü Kalınlığı ya da et Kalınlığı denir.

Tünelin ilerlediği boşluğun alt kısmına taban ya da radye; yan kısımlarına yan, ayak ya da duvar; üst kısmına tavan ya da kemer denir. Kemerin ayaklar ile birleştiği noktaya üzengi ve üzenge çizgisi, üzenginin üzerinde kalan kısma kalot; üzengi düzeyinin altında kalan kısmına stross (orta kısım) adı verilir. Tünelin kazısından çıkan malzemeye pasa denir. Herhangi bir yöntemin uygulanmasında işlemlerin yapıldığı kısma ano (Şekil 2) denir. Ano, zeminin cinsine göre ve uygulanan yönteme göre 1,5 m ile 9 m arasında değişir.



Şekil 2. Tünellerle ilgili kesitler ve tünellerin çeşitli bölümleri.

TÜNELLERİN SINIFLANDIRILMASI

Tüneller, biçimlerine, işlevlerine ve yapıldığı yerin zemin özelliklerine göre sınıflandırılırlar.

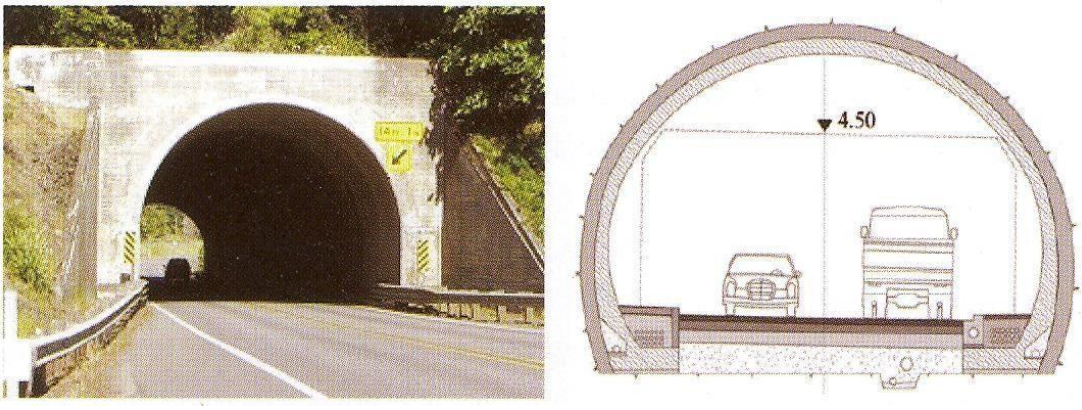
Biçimlerine göre tünel türleri

Tünellere ilişkin enine kesit biçimi, bunların üzerinde bulundukları ulaşım yolunun türüne ve bu zeminden gelecek etkilere göre değişmektedir. Enine kesit ***dairesel kemer*** ve iki düşey yan duvardan oluşabilir, ya da ***tam dairesel***, ***nal*** ve ***yumurta*** biçiminde enine kesitler tasarlanabilir. Yumuşak zeminlerde açılan tünellerin yatay basınçları karşılayacak biçimde, yani tam daire ya da nal şeklinde olması tercih edilmektedir. Dairesel enine kesite sahip tüneller, kuramsal olarak iç ve dış kuvvetleri en iyi karşılayan tünellerdir. Yumurta biçiminde enine kesite sahip tüneller, suyolu ve bileşik kanalizasyon için uygun, ancak tabanları dar olduğundan karayolu ve demiryolu için uygun değildir.

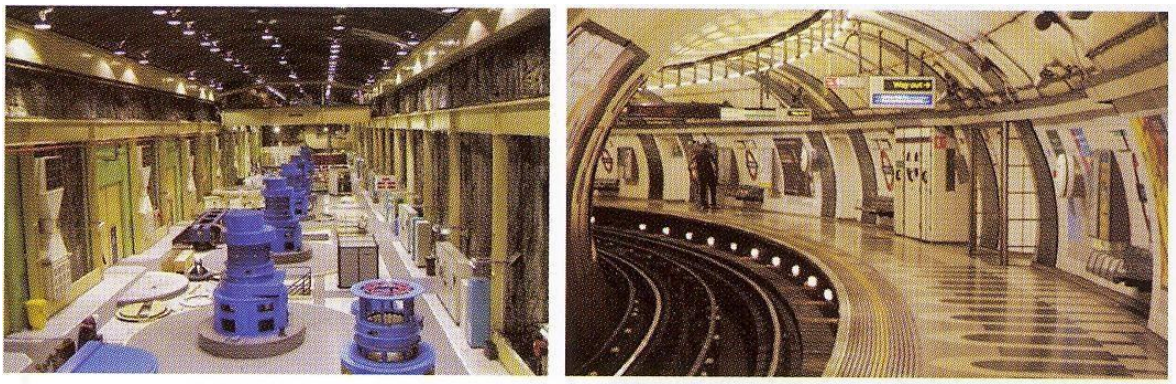
İşlevlerine göre tünel türleri

İşlevlerine göre tüneller barınak ve tapınak, karayolu, demiryolu, metro ve suyolu gibi ulaşım, su iletim, kanalizasyon, stokaj, korunma ve savunma amaçlı tüneller yada özel amaçlı tüneller biçiminde ayrılabilir. Örneğin, ***Stokaj tünelleri***, atıklar ve radyoaktif maddeler gibi çeşitli malzemelerin stok edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yeraltı fabrikaları, istasyonlar ve santraller gibi yapılar yeraltında inşa edilmişse, bunlar ***özel tüneller*** olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3'de bir

karayoluna ilişkin tünel ve enine kesiti; Şekil 4'de ise bir yeraltı hidroelektrik santrali ve metro istasyonuna ait görüntüler sunulmuştur.



Şekil 3. Karayolu tünellerine ilişkin bir örnek ve enine kesiti (Kolymbas, 2005).



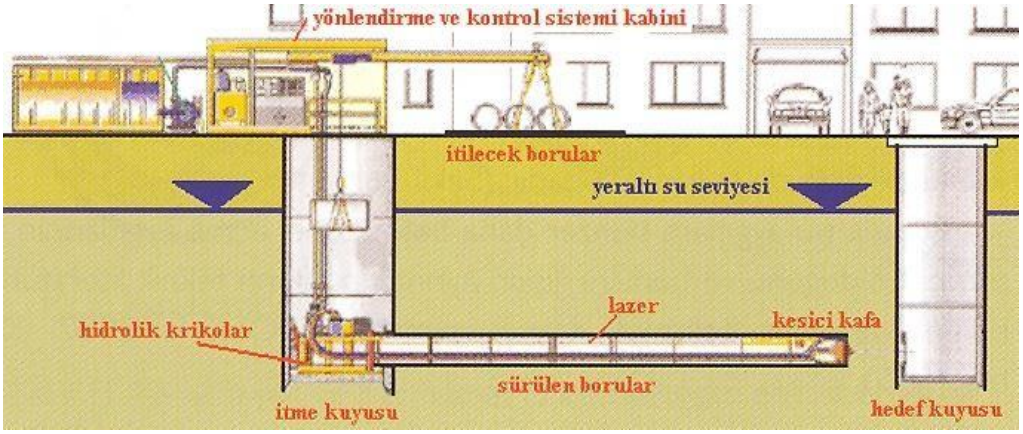
Şekil 4. Bir yer altı hidroelektrik santrali ve metro istasyonuna ait görüntüler (URL, 2008).

Zeminin özelliklerine göre açılan tünel türleri

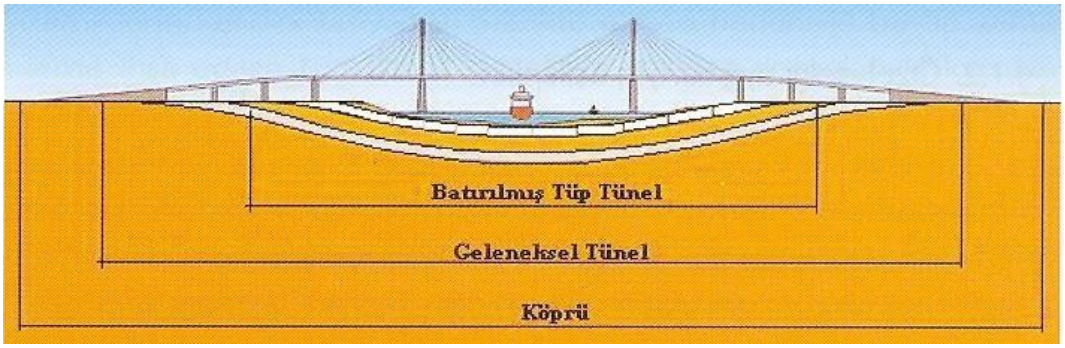
Zeminlerin kaya, yumuşak, ya da sualtında olmasına göre çeşitli yapım teknikleri geliştirilmiştir. Örneğin kaya zeminlerde inşa edilen tünellerde genellikle ***delme-patlatma yöntemi*** ya da değişik türdeki ***özel delgi aygıtları*** kullanılmaktadır. Kaya zeminlerin kendini taşıyabilir nitelikte olmaları nedeniyle bu tünellerde duraylılık (stabilite) sorunlarıyla karşılaşılmamaktadır.

Yumuşak zeminlerde inşa edilecek olan tünellerde ise duraylılık koşullarının kaya zeminlere göre zayıf olduğu açıktır. Bu nedenle yumuşak zeminlerde kazı çalışmaları daha dikkatli bir biçimde sürdürülmelidir. Dolayısıyla bu tünellerin inşasında kalkan, boru sürme, şemsiyeleme (boru kemer yöntemiyle) ve aç-kapa gibi yöntemlerden yararlanılmaktadır. Şekil 5'de boru sürme yöntemiyle açılan bir tünel örneği görülmektedir.

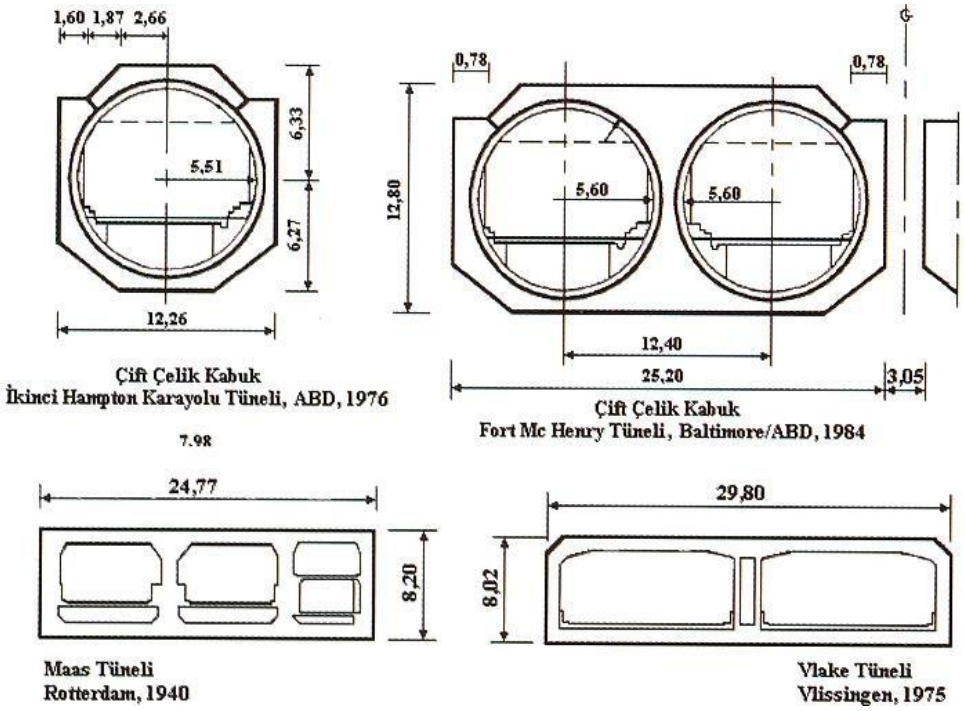
Sualtı tünelleri ise şantiyede üretilen tünel elemanlarının suya batırılıp tabana oturtulduktan sonra üzerleri örtülmek suretiyle ya da suda tabana oturtulmadan yüzer şekilde inşa edilmektedir. Tüp tünel ya da batırılmış tünel adıyla anılan bu tüneller, bir suyolu engelini aşmak için köprü ve derinden geçen geleneksel tünellere bir seçenek olmakla birlikte, alttan geçmede en kısa yol, dolayısıyla ekonomik olarak görülmektedir. Şekil 6'da bir suyolunu geçmek için çeşitli seçenekler, Şekil 7'de ise batırılmış çelik ve betonarme tünel kesitlerine ilişkin örnekler görülmektedir.



Şekil 5. Boru sürme yöntemiyle açılan bir tünel örneği (Yavuz ve Ersoy, 2005).



Şekil 6. Bir suyolunu geçmek için çeşitli seçenekler (Öztürk ve Durmuş, 2008).



Şekil 7. Batırılmış çelik ve betonarme tünel kesitlerine ilişkin örnekler (Saveur ve Grantz, 1997).

TÜNEL JEOLOJİSİ ÇALIŞMALARI

Tünel açma çalışmalarında maliyete etki yapan öğelerin başında jeolojik çalışmalar gelir. Başlangıçta, jeolojik çalışmalar iyi ve doğru yapılmış ise maliyet hesabı gerçeğe yakın yapılabilir. Koşullar, uygun değilse güzergâhtan vazgeçilebilir. Ön araştırmalara ödenen para hiçbir zaman boşa gitmez. Tünel açılması başladıktan sonra güzergâh ve proje değişimleri, işin uzaması ve maliyetin artması, ilk jeolojik incelemelerin yeterince yapılmamış olmasının sonucudur. Tünel açılmasında;

1. Ön jeolojik çalışmalar
2. Ayrıntılı jeolojik çalışmalar
3. Tünel açılması sırasındaki konuya özel jeolojik çalışmalar yapılır.

Ön jeolojik çalışmalar

Ön jeolojik çalışmalara, topografik haritalardan daha önce yörede yapılmış jeolojik çalışmaların incelenmesi ile başlanır. Ayrıca hava fotoğraflarından yararlanılır. Yaklaşık olarak tünel güzergâhı belirlenir. Tünelin giriş ve çıkışındaki yükler, olası kaymalar, örtü kalınlığı, hidrojeolojik koşullar, sıcaklık ve gazdan ileri gelen sorunlar ele alınır. Başlangıçta 1/25.000 ölçekli, çalışmalar ilerledikçe 1/10.000 ve 1/5.000 ölçekli jeoloji haritaları yapılır. Arazide yapılan yüzey jeolojisi çalışmalarında aşağıda belirtilen konular araştırılır:

- Kayatürü ve istif özellikleri, kayaların ayrışma durumu,
- Jeolojik yapı, süreksizlikler, yapının dikey ve yatay basınçlara etkisi, Deprem durumu,
- Güzergâhtaki kayaların mühendislik (fiziksel, mekanik, statik) özellikleri, dolayısıyla delinebilme yetenekleri
- Örtü kalınlığı ve tünele etkisi,
- Hidrojeolojik durum; yeraltı ve yerüstü su durumu, suların kimyasal bileşimleri, akiferler, kaynaklar, debileri ve akaçlama (drenaj) biçimleri,
- Gaz ve sıcaklık durumu,

Topografyayı oluşturan vadilerin, kırık ve faya karşılık gelme olasılıkları vardır. Böyle vadilerin altında ayrışmış ve sulu olan bölgeler bulunabilir. Jeolojik çalışmalar ile birlikte, jeofizik çalışmalar ve sondaj çalışmaları da yapılır. Sondajlarda kuyu araları 500- 1000 metredir. Kuyu derinliği tünelin 20-50 metre altına inecek düzeyde olmalıdır. Böylece, yüzeyde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilerin yeraltındaki yapılarda geçerli olup olmadığı denetlenir.

Ayrıntılı jeolojik çalışmalar

Ayrıntılı çalışmalar sırasında tünel güzergâhının 1/500 ve 1/1000 ölçekli jeolojik haritaları yapılır. Tünel içerisinde yer alan birimlerin kayatürü ve yapısal özellikleri, mekanik özellikleri, derinlikleri, ayrışma ve kazılabilme özellikleri saptanır. Örneğin, kayanın boşlukları su ile dolu ve ayrışma çok ileri düzeyde ise kolay kazılır. Buna karşılık bazı duraylılık (stabilite) sorunları ortaya çıkabilir.

Çevrede sıcak su kaynakları varsa, tünel içerisinde de sıcak suya rastlanabilir. Tuz, jips, kireçtaşı, serpantin, kil gibi kayaların tünel boyunca bulunup bulunmayacağı saptanmalıdır. Kireçtaşında karstik durum, diğer kayatürlerinde şişme, kabarma, göçme sorunları olabilir. Tünel kazı malzemesinin kullanılıp kullanılmayacağı, yüzey ve yeraltı sularının tünel ve kaplamaya etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Tünellerde su sızma durumunun incelenmesi önemlidir.

Ayrıntılı jeolojik çalışmalarda açılan kuyulardan su ve kaya örnekleri alınır. Gerekli deneyler yapılır. Yerinde ya da laboratuarda örnekler incelenir**.** Araştırma galerileri açılır. Tünel şekli ve maliyeti saptanır. Şartlar uygun değilse başka güzergâhlar da araştırılır. Bazen biraz daha uzun güzergâh tercih edilebilir.

Tünel açılması sırasındaki konuya özel jeolojik çalışmalar

Tünel açılırken ya da açıldıktan sonra 1/50 ya da 1/100 ölçekli tünel kesitleri çıkarılır. Kesit çıkarmadan önce tünel içerisinin basınçlı su ile yıkanması ve yağlı boya ile numaralanması gerekir. Kesit çıkarılırken aydınlatma yeterli olmalıdır. Kesitlerde kayatürü özellikleri ve bunların yanal ve dikey değişimleri, katmanlanma, eklem, kırık fay, fay kili, sürtünme yüzü ve fay breşi, çatlak dolguları, ayrışma zonları, erime boşlukları, boyutları ve özellikleri, varsa dolguları, su sızıntıları, damlamalar, pınarların yeri ve debileri, akma ve göçmeler gösterilir. Tünel kesitleri ile jeolojik haritalardan elde edilen tüm bilgiler netleştirilir.

Tünel kesiti çıkarılması, tünel açılırken ya da açıldıktan sonra yapılabilir. Tünel içerisindeki kayaların ayrışma derecesi, basınç dirençleri, elastisite modülleri, suya karşı duyarlılıkları göz önünde tutularak kayaların sınıflaması yapılır. Bu çalışmalar sonucunda beton kaplama, kaya bulonu, püskürtme betonu, tel kafes, çelik kaplama gibi önlemlerin hangisinin ya da hangilerinin gerekli olduğuna karar verilir. Tünel bitiminden sonra da zaman zaman gözlemler yapılmalı, kritik yerlerde olabilecek deformasyonlar gözden kaçırılmamalı, gerekli önlemler geç kalınmadan alınmalıdır.

Tünel ve kazılarda araştırılması gereken diğer özellikler

Tünel güzergahı boyunca izlenen kaya birimlerinin jeoteknik ve yapısal özellikleri irdelenmelidir. Örneğin, birimlerin kazılabilme derecesi, yeraltı suyunun durumu, zeminin şişebilme potansiyeli, ortaya çıkan malzemenin kabarma oranı, tünel açma sırasında desteğin gerekip gerekmediği ve gerekiyorsa destek türü, kırık ve eklemlerin boyutları ve sıklığı tüm tünel kazılarında gözetilmelidir.

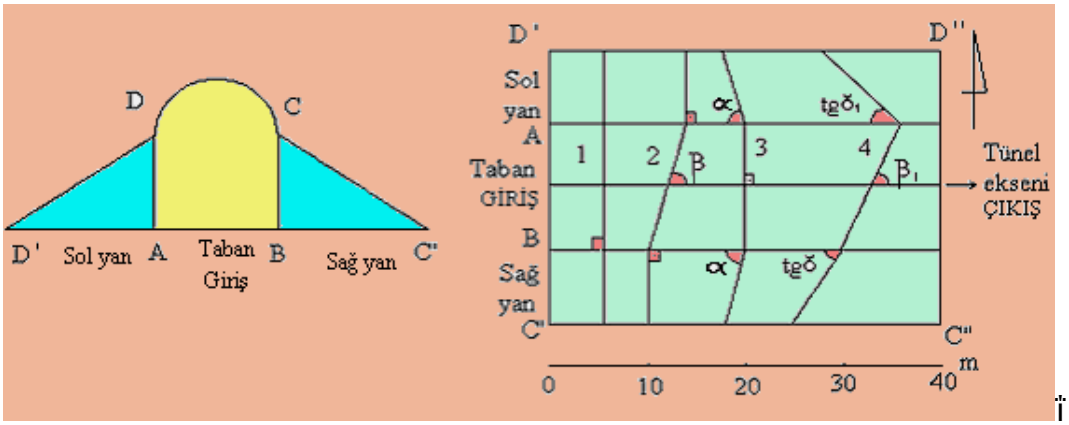
Tünel jeolojik kesitinin çıkarılması

Tünel boyunun kesitleri ayrıntılı olarak tıpkı bir jeoloji kesiti gibi çıkarılır. Öncelikle enine kesitlerin tünel girişine göre konumları ve yerleri belirlenir (Şekil, 8). Kesitlere dair ayrıntılar kayıt altına alındıktan sonra, önerilen sondajların yapılması ile kesitteki eksiklikler giderilir.

1. Düzlem: Düz bir hat boyunca inen çizgi. Tünel eksenine dik doğrultuda, dikey düzlemi göstermektedir.
2. Düzlem: Tünel ekseni ile β açısı yapan dikey bir düzlemdir.
3. Düzlem: Tünel eksenine dik doğrultuda, α açısı yapan düzlem, tünel çıkışına doğru eğimlidir.
4. Düzlem: Tünel ekseni ile β_1 açısı yapan, δ eğimli düzlemdir. Ancak δ burada doğrudan görülmez, ancak δ'in zahiri eğimi (δ_1) görülür.

Gerçek eğim, tg δ = tg δ_1 . sin β_1 yoluyla hesap edilir.

Kesit düzlemin konumu, grafik çizimle ya da trigonometrik veriler kullanılarak ortaya konulur.



Şekil 8. Tünel boyunca enine kesitlerin tasarımı (Aral,1992'den kısmen değiştirilerek).

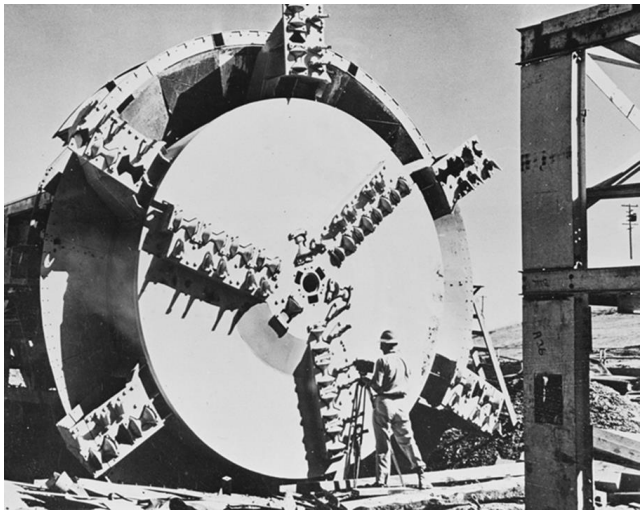
TÜNEL AÇMA YÖNTEMLERİ VE TEKNOLOJİ

Tünel açma yöntemleri, kayatürüne, zeminin yumuşak ya da sert olmasına, hidrojeolojik duruma, tünel çapına ve şekline göre seçilir. Tünel Delme Makinaları ile ilgili bazı ayrıntılar Yazgaç (2016) tarafından sunulmuştur:

Tünel Delme Makinası (TDM), tam ayna boyutunda dönel kesici kafa ile dairesel kesitte tünel açan bir makine olup, kesici kafa gerisinde çelik silindirik zırh (shield), motor ünitesi, hidrolik baskı ve tork üniteleri, konveyor bant, delgi makinası, segman yerleştirme ünitesi, kontrol kabini, enjeksiyon ünitesi gibi destek sistemlerinden oluşur. Bu makinaların hız ve zaman açısından verimililiği, güvenlik ve çevresel açıdan olumlu etkileri tartışılamaz. Ancak pahalı bir yöntem olduğu kabul edilmelidir.

Dünyadaki ilk TDM olarak kaydedilen makina, 1845 yılında İtalya – Fransa arasında yer alan Frejus Demiryolu Tüneli için, Belçikalı Henri Joseph Maus tarafından üretilen makinadır. Bu yapı, yaklaşık 100 adet darbeli delgi düzeneğinin lokomotif büyüklüğüne bir makine üzerine monte edilmesiyle üretilmiştir. Ancak, makinanın performansı yeterli olmamış, tünel klasik yöntemlerle tamamlanmıştır.

Günümüzdeki TDM'nın öncüsü olarak kabul edilen ilk makine, Amerikalı maden mühendisi James Robbins tarafından 1952'de üretilmiştir (Şekil 9). Bu makine Pierre Şeyl'inde 50m/gün kazı hızına ulaşmıştır ki, bu hız o zamandaki diğer kazı yöntemlerine dair hızların yaklaşık 10 katıdır.



Şekil 9. 1952'de James Robbins tarafından yapılan ve Oahe Barajı Tuneli'nde kullanılan çağdaş TDM'nın öncüsü bir makine (Yazgaç, 2016).

Tünellerin açılmasına dair çeşitli yöntemler denenmektedir. Bu yöntemler de giderek çeşitlenmekte, gelişmekte ve kendi içinde sınıflandırılabilmektedir. Aşağıda bu yöntemlerden bazıları sunulmuştur: Genellikle tüneller;

1. Delme-Patlatma Yöntemi
2. Aç-Kapa (Cut and Cover) Yöntemi
3. Tünel Açma Makineleri Yöntemi ile açılırlar.

1) Delme-Patlatma Yöntemi, tünellerde kullanılan klasik bir yöntemdir. Eskiden havalı tabancalarla açılan delikler şimdi Jumbo denilen makinelerle açılmaktadır. Bu yöntemde aşırı sökülme fazla olacağından, özenle çalışılmalıdır. Kazma şekli ve bu işte kullanılacak makineler, tüneldeki kayaların türü, mekanik özellikleri ve süresizliklerin konumuna göre saptanır.

2) Aç-Kapa yöntemi, örtü kalınlığı 10 m' ye kadar olan gevşek, akışkan ve yumuşak zeminlerde uygulanır. Bu yöntem ucuz ve pratiktir. Şayet kalınlık fazla ise "Kalkan" (shield) yöntemi ile tünel açılır.

Ayrıca, kemerlenme süresi uzun olan (granit gibi) sert kayaların içerisindeki küçük çaplı tüneller açılırken "Tam Kesit" (full face) yöntemi uygulanır. Bu, en ekonomik tünel açma şeklidir. Bu sırada geçici destekler kullanılır. Kemerlenme süresi kısa, masif ve çatlaklı kayalarda ise "Tepe-Çekirdek" (kalot-stros) yöntemi ile tünel açılır**.**

Zayıf kayalarda ise "Çoklu Galeri" (multiple drift), "yan galeri" (side drift), "Orta Galeri" (central drift) ya da "Kemer Galeri" (arch drift) yöntemi ile tüneller açılır. Bu yöntemler de önce aynanın iki yanında küçük yan galeriler açılır, dinamitlemeden önce yan galerilerin destekleri kaldırılır. Yerli kaya ile destek arasında boşluk kalmamalıdır. Aksi halde tavan desteksiz kalır ya da düşer. Beton kaplamalarda boşluklar tamamen doldurulmalıdır.

3) Tünel açma makinalarıyla açılan tünellerde 2 tip kazı yapılır.

- Kazının tam kesit yapılması
- Parçalı kesit kazı yapılması (kollu makineler)

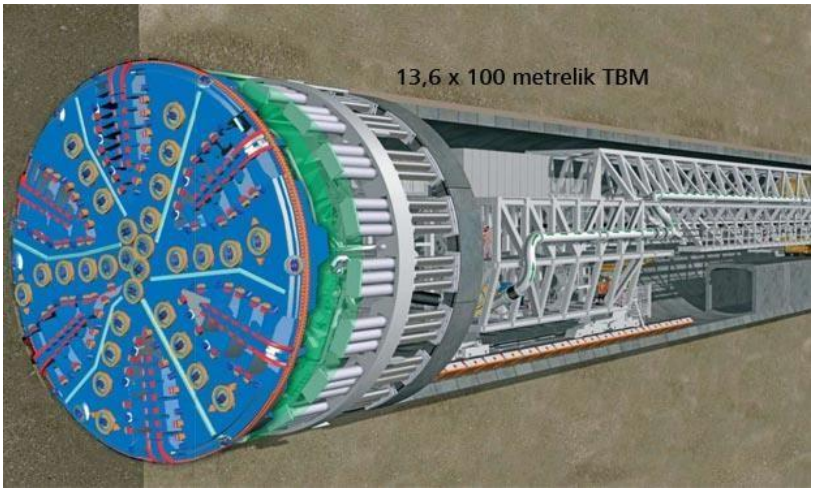
Tam kesit tünel açma makineleri, açılacak tünelin aynasını tamamen kapatarak ilerleme sağlanır. Kazı, dönen disk üzerindeki kesiciler tarafından yapılır. Pasa ise yürüyen bantlarla dışarıya atılır.

Parçalı kesit kazı makineleri, küçük ve göreceli olarak hafif makinelerdir. Tünel aynasını kesici konik kafa ile bölümler halinde kazarak ilerleme gerçekleştirilir. Bunun için kol aynada dolaştırılarak kazı yapılır.

Günümüzde Tünel Delme Makinaları (TDM), zeminlerin nitelikleri gözetilerek üç sınıfa ayrılabilir (Yazgaç, 2016). Bunlar başlıca ***Sert Kaya TDM (Hard Rock TDM);*** Sert kayalar için uygundur. Dönel disk kesicilerle ufalanan kaya konveyör veya vagonlarla taşınır. ***Zemin Basınç Dengelemeli TDM (Earth Pressure Balanced, EPB TDM);*** Zayıf kaya ve kohezyonlu zeminler için uygundur. Kesici kafa etrafındaki kazı malzemesi ile pozitif basınç yaratılarak tünel ayna stabilitesi sağlanır. ***Bulamaçlı TDM (Slurry TDM);*** Her cins zemin ve zayıf kayalar için uygundur. Kazı malzemesinin bentonitli bulamaç ile basınç altında karıştırılarak oluşturulan pozitif basınç ile tünel ayna stabilitesi sağlanır. Günümüzde TDM' larındaki gelişmeler daha iyiye doğru devam etmektedir.

Örneğin, Avrasya Tüneli' ni kazmak için kullanılan TDM' in delik açma çapı yaklaşık 4 apartman katı büyüklüğünde, yani 13,6 metre, uzunluğu ise yaklaşık 100 metredir (Şekil 10). 100 metrelik uzunluğuyla, hem tünel açma mekanizması, çıkarılan toprağı dışarı çıkaran yürüyen bantlar, tünelin duvarlarını oluşturan parçaların taşınması için raylı ulaştırma sistemi ve mühendis ve işçilerin çalışabildiği odalar da bulunan mobil bir şantiye görünümündeki bu TDM, günde yaklaşık 10 metre uzunluğunda tünel kazabilecek.

Bu mobil şantiye olarak da nitelendirebileceğimiz 100 metre uzunluğundaki tünel açma makinesi, yani Avrasya Tüneli TDM'i tünelde ilerlerken aynı zamanda tünelin duvarlarını da kendisi robot kolları yardımıyla inşa eder. Böylece tünelin inşaat sırasında göçmesi ya da üzerindeki deniz tabanının çökmesi gibi bir risk tamamen ortadan kalkmaktadır. Tünelin duvarları ise parçalar halinde şantiyenin dışından raylar yardımıyla TDM'e taşınır ve her bir parça tek tek dilimler halinde Avrasya Tüneli' nin duvarlarına kademe kademe monte edilir. Böylece TDM tünelde ilerlerken eş zamanlı olarak tünelin başlangıç noktasından itibaren Avrasya Karayolu Tüneli inşaatı da devam eder.



Şekil 10. TDM' nin genel yapısı (http://www.emlakfocus.com/).

YUMUŞAK ZEMİNLERDE TÜNELLERİN AÇILMASI

Yumuşak zeminler genellikle alüviyal nitelikte gevşek ve tanelerin iyi tutturulmadığı gereçlerden yapılı zeminlerdir. Yumuşaklık, kısmen de taneli gereçleri birbirine bağlayan çimentonun da gevşek olması ile ilgilidir. Zemini oluşturan malzemenin türü, tane boyu ve su içeriği ile ilgili nitelikler gözetilerek çeşitli yumuşak zemin türleri tanımlanabilir. Aşağıda tanımlanmış olan bazı zemin türleri sunulmuştur.

Yumuşak zemin türleri

1. Akıcı zemin: Çimentolu toprak ve molozdan oluşan ve kazı ile birlikte akmaya başlayan zemindir. Akma hızı, su içeriği ile orantılıdır. Bu zeminlerde kazı sırasında, aynada destekler kullanılır ve göğüslemelerle ilerlenir. Kazı, destekleme ve göğüsleme ile birlikte yapılır.

2. Çok hızlı akıcı zemin: Çimentosuz kum ve çakıldan oluşan bir zeminde, kuru iken de akma görülür. Su ile akma artar. Bu zeminlerde açılan tünellerin yanları ahşap ve çelik kirişler ile ya da çelik levhalarla kaplanır.

3. Akan zemin: İnce taneli gereçlerden, örneğin kil ve silt boyutunda tanelerden oluşan zeminlere, akan zemin denir. Gereçlerin tane çapları küçük ve davranışları plastik olduğundan bu tür zeminlerde çamur akmaları görülür. Çamur, irili ufaklı tüm boşluklara girer. Böyle zeminlerde galerinin yanları ve tavanı çeşitli desteklerle güçlendirip, ayna yüzeyi de desteklenir. Tabanda olasılı kabarmalara karşı çareler düşünülür. Bu gibi zeminlerde tehlikeli çökmeler, kabarmalar oluşabilir. Bu nedenle kalkan yöntemi uygulanır. Kalkan yönteminde ortası kuvvetlendirilmiş dairesel çelik bir silindir kullanılır. Silindirin ön ucunda bir keski bulunur.

4. Sıkışan zemin: Az su içeren kil ve siltlerden oluşan zemin türüdür. Bunların davranışları plastik sınırdadır. Basınç altında kırılmazlar, ancak kabarır, dalgalanır ve kıvrılırlar.

5. Şişen zemin: Bunlar özellikle bentonit grubu kil mineralleri içeren zeminlerdir. Bu zeminler bünyesine su alınca şişer, kabarır ve hareket ederler.

Yumuşak zeminlerde tünellerin açılmasına başlanınca, tavan ve yan duvarlar kendi kendilerini tutamazlar. Tabanda kabarma, çukurlaşma ve ondülasyon oluşur. Tavan ve yanların desteksiz durabilme yeteneğine "**Kemerlenme**" denir. Bu özellik, tavandaki kayaların içerisindeki gerilme ve makaslama kuvvetlerinin büyüklüğüne, kayatürüne, yapıya ve süreksizliklere, katmansız (som) oluşuna, katılığına ve örtünün basıncına bağlıdır. Sert killerin ve ayrışmış kayaların kemerlenme süresi bir gündür. Kum ve çakılların kemerlenme süresi sıfıra yakındır.

Yumuşak zeminlerde yeraltı suyu büyük güçlükler yaratır. Dolayısıyla yeraltı suyunun çeşitli yollarla uzaklaştırılması gerekir. Şişen zeminlerde durum başkadır. Kil, su ile temas sırasında şişer,

çevreye basınç yapar. Bu kayalarda açılacak tünelin dairesel bir kesitte olması istenir. Sert kil ve kumtaşı yeterince makaslama ve gerilme direncine sahip olduğundan herhangi bir desteğe gerek yoktur. Akıcı zeminlerde ise destek gerekir.

SERT (SAĞLAM) KAYALARDA TÜNELLERİN AÇILMASI VE GÖZETİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Tünel açılmalarında sağlamlık, tavan desteklenmeye gerek göstermemesi anlamında kullanılır. Sağlam zeminler az çatlaklı, kırıklı, faylı, ezilmiş, parçalanmış, ayrışmış olabilir ya da aralarında yumuşak katmanlar, killi-kömürlü düzeyler ya da su sızan yerler bulunabilir. Ayrışmış bölümler ise destek gerektirir. Sert (sağlam) kayalarda karşılaşılan önemli unsurlar aşağıda sunulmuştur.

Tünel içi gerilmeler

Yerkabuğu içerisindeki kayalar, çeşitli gerilmelerin etkisinde bulunur. Derinlerde açılan tünel ve maden ocaklarında kaya patlamaları birikmiş halde bulunan gerilmeler sonucudur. Gerilmelerin öncelikle yalnızca üstteki örtü kalınlığına bağlı olduğu varsayılıyordu.

$\sigma_v = \delta \cdot h$ — δ : Yoğunluk (ton/m^3), h : Derinlik (m)

$\sigma_h = \frac{\gamma}{1-\gamma} \cdot \sigma_v$ — σ_v : **Dikey** asal gerilme (kg/cm^2), σ_h : **Yatay** asal gerilme (kg/cm^2), γ : Poisson oranı (enine deformasyon / boyuna deformasyon)

Poisson oranı sert kayalarda γ = 0,2 ~ 0,33 arasında bir aralıkta yer almaktadır. Bu değer, ayrıca laboratuvarlarda da ölçülmüş ve ortalama 0,25 olarak alınmaktadır.

$$\sigma_h = \frac{0,25}{1-0,25} \cdot \sigma_v \Rightarrow \frac{1}{3} \cdot \sigma_v$$ Bulunur.

.

Tünelin inşaat evrelerinde bu oranın gözetilmesi gerekir.

Yerkabuğu elastik bir cisim olarak düşünülürse, herhangi bir derinlikte yatay gerilmeler yaklaşık olarak dikey gerilmelerin üçte biri kadar olmalıdır. Son yıllarda yapılan deneyler çok farklı sonuçlar vermiştir. Yapılan çalışmalar yerkabuğunun herhangi bir noktasındaki gerilmelerin;

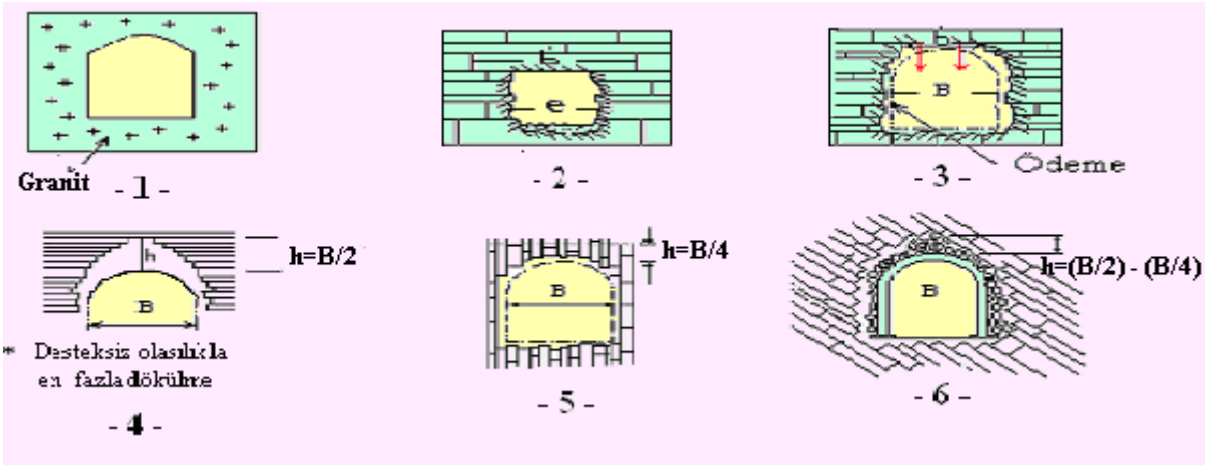
1- Örtü basıncına
2- Tektonik hareketlere
3- Mağmatik intrüzyon ve metamorfizma olaylarına bağlı olduğu belirlenmiştir.

Bu gerilmeler, tünel açılınca basınçtan kurtulma nedeni ile kaya patlamalarına, fırlamalarına ya da kabarmalarına yol açar. Birden patlama olursa zemin kabarır, tavan yer yer çöker, sarsıntı ile yan duvarlarda yıkılmalar meydana gelir.

Kemerlenme

Kayaların içerisinde depo edilmiş bir gerilme olmasa da tünel açılınca, kayalar boşluğa doğru hareket etmek isterler. Diğer yandan kayalar birbirine dayanarak bu hareketi bir ölçüde engellerler. Bu niteliğe kemerlenme denir. Yani tavan ve yanların desteksiz durabilme yeteneği ***kemerlenme*** olarak tanımlanır. Kayatürü ve katmanların duruşu dikkate alındığında; ortaya çıkan kemerlenme oranları Şekil 11'de sunulmuştur:

1- Katmansız (masif), çatlaksız, sert kayalarda kemerlenme fazladır. Örneğin Harşit hidroelektrik tüneli, granitik sert kayalarda açılmış olup, kemerlenme oranı yüksek olan bir tüneldir.
2- Katmanlar yatay, kalın ve çatlak aralığı tünel genişliğinden fazla ise desteksiz ve kaplamasız ilerlenebilir.
3- Çatlak aralığı tünel genişliğinden az ise, üstten düşme olur. Kemer boyunca bir kaplama gerekir.
4- Katmanlar çok ince, çatlaklar ise çok sık olduğu durumlarda kemerlenme iyi değildir. Tavanda aşırı sökülme, tünel genişliğinin 1/2'si kadar olabilir. Tavan sıkı destekler ile tutturulmalı, sonra çelik kaplama yapılmalıdır.
5- Katmanlar dik ise kemerlenme yeraltı suyu ve katman yüzeylerinin pürüzlülük derecesine bağlıdır. Tavanda tünel genişliğinin 1/4'ü kadar aşırı sökülmeler görülür. Destek ve kaplama gereklidir.
6- Katmanlar eğimli ise aşırı sökülme (h), çatlak sistemlerine, katman eğimine, pürüzlülüğe, içsel sürtünme açısına, tünel üstü yüke bağlı olarak tavanda tünel genişliğinin yarısı ½ ile 1/4'ü kadar olabilir. Böyle durumlarda da destek ve kaplama gerekir.



Şekil 11. Kayatürü ve süreksizlikler gözetildiğinde tünellerde izlenebilen kemerlenme oranları. B, tünelin genişliği; h ise sökülme miktarı (Aral,1992).

Sonuç olarak, kemerlenmeyi etkileyen en önemli unsurların, kayatürü, kayatürünün dayanımlılığı ve kayatüründe gelişmiş olan süreksizliklerin nitelikleri olduğu görülür.

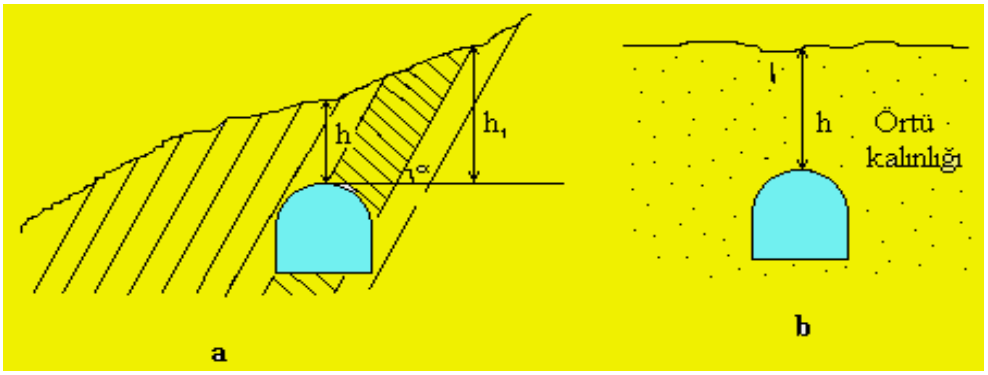
Jeolojik yapıların tünel çalışmalarına etkileri

Katmanların durumu, kıvrımlar, yani antiklinal ve senklinaller, tünel eksenine ve kemerine farklı basınçların gelmesine, yeraltı sularının birikmesine ya da kaçmasına etki yaparlar.

1. ***Katmanlı*** yapılarda, katmanlar eğimli ise tünel tavanına yüksek basınç gelebilir (Şekil 12a).
2. ***Masif (ya da homojen)*** kayatürlerinde, basınç, örtünün kalınlığı oranında, tünel tavanına yansır (Şekil 12b).

Örtü kalınlığı (h = 8- 10 m kadar) az olan bir yere tünel açıldığında, kemerlenme olmazsa, tavan basıncı birim kütlenin ağırlığına eşit olmaktadır. Yani basınç,

$P = \delta$ (t/m^3) x h (m) ilişkisi ile hesaplanabilir.



Şekil 12. a) Katmanlı örtü, b) Masif (ya da homojen) örtü. Örtü kalınlığı (h) ve meydana gelen basınç (P) ise P = δ (ton/m^3) x h (m) olacaktır (Aral, 1992).

3. ***Antiklinal ve senklinallerde açılan tünellerde*** basınç durumu irdelendiğinde;

a) Kıvrım doğrultusuna dik tünellerde basınç antiklinal eksen düzlemine yaklaşıldığında azalır, senklinal eksen düzlemine yaklaşıldığında artar. Antiklinallerde giriş ve çıkışa yakın yerlerde basınç fazladır (Şekil, 13a).

b) Kıvrım doğrultusunda açılan tünellerde; senklinal ekseninde açılan tünellerle, basınç (asal gerilmeler) fazla olacaktır. Antiklinal ekseninde ise basınç az, ancak çatlaklar fazladır. Dolayısıyla burada da yeraltı suyunun hareketi kolaylıkla olabilmektedir (Şekil, 13b).

c) Ancak kimi durumlarda da kıvrımın bir kanadında da tünel açılması zorunluluğu doğabilir (Şekil, 13c). Bu gibi durumlarda, basınç antiklinal eksenine göre yüksek, senklinal eksenine göre düşük bir konumda olacaktır.

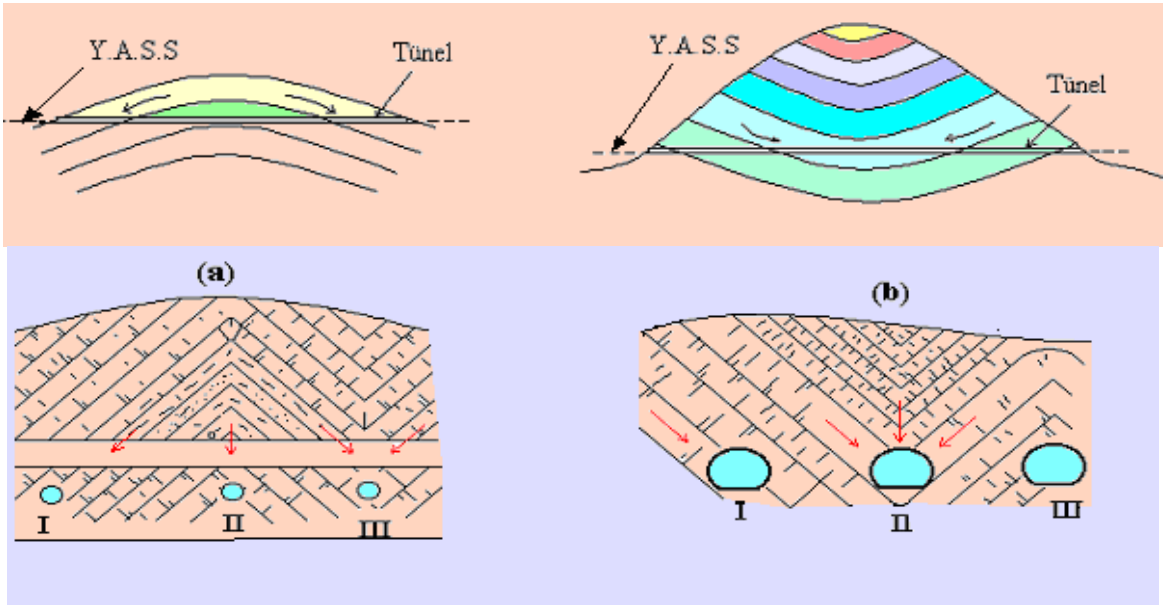
4. ***Katmanlı yapıya sahip tünellerde*** Şekil 14a, b, c'deki konumlarda tekdüze (uniform) bir basınç oluşur. d ile f deki konumlarda ise basınçlar tünelin duvarında yoğunlaşır. Şekil, 14e'deki konumda ise çok büyük bir basınç oluşur.

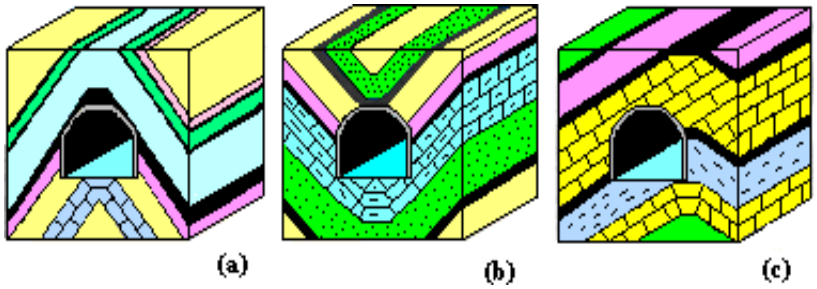
5. ***Yamaçlara yakın açılan tünellerde*** Şekil 15' de görüldüğü gibi yamaç duraylılığının süreksizlik ile yamaç eğimi arasındaki ilişkisi irdelenebilmektedir. Şekil, 15a, d, e'de duraylı yamaçlar görülmektedir. Oysa 15b'de katman eğimlerinin yamaca göre duruşu duraysızlık yaratmaktadır.

Bilindiği gibi katman yüzeylerinin dalgalı olmaları kaya kütlesinin kayma direncini artırıcı bir özelliktir. Bu nedenle 15c'deki katman eğimleri yamaç eğimine paralel olmasına rağmen dalgalı yapıdan dolayı diğerlerine göre orta derecede bir duraylılık meydana gelir.

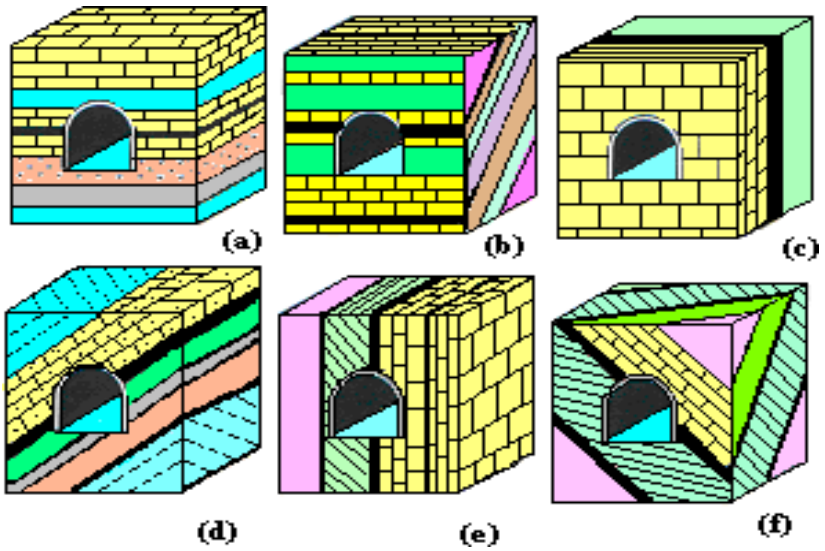
Ayrıca tünelin geçtiği kaya kütlesi ve üzerindeki örtü çatlaklı ve kırıklı ise Şekil, 15f'de olduğu gibi suyun kırık ve çatlaklardan sızması ile boşluk suyu basıncı değişir ve örtünün kaldırmaya karşı olan direnci üstteki kütlenin itilip boşalmasına kadar yavaş yavaş azalır.

6. ***Faylı zonlarda açılan tünellerde***, fayların aktif olup olmadığı, eğim ve doğrultusu, açılacak tünel ile ilişkisi, genişliği, dolgu malzemesinin cinsi saptanmalıdır. Bir fayın her iki blokunda oluşabilecek farklı hidrostatik basınçlar, tünelin üzerinde farklı basınçların yoğunlaşmasına ve tünel duraylılığının bozulmasına neden olur. Tünel aktif bir fayı kesiyor ise ya güzergâh değiştirilmeli ya da bu alan açık yarma ile geçilmelidir (Şekil, 16).

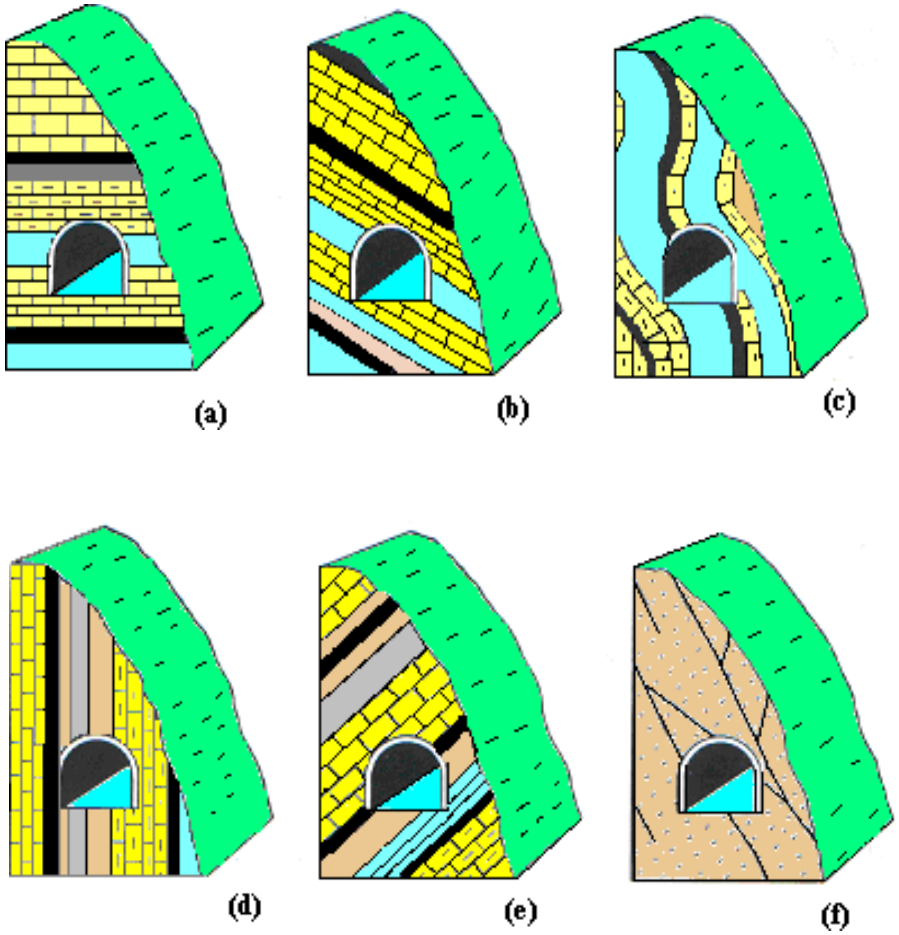




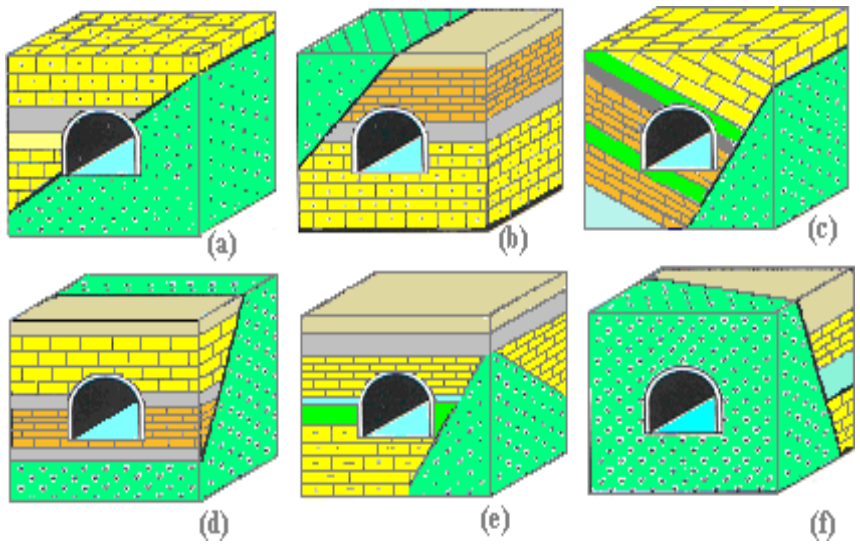
Şekil 13. Bir antiklinal (a), bir senklinal (b) ve bir kıvrımın kanadında (c) yer alan tünellerin konumları (Krynine ve Judd, 1957; Aral, 1992).



Şekil 14. Katmanlanmaya göre tünelin çeşitli konumları (Krynine ve Judd., 1957).



Şekil 15. Dik bir yamaca yakın tünellerin katmanlanma ve yapısal unsurlarla olan ilişkileri (Krynine ve Judd, 1957).



Şekil 16. Bir faya göre tünelin çeşitli konumları (Geologia applicata all ingegneria, Krynine ve Judd, 1957).

Aşırı sökülme

Sağlam, homojen, süreksizliği yansıtan yapıların az olduğu kayalarda tünele istenilen şekil ve boyut verilebilir. Tünel içerisindeki kayalar çok zaman istenilenden daha büyük boyutta oyulur. Yer yer düşmeler, oyulmalar oluşur. Önceden saptanan ödeme çizgisinin dışında oluşan sökülme ve oyulmalara ***aşırı sökülme*** ya da ***profil fazlası*** denir. Bu aşırı sökülmenin hiç olmaması ya da az olması istenir. Çünkü ortaya çıkan malzemenin de bertaraf edilmesi yeni sorunlar yaratabilir. ***Aşırı sökülme***, kayanın türüne, ayrışma derecesine, çatlak, kırık, fay, katmanlanma, yapraklanma, tünel çapı, patlayıcının miktarı, türü ve etkisi, destek şekline bağlı olarak % 0-56 arasında değişir. Krynine ve Judd (1957)'a göre kayaların ortalama aşırı sökülme yüzdeleri: Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1, Çeşitli kayaların ortamla sökülme yüzdeleri

	%
Tortul kayalarda	9-11
Gnaysta	8-11
Diğer metamorfik kayalar	11
Bazaltta	8-15
Granitte	7-15 (genellikle 10-12)

Tünellerde su basmaları

Yerkabuğu içerisinde denge halinde bulunan yeraltı suları tünel açılınca ortaya çıkan boşluğa doğru yönelir ve tünel bir akaçlama tüneli gibi çalışır. Bu nedenle tünel açılmasından önce jeolojik inceleme ve sondajlarda yeraltı su düzeyleri araştırılır. Olabildiğince tünelin yeraltı su düzeyinden geçirilmesi istenir. Akaçlama ile ya da motorlu bir pompa ile su çekilmeli, ya da enjeksiyon ile suyun yönü değiştirilmelidir. Tünelin tabanına yüksek eğim verilir (% 0,3).

Tünellerdeki su miktarı mevsimlere göre değişmekte, ancak önlemler alınırsa su miktarı zamanla azalabilir. Su sızıntılarını önlemek üzere kimi zaman kimyasal enjeksiyon gerekmektedir. Kimyasal enjeksiyon ile tünele gelmesi olası basınçlı ya da yüksek debili suların kısa bir sürede azaltılabilir ya da engellenebilir. Yeraltı sularının sıcaklığı ve içerisindeki erimiş maddelerin betona ve çeliğe etkisi önemlidir. Suda $CaSO_4$, $NaSO_4$, $MgSO_4$, H_2S, CO_2 ve $Ca(HCO_3)_2$ olup olmadığı bilinmelidir.

Tünellerde gaz

Tünellerde en çok rastlanan gazlar, metan (CH_4), CO_2, H_2S, SO_2, su buharı ve dinamit patlaması sonucu oluşan gazlardır. Metandan ileri gelen grizu patlaması can kaybına neden olur. CO_2 ve H_2S hem zehirler hem de beton ve çelik kaplamaya aşındırıcı etki yapar. SO_2 de betona etki yapar. Tünellerde gazlardan dolayı çok iyi havalandırmanın olması gereklidir.

Tünellerde sıcaklık

Genel olarak yer içerisine her 30- 40 metre inildikçe sıcaklık 1^oC artar. Bu durum bölgeden bölgeye göre değişir. Derinlerde yükselen sıcaklık, kan dolaşımını güçleştirir. Böylece çalışanların verimliliği azalır.

KAYA KÜTLELERİ SINIFLAMA SİSTEMLERİ

Tünel çalışmaları, farklı niteliklere sahip kayatürlerinde gerçekleştirilmektedir. Kayaların tünel açma işlemleri arasındaki davranışları farklıdır. Tünel açma sırasında karşılaşılması olası kaymalara ve çökmelere karşı çeşitli desteklere (tahkimata) gereksinim vardır. Desteğin türünü belirlemek için kaya kalite göstergesi (RQD), kaya kütlesi değerlendirme sistemi (RMR-Rock Mass Rating) ve Q sistemi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle elde edilen verilerin yardımıyla tünelin boyutları, kayaların desteksiz durabilme süresi ve desteğin (tahkimatın) türü arasındaki ilişkiler değerlendirilmektedir. Kaya kütlelerinin sınıflaması, yerinde (in situ) gözlem ve deneysel çalışmalara dayandırılmalıdır.

Kaya kalite göstergesi (RQD) sınıflaması

RQD silindirik şeklini koruyan, doğal süreksizlikler tarafından bölünmüş sağlam kaya karot parçaları arasında boyu 10 cm ve 10 cm'den büyük olanların toplam uzunluğunun ilerleme uzunluğuna (yüzde olarak) oranı şeklinde ifade edilmiştir.

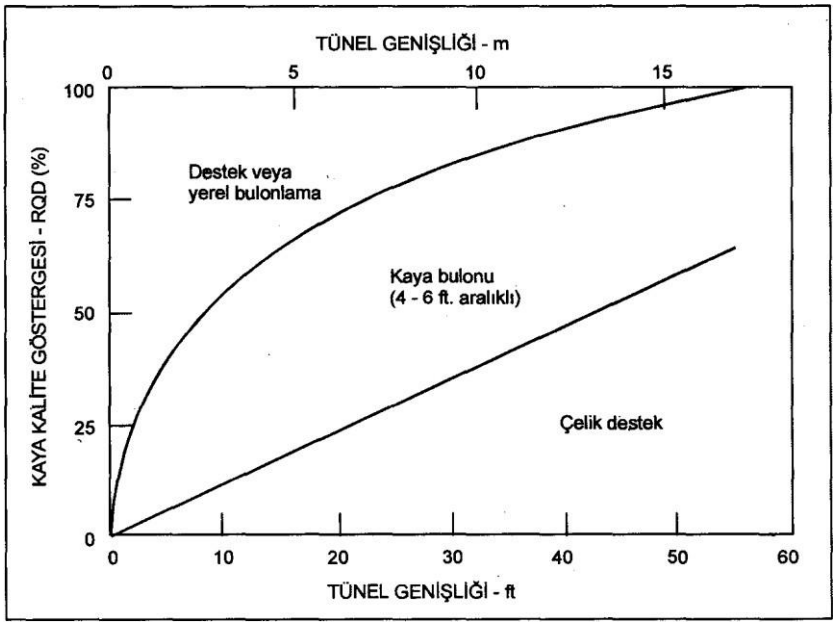
Kaya kalite göstergesi sınıflamasında, tünelin genişliği ile RQD değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmektedir. RQD ile kayanın mühendislik kalitesi arasındaki ilişki, Çizelge 2'de tanımlanmıştır. Buna göre kaya kalite göstergesi düşük olan (% 25) bir kayatürü için çelik destek, oysa kaya kalite göstergesi yüksek olan (% 75) bir kayatürü için yerel bulonlama türü bir destek yeterlidir.

Çizelge 2, Kaya kalite göstergesi (RQD) ile kaya kalitesi arasındaki ilişkiler (Deere ve Deere,1988).

RQD (%)	Kaya Kalitesi
< 25	Çok Zayıf
25 – 50	Zayıf
50 – 75	Orta
75 – 90	İyi
90 – 100	Çok iyi (mükemmel)

Tünelcilik indeksi olarak RQD: RQD'nin tünelcilikte de kullanılabileceği, özellikle tüneller ve kuyularda ön destek seçimi için yardımcı bir indeks olabileceği kabul edilmektedir. RQD ile tünel genişliği arasındaki ilişki esas alınarak destek türünün seçimi yapılabilir. Bu çerçevede hazırlanan bir abak Şekil 17'de görülmektedir.

Süreksizliklerin sıklığı, yönelimi, aralığı ve dolgunun özellikleri, ayrıca yüzeye yakın kayalarda bozunmanın derecesi gibi kaya kütlesinin diğer önemli yönlerini yansıtmamaktadır. Bu nedenle RQD, tek başına tüneller için destek belirleme ölçütü olarak kullanılamaz.



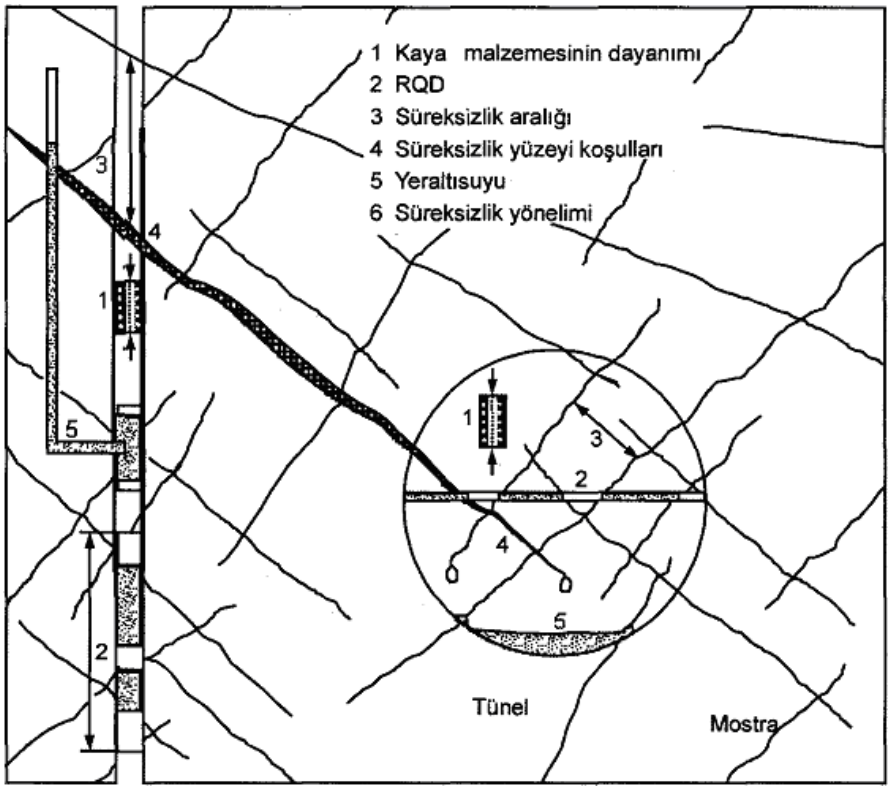
Şekil 17. Tünel genişliği-RQD ilişkisine göre destek sistemini belirleme abağı (Hoek ve Brown 1980'den).

Kaya kütlesi değerlendirme sistemi (RMR-rock mass rating)

Bu sistemde değerlendirilmesi gereken başlıca değişkenler kaya kütlelerinin dayanımlılığı, süreksizliklerin temel özellikleri (türü, aralığı, set sayısı ve diğer özellikleri) ve yeraltı suyu koşullarıdır. Değişkenler değerlendirilerek puanlanır ve bu puanlama ışığında kaya kütlesi sınıflandırılır. Yapılan sınıflama çerçevesinde kazı ve destek türleri belirlenir.

RMR kaya kütlesi sınıflaması, yeni verilerle desteklenerek bazı değişikliklere uğramış ve son biçimini 1989'da almıştır (Bieniawski, 1989). Tüneller, büyük yeraltı açıklıkları (odalar), maden işletmeleri, şevler ve temellerle ilgili uygulamalardan derlenen verilerin ve yapılan gözlemlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, bu sınıflamanın gelişmesini sağlamıştır. RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıda belirtilen 6 değişken esas alınmaktadır (Şekil 18).

1. Kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c)
2. RQD
3. Süreksizlik aralığı
4. Süreksizliklerin durumu (devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık)
5. Yeraltı suyu koşulları
6. Süreksizliklerin yönelimi



Şekil 18, RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde kullanılan değişkenler (Bieniawski,1989).

Sistemin uygulanması için, kaya kütlesi belirli özellikleri açısından benzerlik taşıyan yapısal bölgelere ayrılır. Kaya türünün veya süreksizlikler arası mesafenin üniform olduğu yapısal bölgelerle yaygın olarak karşılaşılabilir. Pek çok durumda yapısal bölgelerin sınırları; fay, dayk, makaslama zonu gibi ana süreksizliklerle çakışmaktadır. Yapısal bölgeler belirlendikten sonra, kazı aynaları boyunca veya sondajlı bir çalışma yapılıyorsa her ilerlemede sınıflamanın gerektirdiği parametreler tayin edilir.

RMR Sınıflama Sistemi uygulanırken, Çizelge 3'de her parametre için verilen ölçütler ve/veya değerler esas alınır. Çünkü değişik parametrelerin sınıflamadaki önem dereceleri eşit değildir. Değeri

belirlenen ilk 5 parametrenin puanı Çizelge 3'dan saptanır. Bununla birlikte, Çizelge 3'da tek eksenli dayanım, ROD ve süreksizlik aralığı parametrelerine ilişkin ara değerlere karşılık gelen puanlar Şekil 19'da verilen abaklar kullanılarak da belirlenir. Şekil 19'da sunulan abak, ayrıca RQD veya süreksizlik aralığı değerlerinden herhangi birinin eksikliği halinde, bilinen bir parametreden diğer bilinmeyenin tayini amacıyla önerilmiştir. Bu sistemde süreksizlik aralığı parametresi üç süreksizlik takımı (seti) içeren kaya kütlelerine uygulanır. Bu nedenle sadece iki süreksizlik seti içeren kaya kütlelerinde tutucu bir değerlendirme yapılmış olur.

Bundan sonraki aşama, süreksizliklerin eğimlerinin ve eğim yönlerinin etkisinin Çizelge 3'ün B bölümünden belirlenmesidir. Bu aşama, ilk bölümdeki değerlendirmeden ayrı olarak yapılır. Çünkü süreksizliklerin yöneliminin etkisi tünel, maden işletmesi, şey veya temel gibi mühendislik uygulamalarında kazıların yönelimine bağlıdır. Bu değerlendirmeyle ilgili RMR puan düzeltmesi, Çizelge 2 kullanılarak belirlenir. Ancak, bu değerlendirme kalitatif olduğu için eğim ve doğrultunun tünel için uygun olup olmadığına karar verilebilmesi amacıyla öncelikle Çizelge 3'nin kullanılması gerekir. Yönelimle ilgili olarak belirlenen düzeltme değeri daha sonra ilk 5 değişkenin toplamından elde edilen RMR değerine eklenerek, kayayı temsil eden nihai RMR değeri belirlenir.

İnşaat mühendisliği ile ilgili projelerde süreksizliklerin yönelimi ile ilgili düzeltmenin yapılması genellikle yeterlidir. Buna karşın, RMR sınıflama siteminin yaygın şekilde kullanıldığı madencilik uygulamalarında kazı işlemleri oldukça dinamik süreçleri kapsar ve birbirini değişik yönlerde kesen yeraltı açıklıklarını gerektirebilir. Bu durumda arazi gerilimleri, patlatma, gibi faktörlerin dikkate alınması ve gerekiyorsa, bu faktörler gözetilerek RMR değerlerinin düzeltilmesi gerekir.

Çizelge 3, RMR Kaya Kütlesi Sınıflanma Sistemi (Bieniawski, 1989; Ulusay, 2001'dan).

A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ ve PUANLARI

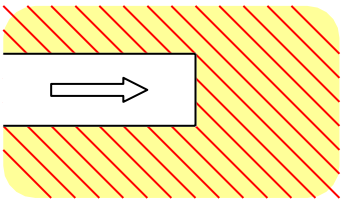
1*	**Sağlam kayacın dayanımı**	**Nokta yükü dayanım indeksi**	> 100 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Puan		**15**	**12**	**7**	**4**	**2**	**1**	**0**
2*	**Kayaç kalite göstergesi, RQD**		%90 - 100	%75 - 90	%50 - 75	%25 - 50	< %25		
	Puan		**20**	**17**	**13**	**8**	**3**		
3*	**Süreksizlik aralığı**		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puan		**20**	**15**	**10**	**8**	**5**		
4	**Süreksizliklerin durumu**		Çok kaba Yüzeyler Sürekli değil Ayrılma yok Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1 mm Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1 mm Yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu < 5 mm veya 1-5 mm açık eklemler, sürekli eklemler	Yumuşak fay dolgusu > 5 mm kalınlıkta veya açık eklemler > 5 mm devamlı süreksizlikler		
	Puan		**35**	**25**	**20**	**10**	**0**		
5	**Yer altı suyu**	**Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su**	Yok	10 lt/dk	< 25lt/dk	25-125lt/dk	> 125 lt/dk		
		Oran **Eklemdeki su basıncı**	Veya 0	0.0-0.1	Veya 0.1-0.2	Veya 0.2-0.5	Veya >0.5		
		Oran **Ana asal gerilme**							
		Genel koşullar	Veya tamamen kuru	Nemli	Veya ıslak	Veya damlama	Veya su akışı		
	Puan		**15**	**10**	**7**	**4**	**0**		

***** İlgili abaklardan tayin edilir. (1 MPa=10.197kgf/cm^2)

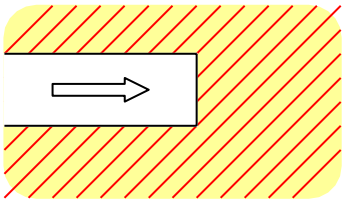
B. TÜNELDE SÜREKSİZLİK EĞİM ve EĞİM YÖNÜNÜN ETKİSİ

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Doğrultuya bakılmaksızın, eğim 0° - 20° arasında
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme				
Eğim 45° – 90°	Eğim 20° – 45°	Eğim 45° – 90°	Eğim 20° – 45°	Eğim 45° – 90°	Eğim 20° – 45°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

Doğrultu tünel eksenine dik



Eğim yönünde ilerleme



Eğime karşı yönde ilerleme

C. SÜREKSİZLİK YÖNELİMİNE GÖRE DÜZELTME

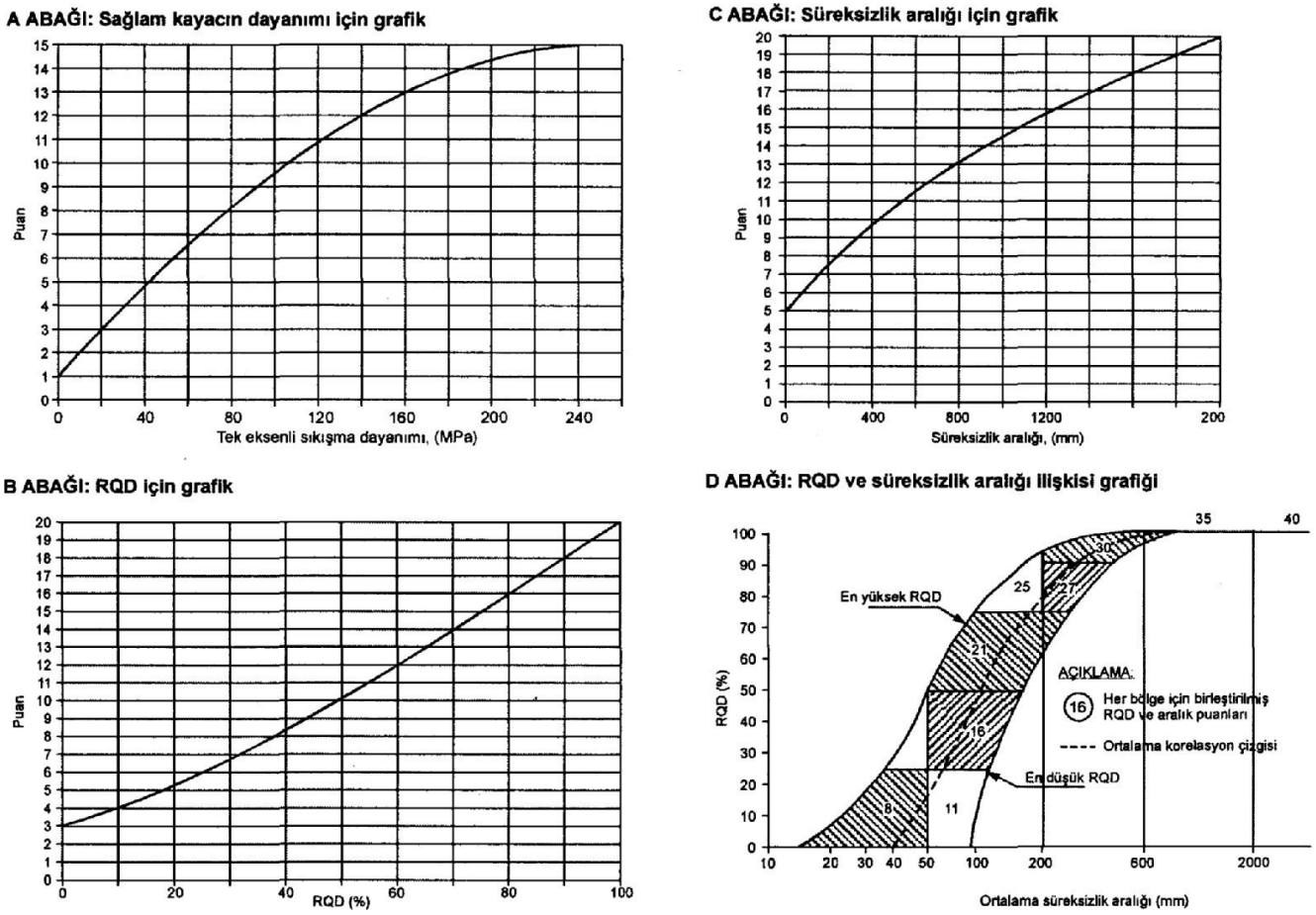
Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	şevler	0	-5	-25	-50	-60

D. KAYA SINIFLARI VE PUANLARI

Sınıf no.	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20

E. KAYA SINIFLARININ ANLAMI

Sınıf no.	I	II	III	IV	V
Ortalama desteksiz kalabilme süresi	15m açıklık çin 20 yıl	10m açıklık için 1 yıl	5m açıklık için 1 hafta	2.5m açıklık için 10 saat	1m açıklık için 30 dakika
Kaya kütlesinin kohezyonu (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Kaya kütlesinin içsel sürtünme açısı	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15



Şekil 19. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde bazı değişkenler için puan belirleme abakları (Bieniawski 1989'dan).

Gerekli düzeltmelerin yapılmasından sonra elde edilen RMR puanı aşağıda belirtilen başlıca amaçlara yönelik olarak kullanılabilir:

(a) Çizelge 3'ün D ve E bölümlerinden kaya kütlesi sınıfı, kaya kütlesi sınıflarının belirli boyutlardaki yeraltı açıklıkları için desteksiz durabilme süresi ve kohezyonu ile içsel sürtünme açısı değerleri yaklaşık belirlenebilir.

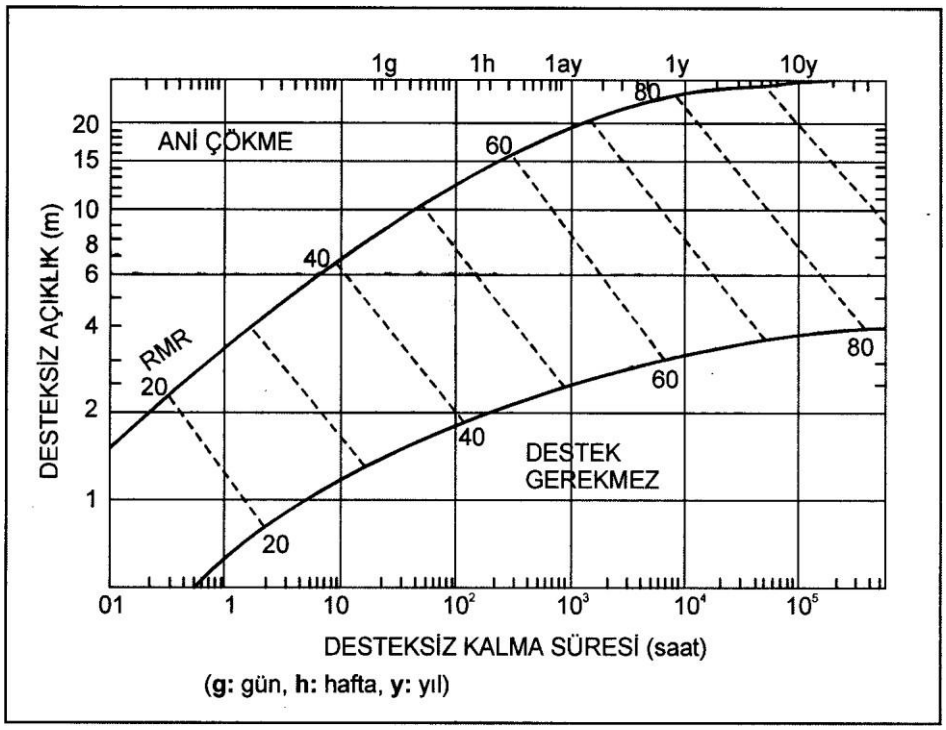
(b) RMR değeri veya kaya sınıfı, Çizelge 4'de verilen tünel destek sistemini belirleme kılavuzu kullanılarak destek (tahkimat) sisteminin belirlenmesine olanak sağlar. Çizelge 4, klasik delme ve patlatma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen kazılarda uygulanır.

(c) Herhangi bir yeraltı açıklığının belirlenmiş boyutu için RMR puanı kullanılarak o açıklığın desteksiz kalma süresi Şekil 20'deki abaktan yararlanarak belirlenir.

(d) RMR değeri kullanılarak destek yükü ifadelerden tahmin edilebilir.

Çizelge 4, RMR sistemine göre kaya kütlesi sınıfı, tünel kazıları ve destek türleri için kılavuz (Tünel şekli, At nalı; İnşaat türü, Delme ve patlatma; Tünel genişliği, 10 m; Tünelde dikey gerilim <25 MPa) (Ulusay, 2001).

KAZI VE DESTEK (TAHKİMAT) TÜRLERİ				
KAYA KÜTLESİ SINIFI	**Kazı biçimi**	**Kaya saplamaları* (10 m genişlikteki tünel için uzunluk)**	**Şatkrik (Püskürtme beton)**	**Çelik destek**
I	Tam kesit, 3 m ilerleme	Bir miktar kaya sapması haricinde genellikle destek gerektirmez.		
II	Tam kesit, 1- 1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2- 3 m'sinde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-2.5 m aralıklı.	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Yok
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.5- 3 m ilerleme. Komple destek. Aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3- 4 m uzunlukta sistematik saplamalar, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2 m aralıklı.	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 30 mm	Yok
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.0- 1.5 m ilerleme. Kazıya uygun şekilde aynaya 10 m mesafeye kadar, gerekli tahkimat.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik saplama.	Tavan kemerinde 100-150 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Gereken yerde 1.5 m aralıklı yer yer hafif traversler
V	Tavan ve tabandan birlikte ilerleme. Tavandan 0.5-1 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlamadan hemen sonra şatrik uygulanmalı.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik saplama.	Tavan kemerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm, aynada 50 mm.	Çelik iksalı, 0.75 m aralıklı orta-ağır traversler
* 20 mm çaplı tamamen reçine bağlantılı saplama.				



Şekil 20. RMR sınıflama sistemine göre yeraltındaki boşlukların desteksiz kalabilme süresini tahmin abağı (Bieniawski, 1989).

Q sistemi

Q sisteminde RQD değerleri, eklemlerle ilgili temel bilgiler ve kaya kütlelerinin dayanımlılığını etkileyen gerilim ve basınç gibi değerler irdelenerek kazı türü belirlenir.

Q veya NGI (Norwegian Geotechnical Institute) sistemi olarak bilinen bu sistem, Barton vd. (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sistem uzun yıllar kullanıldıktan sonra, sistemin destek sistemlerinin seçimine yönelik bölümü geliştirilmiştir. Bu sınıflama sistemine göre, Q değerinin hesaplanması için kullanılan 6 temel faktör Çizelge 5'de görülmektedir. Bu faktörler başlıca RQD, eklem takımı sayısı, eklem pürüzlülük sayısı, eklem yüzeyi araştırma sayısı, eklem su azaltma faktörü ve gerilim azaltma faktörüdür.

Çizelge 5, Q Sistemi'ne ilişkin faktörler (Barton ve diğerleri, 1974).

1. RQD	**KAYA KALİTE GÖSTERGESİ TANIMI**
0 – 25	A. Çok zayıf
25 – 50	B. Zayıf
50 – 75	C. Orta
75 – 90	D. İyi
90 – 100	E. Çok iyi (mükemmel)
Not: (1) RQD <10 (0 dahil) ise, Q'nun hesaplanmasında RQD için 10 gibi nominal bir değer kullanılır. RQD için 100, 95, 90… vd. gibi 5'lik aralıklar yeterlidir.	

2. EKLEM TAKIM SAYISI	**(J_a)**
A. Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5 – 1.0
B. Bir eklem takımı	2
C. Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	3
D. İki eklem takımı	4
E. İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6
F. Üç eklem takımı	9
G. Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	12
H. Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	15
I. Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20
Not: (2) Arakesitler (kesişen tüneller) için (3.0 x Jn) kullanılır.	
(3) Portallar (girişler) için (2.0 x Jn) kullanılır.	

3. EKLEM PÜRÜZLÜLÜK SAYISI	**(J_r)**
Süreksizlik yüzeyi ve 10 cm'lik bir makaslama hareketinden önce süreksizlik yüzeyi	
Not: (4) Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikleri göstermektedir.	
A. Süreksiz eklemler	4
B. Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	3
C. Düz, dalgalı	2
D. Sürtünme izli, dalgalı	1.5
E. Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F. Düz, düzlemsel	1.0
G. Sürtünme izli, düzlemsel	0.5
Not: (5) Ilgili eklem takımının ortalama aralığı 2 m'den daha büyük ise, J_r'ye 1.0 ilave edilebilir.	
(6) En az dirence göre yönlenmesi koşuluyla, çizgiselliklere sahip düz sürtünme yüzeyli eklemler için J_r = 0.5 alınabilir.	
H. Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1.0
I. Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kumlu, çakıllı ya da parçalanmış zon	1.0

4. EKLEM YÜZEYİ ARAŞTIRMA SAYISI	**(J_a)**	**Φ (yaklaşık) (derece)**
(a) Süresizlik dokanağı		
A. Sıkıca bağlanmış, sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0.75	
B. Ayrışmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	1.0	(25 – 35)
C. Az ayrışmış eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kil içermeyen kaya parçaları vd.	2.0	(25 – 30)
D. Siltli ve kumlu-kil sıvamaları, küçük kil fraksiyonu, (yumuşak değil)	3.0	(20 – 25)
E. Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil minerali sıvamaları, örneğin; kaolen veya mika. Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vs. ve az miktarda şişen killer.	4.0	(8 – 16)
(b) 10 cm'lik bir kaymadan önceki süreksizlik dokanağı	4.0	(25 – 30)
F. Kum taneleri, kil içermeyen parçalanmış kaya vd.		

G. Aşırı konsolide olmuş, yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	6.0	(16 – 24)
H. Orta veya düşük derecede konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	8.0	(12 – 16)
I. Şişen kil dolguları, örneğin; montmorillonit (sürekli, ancak kalınlığı 5 mm'den az) J_a değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve suyun etkisine bağlıdır.	8-12	(6 – 12)
(c) Makaslandığında süreksizlik dokanağı yok		
J. Parçalanmış kaya veya kil zonları veya bantları (Kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız).	6-8 veya 8-12	(6 – 24)
K. Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, düşük kil fraksiyonu (yumuşamayan)	5.0	(-)
L. Kalın sürekli kil zonları veya bantları (Kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız).	10-13 veya 13-20	(6 – 24)

5. EKLEM SU AZALTMA FAKTÖRÜ	**(J_w)**	**Yaklaşık su basıncı (kgf/cm²)**
A. Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	1.0	< 1
B. Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yer eklemlerdeki dolguların yıkanması	0.66	1 – 2.5
C. Dolgusuz, eklemli, dayanımlı kayada büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç	0.5	2.5 – 10
D. Büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç, eklem dolgularının aşırı derecede yıkanması	0.33	2.5 – 10
E. Patlatmadan sın derece aşırı su gelişi veya su basıncı, zamanla azalan	0.2-0.1	10
F.Zamanla azalmaksızın devam eden son derece aşırı su gelişi veya su basıncı	0.1-0.05	> 10
Not: (7) C ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Drenaj ölçümleri yapılırsa J_w arttırılır.		
(8) Buz oluşumundan kaynaklanan özel problemler dikkate alınmamıştır.		

6. GERİLİM AZALTMA FAKTÖRÜ **(a) Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlesinin gevşemesine neden olabilirler:**	**(SRF)**
A. Kil veya kimyasal olarak ayrışmış içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	10
B. Kil veya kimyasal olarak ayrışmış içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği < 50 m)	5
C. Kil veya kimyasal olarak ayrışmış içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği > 50 m)	2.5
D. Kil içermeyen dayanımlı kayaçta birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı herhangi bir derinlikte)	7.5
E. Kil içermeyen dayanımlı kayaçta birden fazla makaslama zonu, (kazı derinliği < 50 m)	5.0
F. Kil içermeyen dayanımlı kayaçta birden fazla makaslama zonu, (kazı derinliği > 50 m)	2.5
G. Gevşek ve açık eklemler, fazla eklemli, küp şekeri görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5.0

Not: (9) Kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor, ancak kesmiyorsa, SRF için yukarıda verilen değerler %25 – 50 dolaylarında azaltılmaktadır.			
(b) Dayanımlı kaya, kaya gerilimi sorunları:	σ_c/σ_t	σ_t/σ_1	**(SRF)**
H. Düşük gerilim, yüzeye yakın	>200	>13	2.5
I. Orta derecede gerilim	200-10	13-0.66	1.0
J. Yüksek gerilim, çok sıkı yapı (genellikle duraylı, yan duvar duraylılığı açısından uygun olmayabilir	10-5	0.66-0.33	0.5-2
K. Hafif kaya patlaması (masif kaya)	5-25	0.33-0.16	5-10
L. Aşırı kaya patlaması (masif kaya)	<2.5	>0.16	10-20

Not: (10) Oldukça anizotrop bakır bir gerilim alanı için ölçülebilirse: $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ olduğunda σ_c ve σ_t; 0.8 σ_c ve 0.8 σ_t düşürülür. Burada; σ_c tek eksenli sıkışma dayanımı ve σ_t çekilme dayanımı ve σ_1 ve σ_3 de en büyük ve en küçük asal gerilimlerdir.

(11) Yüzeyin altındaki taç kısmının (crown) derinliğinin açıklığın genişliğinden daha az olduğu yerlere ait bazı tamamlanmış proje kayıtları mevcuttur. Bu tip durumlarda SRF'nin 2.5'tan 5'e çıkarılması önerilir.

(c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayaçta plastik akma	
M. Az sıkıştıran kaya basıncı	5-10
N. Aşırı sıkıştıran kaya basıncı	
(d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi	
O. Düşük kaya basıncı	10-20
P. Aşırı kaya basıncı	10-15

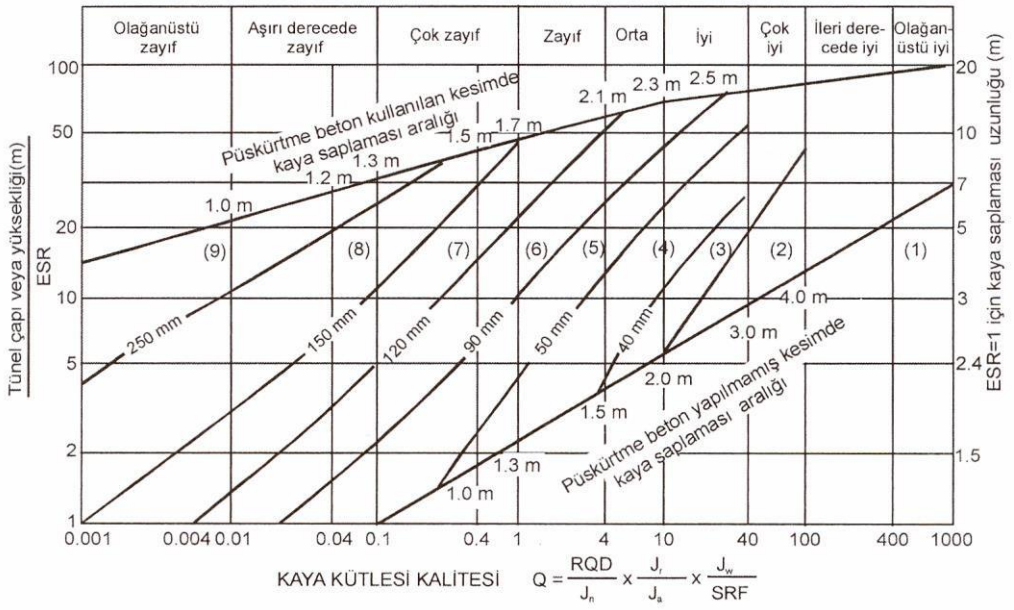
Yukarıda sunulan bilgiler ve değişkenler ışığında öncelikle 'Kaya Kütle Kalitesi' (Q) hesap edilir. Bu da aşağıdaki eşitlikle belirlenir.

$$\text{Kaya Kütle Kalitesi } Q = \left(\frac{RQD}{J_N}\right) \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right) \times \left(\frac{J_w}{SRF}\right)$$

J_v, bir metre küp kayadaki eklem sayısı; J_n, bir metre küp kayadaki eklem takımı sayısı; J_r/J_a, yenilmenin başlamasına yol açan yüzeyle ilgilidir. J_w, yaklaşık su basıncı gözetilerek hesaplanan bir değerdir. SRF, Gerilim azaltma faktörüdür.

Q sınıflama sisteminde Q indeksine ek olarak 'Eşdeğer Boyut' (D_e) değerinden de yararlanılmaktadır. Bu değişken; yani D_e = En, çap ya da yükseklik (m)/ (ESR) yani ***Kazı destek oranı'*** dan hesap edilir. ESR bir tür güvenlik katsayısı olup yeraltı kazısının türüne (yani kısa ve uzun süreli olmasına) göre belirlenir. Q ve D_e birlikte değerlendirilerek öncelikle tüneller için destek gerekip gerekmediği ortaya konulur. Öte yandan Q, D_e ve ESR=1 için kaya saplaması uzunluğu (m) değerlendirilerek Q sistemi çerçevesinde destek türü de belirlenir (Şekil, 21).

Daha sonra kaya bulonu (saplaması) ve ankraj boyutları hesaplanır. Tünelin tavanında kullanılan bulonların uzunluğu genellikle kazının enine, duvarlarda kullanılan bulonların uzunluğu ise kazının boyuna bağlıdır.



Şekil 21. Q sistemi çerçevesinde kısmen değiştirilmiş tünel destek türü abağı (Grimstad ve Barton, 1993; Ulusay, 2001'den).

ÜLKEMİZDEN ÖRNEKLER VE BAZI SONUÇLAR

Geçmişte olduğu gibi, son yıllarda da ülkemizde tünelcilik alanında teknik açısından önemli çalışmalar yapılmıştır. Geçmişi ve günümüzü bir arada değerlendirmekte yarar vardır. 1930'lu yıllarda yapılan Güllübağ Boğazı Tüneli unutulmaz. Ayrıca, son yıllarda yapılan Avrasya Tüneli ve Ilgaz Tüneli' ne dair bazı ayrıntılara yer vermekte de yarar vardır.

Güllübağ Boğazı Tüneli

Tüneller kimi zaman zorunlu olarak yapımına karar verilen kimi zaman ise yaşamı ve ekonomik açıdan kolaylıklar sağladaığından yapımına başvurulan yapılardır. Ülkemiz için getirisi ve götürüsü iyi hesaplanarak her şey, başlıbaşına bir değer ifade eder. İşte böylesi bir anlayışla Sivas Erzurum demiryolunun Kemah yöresinde, Munzur dağlarını delerek yapılan Güllübağ Boğazı tünellerinin bazıları Şekil 22'de görülmektedir.

Şekil 22. Sivas- Erzurum demiryolunun Kemah yöresinde yer alan Güllübağ Boğazı Tüneli

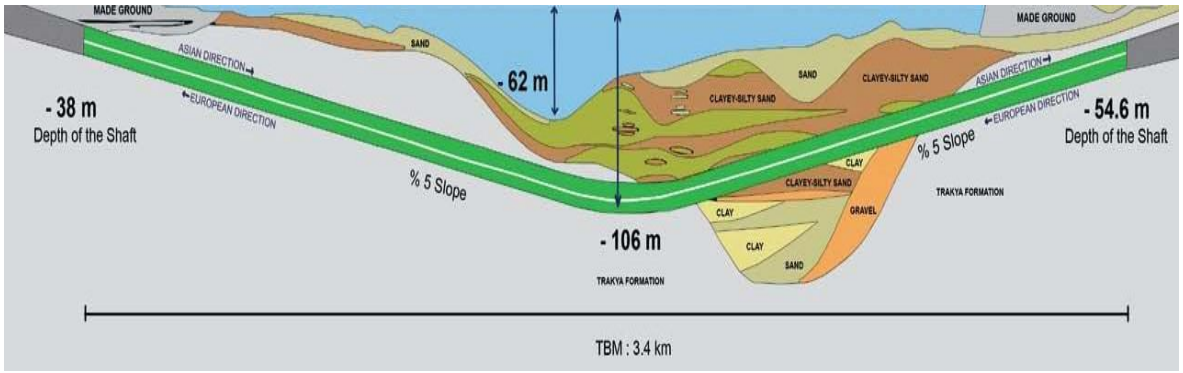
Aynı güzegahta, 138 tünel daha yapılmıştır. Proje herkese açık ihale ile 52,1 milyon liraya Simeryol adlı Nuri Demirağ'in şirketine verilmiştir. Demiryolu inşaatında kullanılan malzemeler, büyük bir özveri ile nehir üzerinde "kelek" denilen sallarla taşınmıştır. Demiryolu inşaatına 4 Eylül 1933 de başlanmış, 14 Ekim 1939 da bitirilmiştir. Demiryolu, günümüzde, de kullanılmaktadır. Böylesi bir eserde emeği geçen tüm çalışanlara saygı duymamak mümkün değildir.

Avrasya Tüneli

Ülkemizin yüz akı projelerinden biri de Avrasya Tüneli'dir. Avrasya tünelinin temeli 2011 yılında atıldı. 2016 yılında açılan Avrasya Tüneli, İstanbul Avrupa yakasında Kumkapı'dan, Anadolu yakasında Harem ile Karacaahmet arasındaki bir nokta arasında E5 ile bağlantılı olarak inşa edildi. Avrasya Tünelinin tünel delme ve kazma işlemi Anadolu Yakasında Harem'deki şantiyeden başladı. Avrasya Tüneli' nin maliyeti yaklaşık 1 milyar Dolar'ı aştı. Avrasya Tüneli' nin birinci ve ikinci bölümü Anadolu ve Avrupa yakalarındaki karada yapılan tünel ve yollardan, üçüncü bölümü ise Boğaz geçişi tünelinden oluşmaktadır (http://www.emlakfocus.com/).

Anadolu yakasında Göztepe'de Ankara-İstanbul Devlet Karayolu'na ulaşan mevcut D-100 yolunun köprülü kavşak, üst geçit ve yaya köprülerinin engellilerin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde yapılandırma dâhil olmak üzere, yaklaşık 3,8 km boyunca genişletilerek 2×3 ve 2×4 şeritten 2×4 ve 2×5 şeride çıkarılarak inşa edildi.

Avrupa yakasında ise Kazlıçeşme' den Sarayburnu'na devam eden Kennedy Caddesi üzerinde U-dönüşünün alt geçit olarak ve engellilerin erişimine uygun yaya köprüsünün de üst geçit olarak inşa edilmiştir. Toplam uzunluğu yaklaşık 5,4 km olan mevcut yolu içeren kısmın tamamının genişletilerek 2×3 ve 3×2 şeritten 2×4 şeride çıkarıldı. Bu tünelin 3,4 km'si TBM (Tunnel Boring Machine, ya da Türkçesiyle Tünel Açma Makinesi olarak adlandırılan ve mega projelerde kullanılan bir tünel açma makinesi) ile kazılmıştır. Tünelin planlama evresinde hazırlanan enine kesiti ve konumu Şekil 23'de görülmektedir.



Şekil 23. Avrasya Tüneli' nin enine kesiti ve konumu (Yazgaç, 2016).

Avrasya Tüneli inşaatında deniz seviyesinin 106 metre altına kadar inilmiştir. Avrasya tüneli, deniz dibindeki toprağa en fazla 26 metre yaklaşmaktadır. Avrupa yakasından Avrasya Tünel'ine giren bir araç yüzde 5'lik bir eğimle aşağı doğru inerek maksimum denizin 106 metre altına kadar indikten sonra boğazın tam ortasından Anadolu yakasına kadar yine yüzde 5'lik bir eğimle yokuş yukarı çıkmaya başlayarak Harem'e ve oradan da karadaki tünelle Karacaahmet'e E5'e çıkmaktadır. Böylece Göztepe'den Kazlıçeşme arası otomobille 15 dakikaya inmektedir. Avrasya Tüneli'nin yerleşim birimleri ve ek yollarla olan bağlantıları Şekil 24'de; yapay görünümleri ise Şekil 25 ve 26'da görülmektedir.

Şekil 24. Avrasya Tüneli' nin yerleşim birimleri ve ek yollarla olan bağlantıları (http://www.emlakfocus.com/).

Şekil 25. Avrasya Tüneli' nin yapay görünümü (http://www.turkishtradenews.com/).

Şekil 26. Avrasya Tüneli' nin tasarımına dair yapay bir görüntü (http://www.turkishtradenews.com/).

Asya ve Avrupa kıtalarını ilk kez deniz tabanı altından geçen bir karayolu tüneliyle bağlayan ve 20 Aralık 2016 'da hizmete açılan Avrasya Tüneli ile ülkemiz açısından tünelcilik alanında yeni bir dönem başlamıştır. Avrasya Tüneli iki katlı olarak inşa edildi. Her bir katta 2 şeritli yol bulunur. Bu katların her biri yalnızca tek yönde trafik akışına izin verir (Şekil 27). Üst kat Anadolu yakasına giderken, alt kat Avrupa Yakasına gider. Tünelin her bir noktası sürekli kameralarla izlenebilir. Ayrıca havalandırma da sürekli sağlanmaktadır.

Şekil 27. Avrasya Tüneli' nin iç yapısı (http://www.ntv.com.tr/).

Avrasya Tüneli ile Marmaray'ın karşılaştırılmasında da bu yapıların teknik özellikleri açısından yarar vardır. Marmaray, içinden demir yolu geçen bir tüp geçittir. Avrasya Tüneli ise yerin altından metro gibi bir tüneldir. Dolayısıyla, İstanbul Boğazının altından geçen bu iki bağlantı teknik olarak aynı değildirler. Marmaray'da boğazın altından geçen tünel, birbirine eklenmiş tüplerle inşa edildi. Her ne kadar boğazın tabanında kazılan toprağa batırılmış ve üzerlerine toprak örtülmüş olsa da sonuç olarak Marmaray, denizin içindedir. Avrasya Tünelinde ise denizle herhangi bir temas yok. Avrasya Tüneli, deniz seviyesinin 106 metre altına kadar inmekte ve deniz tabanına an fazla 26 metre yaklaşmaktadır (http://www.emlakfocus.com/).

Ilgaz Tüneli

Kış aylarında sürücülerin zor anlar yaşamasına sebep olan Ilgaz Dağı'na inşa edilen "Ilgaz 15 Temmuz İstiklal Tüneli" 2016' da hizmete girdi. İç Anadolu'yu Batı Karadeniz'e bağlayacak tünel için 2012'de ilk kazma vuruldu. Giriş ve çıkışları "köpek balığı ağzı" şeklinde projelendirilen (Şekil 28), biri 5 bin 370, diğeri ise 5 bin 391 metrelik iki tüpten oluşan tünelle, özellikle kış aylarında trafik kazalarıyla gündeme gelen Ilgaz Dağı'nda ulaşımın daha hızlı ve güvenli sağlanması amaçlanmıştır.

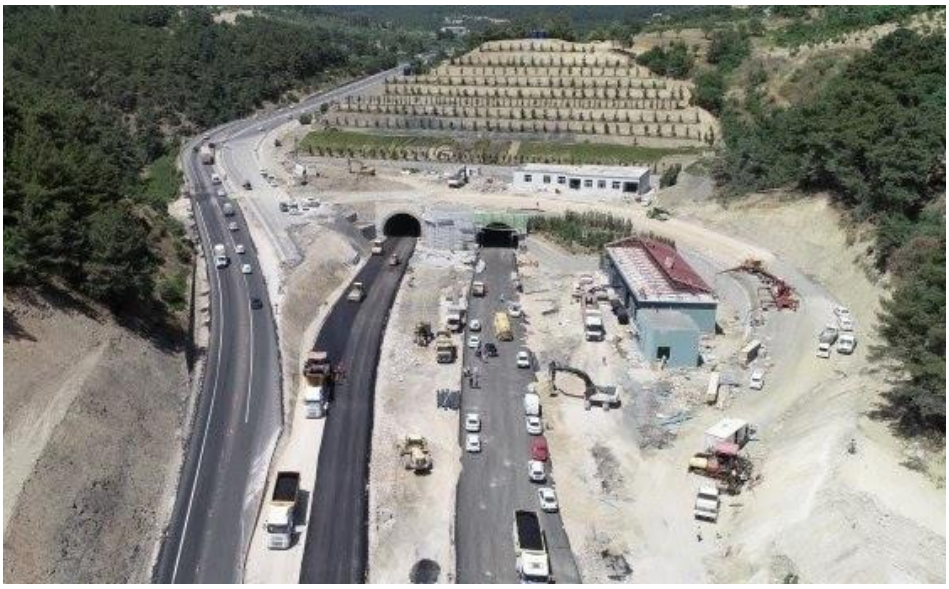
Tünel açıldıktan sonra 16,8 kilometre olan Ilgaz Dağı yolunun uzunluğu 5,4 kilometre kısalarak, 11,4 kilometreye inecek. Yolda herhangi bir sıkıntı olmadığında yaklaşık 40 dakikada aşılan Ilgaz Dağı yolunu geçiş süresi, 5 dakikaya düşecek. Projesi hazırlanmış tüneller arasında 3. sırada olan tünel, kullanılmaya başlandığında, "trafiğe açık en uzun tünel" unvanını alacak.

Tünelle ortalama seyahat süresinde yıllık 345 bin 655 saat, akaryakıt tüketiminde de 8 milyon 300 bin litre tasarruf sağlanması bekleniyor. Getirileri sadece bunlarla sınırlı kalmayan tünelin ekonomiye katkısının ise 38 milyon 200 bin lira olacağı tahmin ediliyor (http://www.sondakika.com/).

Şekil 28. Ilgaz Tüneli'nin girişi (http://www.sondakika.com/).

Tünelle, ortalama seyahat süresinde yıllık 345 bin saat, akaryakıt tüketiminde de 8 milyon 300 bin litre tasarruf sağlanması bekleniyor. Getirileri sadece bunlarla sınırlı kalmayan tünelin ekonomiye katkısının 38 milyon 200 bin lira olacağı tahmin ediliyor. Bölgedeki sanayi kuruluşlarına da katkı sağlayacak tünel, özellikle İç Anadolu Bölgesi'ndeki fabrikaların ürünlerini Karadeniz'e ulaştırmasını, İnebolu Limanı'na getirilen ürünlerin de iç bölgelere daha kolay taşınmasını sağlayacak.

Ayrıca, İzmir- Manisa arasında yapımı tamamlanan "Sabuncubeli Tüneli" 2018'de hizmete girdi (Şekil 29). Ancak, tünelin yapım süreci ve maliyetleri konusunda, halkımızın gerçekleri öğrenmesi için TMMOB Jeoloji mühendisleri Odası tarafından 14 Haziran 2018 tarihinde basın açıklanması yapıldı.



Şekil 29. 2018'de hizmete açılan Sabuncubeli Tüneli'nin girişi (TMMOB Jeoloji mühendisleri Odası, 2018).

Yapılan açıklamada: 'Proje yapım süresi 3 yıl olarak belirlendi. 8 yılda ancak bitirebildi. Proje keşif bedeli; 150 milyon Türk Lirası öngörüldü. 2018 yılı itibari ile gerçekleşen maliyet 500 milyon Türk Lirası. Proje kamu kaynakları ile öngörülen maliyetlerinin üç katından daha fazla bir maliyetle bitirilebildi.

Bunun başlıca nedenleri: Tünel güzergahında yeterli mühendislik hizmetlerini içeren etüt ve proje çalışması "jeolojik-jeoteknik etütler" yapılmadan; güzergâh boyunca karşılaşılacak olası zemin problemlerine karşı çözüm senaryoları üretilmeden başlandı. Eksik ve yetersiz yapılan araştırmalar, yanlış tünel güzergâhı seçilmesine neden olmuş ve sorunlu bir proje ortaya çıkmıştır.
Örneğin, tünel güzergâhı yer seçimi için, yeterli jeolojik-jeoteknik inceleme yapılmamasından dolayı, tünelin Manisa çıkışı; eski heyelan bölgesi alanında planlanmış bu sebeple de yapılan hazırlık kazıları sırasında kaymalar oluşmuştur.
Tünel güzergâhında, ilerleme sırasında gerçekte karşılaşılan jeolojik birimlerin özelliklerinin; eksik ve yetersiz ön çalışmalarla ortaya konulan jeolojik birimlerin özelliklerinden çok daha farklı olması sebebi ile tünel kazı maliyetlerinin aşırı derecede artmasına, imalat süresinin ise çok uzamasına neden olmuştur.
Tünel kazı destekleme çalışmaları sırasında karşılaşılan ve yeraltı suyu taşıyan kum-çakıl mercekleri, tünel kazı maliyetlerinin artmasına, imalat süresinin ise uzamasına sebep olmuştur. Yüklenici firma; tünel kazı hızı artırıp maliyetleri düşürmek için imalat kalitesinden taviz vermek yolunu seçince de tünellerde deformasyonlar hızla artmış, yer yer göçükler meydana gelmiştir. Deformasyonların durdurulması için ciddi zaman ve kaynak(para) harcanmak zorunda kalınmıştır.

İlk hazırlanan etüt ve projelerin yetersiz kalması nedeniyle, yeniden projelendirme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Yaklaşık 4 yıllık bir zaman kaybı ve ciddi ek maliyetler harcanarak işe yeniden başlanmıştır. ***Yap-İşlet-Devret Modeli*** ile ihale edilen işin "hele bir başlayalım mantığı" ile eksik ve yetersiz hazırlanan etüt ve projeleri sonucu, yüklenicisi de iflas edip işi tamamlayamamış, yeni bir yüklenici ile kamu kaynakları ile programlanan proje 2018 yılında ancak bitirilmiştir.

Sonuç olarak bilimden uzak "ben yaptım oldu" mantığı ile hesapsız, anlık kararlarla yapılan her projede olduğu gibi maliyetler üç katına çıktı, halkın vergileri boşa harcandı. Yine birileri zengin edildi!
Ülkemizin ve halkın mevcut ekonomik koşulları göz önüne alındığında; bilimden uzak, popülist politikalarla hazırlanmış ve yandaş firmalara rant aktarma amaçlı projelerin ülkeye getirdiği yükler ortadadır. Kamuoyuna saygıyla duyurulur. Alim MURATHAN, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir Şube Başkanı, 14 Haziran 2018'.

Aynı şekilde 2023'de gerçekleştirilen İstanbul hava limanı metrosunun projelendirilmesi de tartışmaya açık bir projedir. Kağıthane istasyonundan başlayıp İstanbul Havalimanı'na kadar uzanan metro, yani İstanbul hava-limanı metrosu, 34 km uzunluğunda ve 8 istasyonlu olup maliyeti 26 milyar lira olarak değerlendirilmiştir. https://www.hurriyet.com.tr/gundem/son-dakika-istanbul-havalimani-metrosu-aciliyor-cumhurbaskani-erdogandan-onemli-mesajlar-42208017 (Ocak 22, 2023 19:30).

Kent içinde metro zorunluluğu olabilir. Kent dışında metro işi ise bize özgüdür. Böylesi bir proje hava-ray sistemi ile gerçekleştirmek mümkündür. Oysa, metronun yer altında yapılmasının güçlükleri vardır. Örneğin, yer altında suyun varlığı nedeniyle korozyon riski yüksek, inşaatı çok pahalı, zamanla malzemelerin ömrü dolacağından yenileme gereksinimi olabilir.

Yukarıda farklı zamanlarda gerçekleştirilen projelere dair ayrıntılar yeterince açıklayıcıdır. Önemli olan, ancak kamu kaynakları ile ayakta kalabilen devletin, projeleri ne ölçüde kamu yararına gerçekleştirdiğidir. Halkımız, ulusal serveti böylesine hoyratça kullanan yönetimleri asla iyi bir şekilde anmayacaktır.

TÜNELLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Tünellerin çevresel etkilerini değerlendirmeden önce, ***Hollanda Roterdam Tüneli*** özelinde yaşanmış deneyimlere bakmakta yarar vardır:

1964 yılında Hollanda'nın Roterdam bölgesinde, hızlı geçiş için bir tünelin yapılmasına karar verildi. Roterdam, Hollanda'nın diğer bölgelerinde olduğu gibi tarıma uygun bir arazi olup, deniz düzeyinin de biraz altında bir konuma sahiptir. Şehrin yer aldığı bölgede 15-20 m kalınlığında iri taneli kumtaşı ve çakıltaşı olan bölümün altında birkaç m kalınlığında bir kil düzeyi yer almaktadır. Çakıl ve kumdan oluşan katman daha duraylı olup, çoğu binaların kolonları bu katmana kadar uzanır. Yöredeki su tablası oldukça yüksek olup, yüzeyden yaklaşık 2 m aşağıdadır. Böyle bir durum, YAS tablalarının yüzeye yakın olduğu durumlarda, tünel inşaatında önemli sorunlar yaratabilir. Tünelin açıldığı yere katılaşmamış killer enjekte edilerek duraylılık sağlamlaştırılmıştır. Diğer taraftan uygun bir şekilde akaçlama sağlanarak, YAS tablası düşürülüp başka tarafa aktarılmasına çalışılmıştır.

Ancak, kazı sırasında tünelde YAS taşkınları meydana gelmiştir. Kazının bittiği yerlerde önce beton kolonlar kum-çakıl düzeyine ulaşacak şekilde inşa edilmiş ve gerekli tahkimatın yapılmasına çalışılmıştır. Tünelde henüz ortamın kuru olduğu bir sırada inşa edilmiş ve bu evrede 10-15 m genişliğinde, 6-10 m derinliğinde ve 45-90 m uzunluğunda tüpler yerleştirilmiştir. Bu tüplerin etrafı suyu sızdırmayan gereçler kullanılarak izolasyon sağlanmıştır. Böylece, zamanla ilerleme kaydedilmiştir. Kazı malzemeleri uzaklaştırıldıkça tünelin tamamlanmasına çaba harcanmıştır. YAS etkilerinden korunmak için bu kil gereçlerinden de yararlanılmıştır.

Aslında, tünellerin yer seçimi ve hazırlık çalışmaları sırasında, önemli sayılabilir olumsuz çevresel etkiler yaşanmamaktadır. Ancak, bu çalışmalar sırasında da özellikle tünellerin giriş ve çıkış yerlerindeki ekosistemlerin etkilenebileceği ve yapılacak sondajlar sırasındaki etkiler göz ardı edilmemelidir.

Ancak, tünellerin açılması sırasında gerçekleştirilen inşaat çalışmaları ve daha sonraki işletme evresinde kimi olumlu, kimi olumsuz olan bazı önemli çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır.

Örneğin inşaat evresinde yapılan kazı ve patlatmaların çevresel etkileri, hava kirliliği, gürültü ve ortaya çıkan atıklar çeşitli yönleriyle denetlenmelidir. Hava kirliliği, TDM'larında kullanılan yakıtlar ve patlatmalar sırasında ortaya çıkan partikküller yönüyle ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla kullanılan yakıtların, kurşunsuz ve iyi kalitede olmasına ve olabildiğince enerjinin sorumluca kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Bu çalışmalar sırasında gürültü kirliliği de kaçınılmaz olarak ortaya çıkar. Gürültünün özellikle çalışanlar ve çevredeki fauna üzerinde olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır. Onun için, çalışmaların yoğun olduğu evrelerde, çalışanların kulaklık takması, makinaların bakımlarının düzenli yapılması için çaba harcanmalıdır.

Tünellerin açılması sırasında ortaya çıkan pasa da görüntü kirliliğine yol açmaktadır. Pasayı oluşturan malzeme tarım ya da inşaat için uygun ise değerlendirilmelidir. Kullanılmayacak bir pasanın ise ortada bırakılmaması ve inşaatı yapan yetkililerce ÇED yönetmeliği çerçevesinde uygun görülen bir alana koyulması gerekir.

Tünellerin işletme evresinde ise son derece olumlu çevresel etkilere tanık olunmaktadır. Örneğin, tüneller, yeraltında olmaları nedeniyle doğanın güzellikleri bozulmadan ulaşım sağlayan yapılardır. Ayrıca tüneller, yolların kısalması nedeniyle yakıt tasarrufu sağlamakta, dolayısıyla hava kirliliğinin de denetlenmesine katkıda bulunmaktadırlar. Yolların kısalması zaman kazanma açısından da katkı sağlamaktadır.

SONUÇ

Günümüzde tünellere dair bilim ve teknoloji ileri bir düzeydedir. Tüneller önemli mühendislik yapılarıdır. Bu konuda tünellere özgü özel bilgiye gereksinim vardır. Tünellerin planlama, inşaat ve işletme dönemleri bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Özellikle inşaatı döneminde, gereksinim duyulan tahkimatın hesap edilmesi, güvenlik ve diğer hususları birlikte ele almak gerekmektedir. Sistemin kümülatif çevresel etkiler dâhil tüm yönleri ile entegrasyonu yapılmalıdır. Özellikle tünellerin çevresel etkilerinin denetimindeki kolaylaştırıcı destekler sunulması ve bunun çevrenin korunmasına dair katkıları konularında özen gösterilmelidir.

KAYNAKLAR

Aral, F., 1992, Mühendislik Jeolojisi Ders Notları; C.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, 72 s.

Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mechanics, 6, 189-236.

Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classification. Mc Graw Hill, New York, 237s.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

Deere, D.U ve Deere, D.W., 1988, The Rock Quality Designation (RQD) index in practice, In Rock Classification Systems for Engineering Purposes, L. Kirlaldie (ed) ASTM Publication STP 984, Philadel phia, 91-101.

Erguvanlı, K., 1995, Mühendislik Jeolojisi; Dördüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, Cemal Nadir Sok. Akşam İş hanı, 13/1, 34410, Cağaloğlu, İstanbul, 590 s.

Grimstad, E. ve Barton, N., 1993, Updating the Q System for NMT. Proc.Int. Symp. On Sprayed Concrete Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, Kompen, Opsahl and Berg (eds). Vorwegian Concrete Assoc., Oslo.

Hoek, E. ve Brown, E.T., 1980, Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metellutgy, London, 527s.

http://www.emlakfocus.com/

http://www.ntv.com.tr/

http://www.sondakika.com/

http://www.turkishtradenews.com/

https://www.hurriyet.com.tr/gundem/son-dakika-istanbul-havalimani-metrosu-aciliyor-cumhurbaskani-erdogandan-onemli-mesajlar-42208017 (Güncelleme Tarihi: Ocak 22, 2023 19:30).

JMO, 2018, TMMOB Jeoloji mühendisleri Odası tarafından 14 Haziran 2018 tarihinde yapılan basın açıklanması, İzmir, 2 s.

Kolymbas, D., 2005, Tunneling and Tunnel Mechanics, Springer, Germany, 437s.

Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957, Principles of Engineering Geology and Geotechnics; Mc.Graw-Hill Comp. Inc., NewYork, USA, 730 s.

Öztürk, H. T. ve Durmuş, A. 2008, Tünellere toplu bir bakış ve savunma tünellerinin Türkiye için önemi: Dünya İnşaat, Yıl:24 ve Sayı: 2008/06, s.90-95.

Saveur, J. ve Grantz, W, 1997, Structural Design of Immersed Tunnels, Tunneling and Underground Space Technology, 12, 2, 93-109.

Ulusay, R.,2001, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları (Genişletilmiş 4. baskı), No. 38, Ankara, 385s.

URL, 2007, http://www.iinet.com/~englishriver/ Lewis Clark Columbia River/ Images/ Washington_hwy-14_tunnel_no4_2005.jpg. 20.11.2007.

URL, 2008, http://dna.typepad.com/photos/nz/manapouri_power_station.html, 03.01.2008.

Yazgaç, M., 2016, Tünel Delme Makinası (TDM) ile Tünelcilik. Jeoloji Mühendisleri Odası, 'Jeo-Emekli Söyleşiler' kapsamında 28 Aralık 2016 tarihinde yapılan sunum. Ankara.

Yavuz, E. ve Ersoy, N., 2005, Pipe Jacking Yöntemi ile açılan mikro tünel projelerinde jeodezik çalışmalar, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 133-140.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 107, Sivas, 379s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları no. 116, Sivas, 276s.

Bölüm 20. 5. TERMİK SANTRALLER

GENEL BİLGİLER

Enerji, en yalın tanımı ile iş yapabilme yeteneği olup, insan faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için gerekli olan önemli bir kaynaktır. Termik santraller, enerji söz konusu olduğunda, dünyada ve ülkemizde en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Ülkenin mevcut koşulları gözetilerek yapılan değerlendirmelerde, termik santrallerden enerji üretiminde yana olanlar olduğu gibi, tümüyle karşı olanlar da vardır. 'Yaşanmış deneyimlere göre, termik santrallerin çevresel etkileri bölgeseldir ve çevrenin toprak su, hava, gürültü, kültürel, sosyo ekonomik ve ekolojik gibi tüm bileşenleri etkilenmektedir. Dolayısıyla yer seçiminde gözetilmesi gereken faktörler, tesislerin etkileyeceği alanları belirlemeyi öngören bir anlayışa dayanmalıdır. Termik santrallerin etki alanı ise, en azından tesisin yer aldığı yerel su havzası ve yakın dolayındaki çevrenin mevcut durumu gözetilerek tanımlanmalıdır. Tesisin etkileyeceği alanın içinde 1. Sınıf tarım arazileri ya da yönetmeliklerde belirtilen ve korunması gereken diğer unsurlar varsa, çevresel açıdan da ***'Fayda/Maliyet'*** analizlerine dair durum değerlendirilmesi zorunludur (Tekin ve Yılmaz, 2019)'.

Bu bölümde, ***termik santraller, çeşitli yönleri ile*** ele alınacaktır. Termik santrallere dair uygulamalarda da yeterli bilgi sahibi olmadan bir ÇED' in hazırlanması her zaman verimsiz bir tartışma ortamı yaratacaktır. Ayrıca bu uygulamalarda tartışma konusu olan hususlar gözetildiğinde ÇED' in yeri ve önemi de açıkça görülmektedir. Dolayısıyla her uygulamanın tanımlanması, doğası, işleyişi ve çevresel etkilerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Böyle bir değerlendirme ÇED uygulamalarını daha ileriye taşıyacaktır.

2017 sonu itibariyle işletmelerdeki 35 adet linyit, taşkömürü ve asfaltit yakıtlı santralin kurulu gücü toplamı 10.000 MW dolayındadır. Üretim lisansı alınmış 5 yeni santral ile 2 ilave ünite yapım sürecindedir. Bu santraller oldukça eski olup düşük kapasite oranları ile çalışmaktadır (Aytaç, 2018).

Ayrıca çeşitli yönleri ile termik santrallere dair pek çok çalışma yapılmıştır (Avcı, 2005; Ocak ve diğerleri, 2013; Anar, 2017a ve b; Başaran, 2017; Tamzok, 2017). Sunulan çalışma ise, ağırlıklı olarak JMO'nun (2019) öncülüğünde gerçekleştirilen çalışmalardan ve aynı çalışmada yer alan Tekin ve Yılmaz'ın (2019) çalışmasından esinlenerek hazırlanmıştır.

Termik santrallerin yönetiminin planlanmasında gözetilmesi gereken başlıca evreler: Yer seçimi, termik santrallerin etkileyeceği alanın ve bu alanın mevcut durumunun tanımlanması evresi, Planlama ve hazırlık evresi (tesislerle birlikte, kullanılacak enerji türünün üretimi ve kullanılmasına değin tüm aşamalar dâhil), Tesislerin tasarımı, Tesislerin inşaat, işletme ve işletme sonrası (rehabilitasyon-iyileştirme) evrelerinde ortaya çıkması olası çevresel etkiler ve söz konusu etkilerin denetimi.

Kullanılan enerji türüne bağlı olmakla birlikte, uzun vadede, bu evrelerin her birinde, toprak, su, hava, gürültü, kültürel, sosyo-ekonomik ve ekolojik ortamlarda ortaya çıkması olası çevresel etkiler ortaya çıkar. Söz konusu etkilerin yansıyacağı alan jeolojik ortamdır. Dolayısıyla, bu etkilerin denetimi için ayrıntılı jeolojik bilgiye gereksinim vardır. Bunun için, tesislerin etkileyeceği alanın öncelikle jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerinin derlenmesi ve bu verilerin entegrasyonu gerekmektedir. Böylece, ortaya çıkması olası herhangi bir sorun ortaya çıktığında, bu sorunun çözümüne dair bilgi alt yapısı ve bu bilgi altyapısına dayalı eylem planları, daha önce oluşturulabilir. Bu çerçevede olası diğer teknik sorunlar ve yasal açıdan ortaya çıkan sorunlar (Uluslararası ve ulusal mevzuat açısından) ya da eğitimden kaynaklanan sorunlar da ele alınacaktır.

ÇED raporlarına yönelik eleştiriler, raporların içeriğine ve yazım biçimindeki eksiklikler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çoğu eleştirilerde, yazım biçimindeki eksiklikler, çevrenin konumuna ilişkin tanımların ya da kaynakların ve bazı bilgilerin yetersizliği ortaya koyulmaktadır. Ayrıca seçeneklerin etkilerini ve çevresel konumunu belirlemek üzere etkin görsel teknolojilerin az kullanılması, kimi karşılaştırmalı analizlerdeki yetersizlikler ve kimi rapor yazarlarının konulara önyargı ile yaklaşmaları da eleştiri konusu olmaktadır. Bu bölümde raporlara yönelik eleştirileri azaltmak üzere bazı uygulamaların

tanıtılmasına yer verilmiştir. ÇED uygulamalarına egemen olmak için söz konusu uygulamaların doğasını bilmek gerekmektedir.

Burada belirtilmesi gereken önemli bir konu da özelleştirilen santrallerin nasıl yönetildiğidir. Santralleri satın alan özel sektörün elli milyar dolardan fazla banka ve kredi borcu bulunmaktadır. Yeterli donanım ve elemanı bulunmayan özel sektör, bu santralleri verimli çalıştıramamaktadır. Darboğaza giren firmaları kurtarmak için elektrik zamları yapılmaktadır. Ancak bu firmalar kurtarılmak istenirken, ülke ekonomisi ve halk zarar görmektedir.

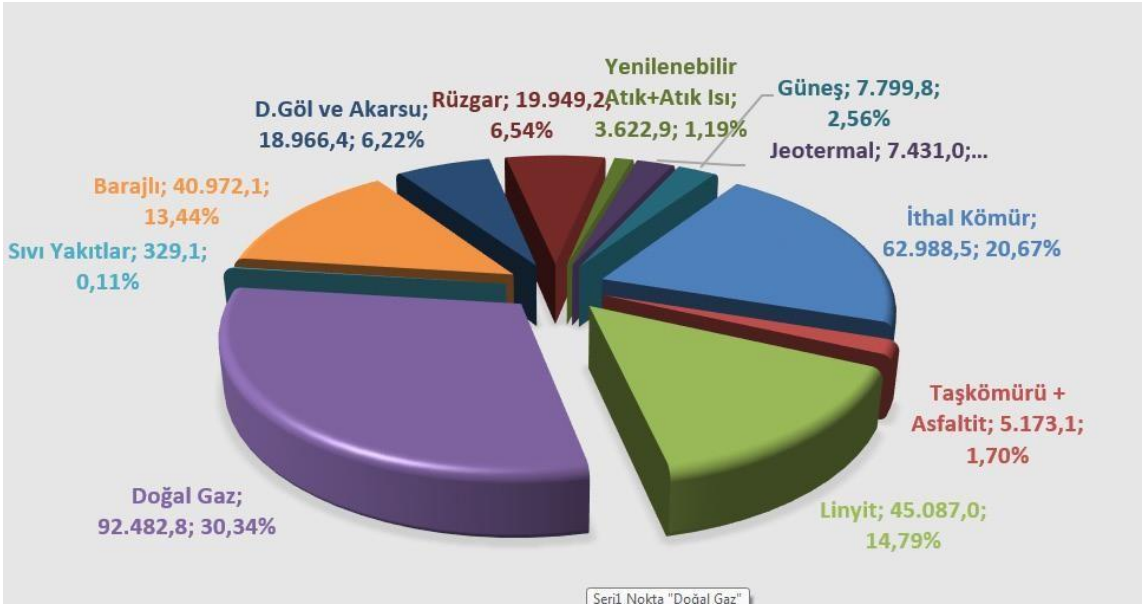
Ülkemizde öncelikle termik santrallere dair emisyon değerlerini dünya standartlarına getirmek gerekmektedir. Söz konusu standartlara uymak, halk sağlığı, ekosistem (hayvan ve bitki topluluğu) ve beşeri faaliyetler (tarım, ormancılık ve enerji planlaması gibi yaşamsal faaliyetler) açısından yaşamsal bir önem taşımaktadır.

TERMİK SANTRALLERİN HAMMADDE KAYNAKLARI

Termik santrallerde genel olarak kömür kullanılmakta ve elektrik üretiminin yaklaşık % 40'ı da kömürlerin termik santrallerde kullanılması ile elde edilmektedir. Böyle bir durumda, ***kömürün üretim süreçlerinde ortaya çıkması olası çevresel etkiler*** de göz ardı edilmemelidir. Üretim süreçleri derken, ***ocak işletmesi*** başta olmak üzere, kömürün kullanmak üzere hazırlanması ve zenginleştirilmesi gibi tüm evrelerin anlaşılması gerekir. Örneğin, kömürün lavyar tesislerinde ***yıkanması, briketleme, koklaştırma, gazlaştırma ve sıvılaştırma*** evrelerinde de çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Ayrıca, termik santrallerde özellikle kalorisi ve kalitesi düşük kömürün kullanılması ile kömürün bileşimindeki enerji elektrik enerjisine dönüşürken, başta hava kirliliği olmak üzere, çeşitli kirlilik türleri ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların önemli bir bölümü termik santrallerin işletme evresinde görülmektedir (Yılmaz, 2008a ve b). Dolayısıyla, işletme evresinde kullanılan yakıtın türü gözetilerek, ortaya çıkması olası çevresel sorunların bütünsel açıdan ele almakta yarar vardır.

Türkiye'de ise 2018 yılında kurulu güç içinde kömür santrallarının payı (asfaltit dâhil) % 21,49 düzeyindedir. Aynı yıl içinde toplam elektrik üretimi 304 801,9 MWh olarak gerçekleşmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere elektrik üretiminde kömürün payı, ithal kömür % 20,67, linyit % 14,79, taş kömürü+ asfaltit % 1,7 olmak üzere toplamda %37,16 olmuştur (TEİAŞ, 2018a). Bu arada, elektrik üretiminde ithal kömürün hızla artan payına da dikkat çekmek gerekmektedir (Dönmez ve Ercan, 2019)

.



Şekil 1. Türkiye 2018 *yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı* (TEİAŞ, 2018 a; (Dönmez ve Ercan, 2019'dan).

Öte yandan, TEİAŞ tarafından hazırlanan ve 2018-2022 dönemini ele alan Üretim Kapasite Projeksiyonu'nda, 2022 yılında toplam kurulu gücün 105 300 MW olacağı öngörülen, Senaryo 1'de linyit santrallarının 2017'de 9773 MW iken 2022'de 11 063 MW'a tahmin edilmektedir. Ayrıca, ithal kömür santrallarının 8 794 MW'tan 10 839 MW'a çıkacağı, taş kömürü+ asfaltit santrallarının 783 MW düzeyinde sabit kalacağı düşünülmektedir. Bu tahminlerde dikkate alınmayan 2 340 MW ithal kömür, 1819,5 MW yerli kömür santralinin da ön lisans almış olduğu belirtilmektedir (TEİAŞ, 2018 b).

Termik santrallerde ağırlıklı olarak kömürün kullanılması nedeniyle kömürün özelliklerine ve kömür türlerine kısaca değinmekte yarar görülmektedir. Kömürler siyahımsı renkte, gevrek, kırılgan, yanabilen, içerisinde organik maddeler dışında değişik özellikte inorganik maddeler de içeren organik bir çökel kayatürüdür. Genel sınıflandırmalarda yer alan önemli bazı kömürlerin tanıtıcı özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (ASTM, 1984).

LİNYİT	ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	ANTRASİT
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsi doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isı Değeri; 4.610 KCal/Kg'ın altında	Isı Değeri; 4.610-6.390 KCal/Kg arasında	Isı Değeri; 5.390-7.700 KCal/Kg arasında	Isı Değeri; 7.000 KCal/Kg'ın üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği Bitümlü kömürden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

Ayrıntıya girildiğine, kömürlerin fiziksel özelliklerinin yanı sıra, kimyasal, yansıma ve flüoresans özellikleri olduğu; ayrıca makroskobik, mikroskobik, organik ve inorganik bileşenleri olduğu unutulmamalıdır. Zaten, kömürün kullanılması dolayısıyla ortaya çıkan çevresel etkiler de söz konusu karmaşık yapının ürünüdür.

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü 'KOBİ'ler için İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Rehberi: Risk Değerlendirmesi, İSG Performans İzleme ve Sağlık Tehlikeleri MADEN SEKTÖRÜ: Kömür' hazırlanmıştır. Türkiye'de İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi Projesi (İSGİP) kapsamında hazırlanan bu rehber iyi uygulanırsa, iş sağlığı ve güvenliğinin iyileştirilmesinde sistemli bir yaklaşım sergilenebilir.

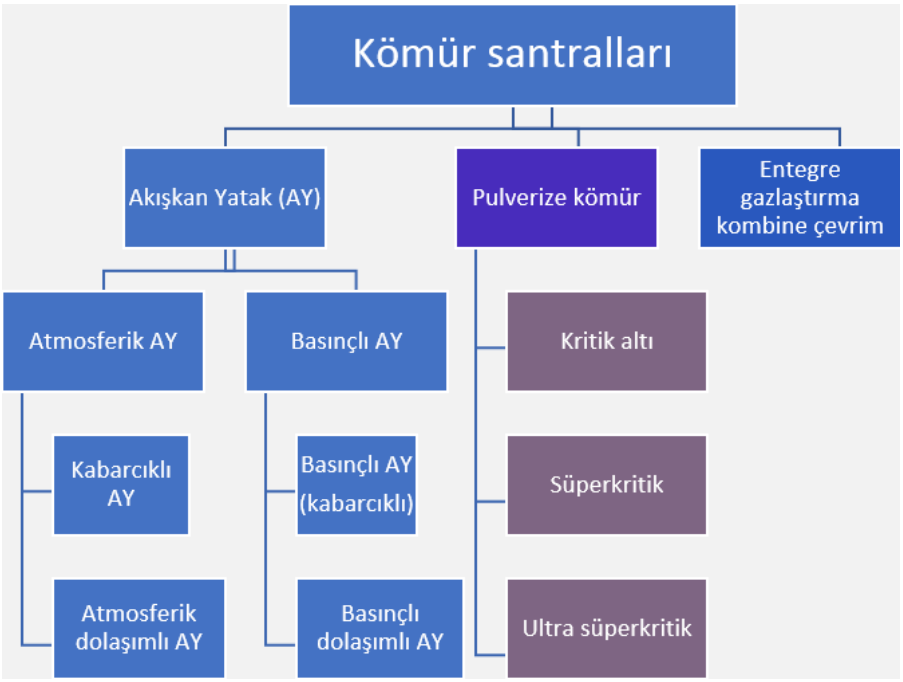
Rehberde sunulan 3T $RD^{kömür}$ yöntemi, risk değerlendirmesi ile ilgili adımların yürütülmesi için genel ve kapsamlı bir yol izlemektedir. Söz konusu yöntem, bir işyerinde bulunabilecek geniş yelpazede risk alanlarını kapsayan çeşitli modüllerden oluşmuştur. Ayrıca bunlara yeni maddeler ve yeni modüller eklemek de mümkündür. Dolayısıyla, konuya dair bu uygulamaların kâğıt üzerinde kalmaması gerekir. Her hali gözeterek, SOMA benzeri facialarn yaşanmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Kömürle çalışacak termik santrallere karar verildiğinde, yukarıda sunulan verilerin ve ayrıntıların yanı sıra, termik santrallerde kullanılacak kömürün ya da yakıtın türü de gözetilerek, tesislerin yapımı, işleyişi ve hammaddelerin üretim süreçlerinde ortaya çıkması olası çevresel etkileri kümülatif olarak değerlendirme yapılmalıdır.

TERMİK SANTRALLERE DAİR TEKNOLOJİLER

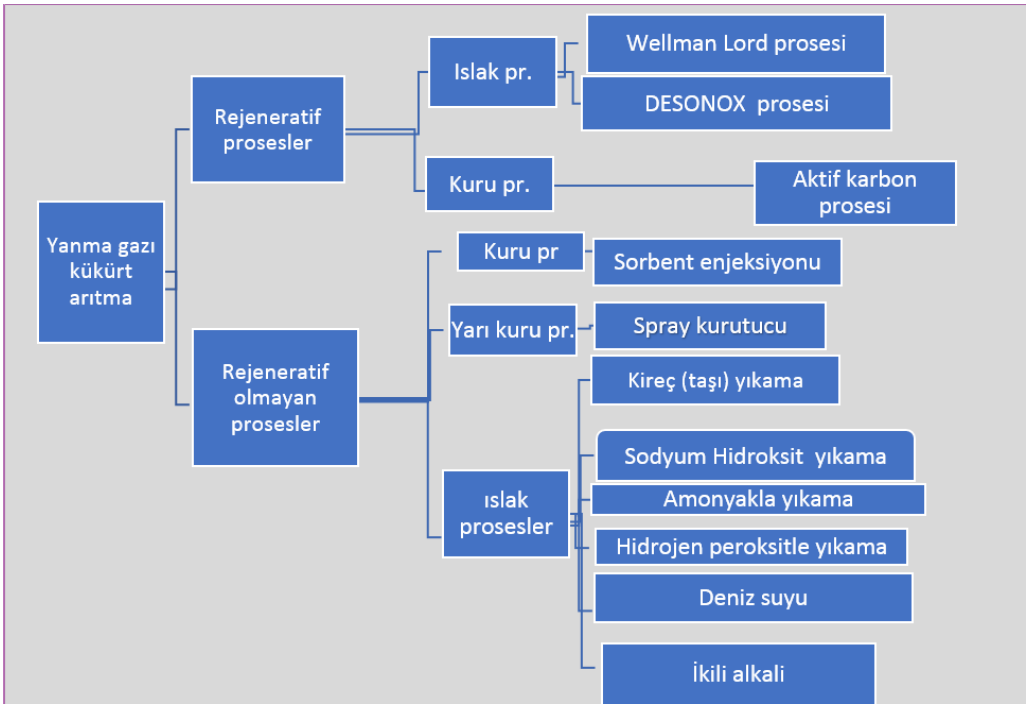
Termik santrallere dair teknoloji son derece kapsamlı ve doğrudan makine mühendislerinin ilgi alanı içindedir. MMO'nın (2017) ülkemizde yaşanan sorunlarla birlikte teknolojideki gelişmeleri de irdeleyen ve kamu yararını önceleyen çalışmaları kayda değer düzeydedir. Aslında termik santralleri kullanılan yakıt türlerine göre tasnif etmek mümkündür. Örneğin, kömürün yanı sıra petrol, doğal gaz ve biyogazın kullanılabileceği santraller mevcuttur. Öte yandan, entegre teknolojilerde giderek gelişmektedir. Teknolojideki gelişmelerin temel amacı, verimli ve çevrenin korunmasını esas alan çözümler üretmektir.

Kömürün kullanıldığı santraller daha yaygındır. Dolayısıyla kömür santrallerinin tasnifi ve işleyişi üzerinde daha çok durulacaktır. Kömür santrallarında kullanılan teknolojiler toplu olarak Şekil 2'de görülmektedir (Rennings, ve Smidt, 2010). Bu teknolojilerin temel özellikleri Dönmez ve Ercan (2019) tarafından sunulmuştur.



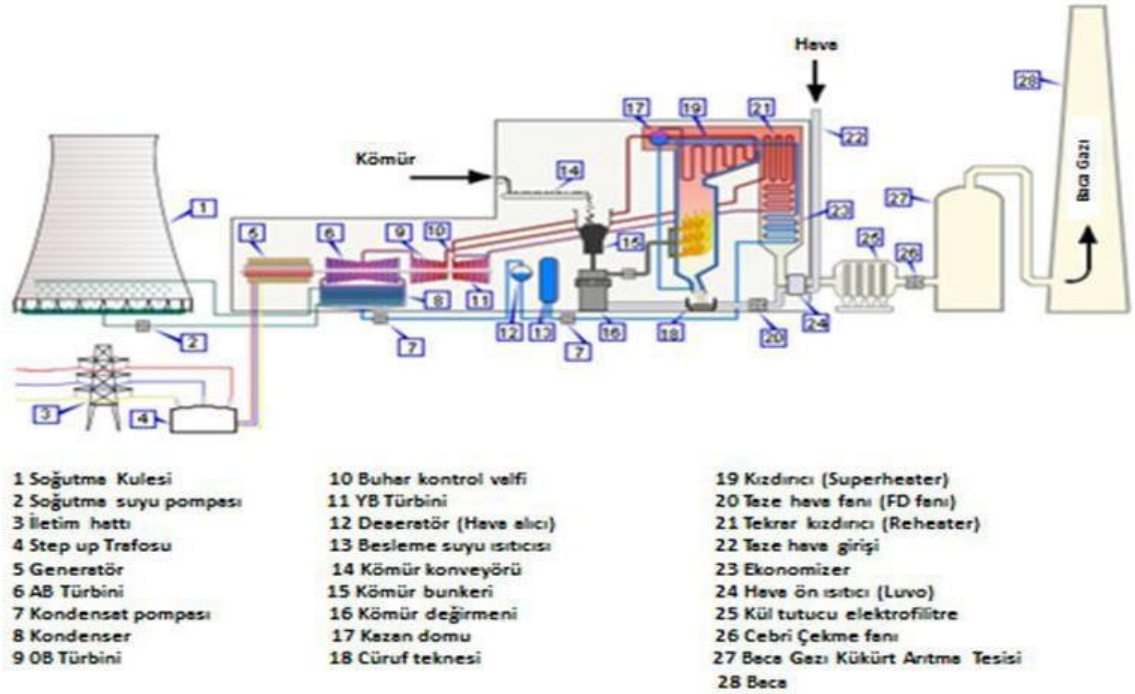
Şekil 2. Kömür santrallarında kullanılan teknolojiler (Rennings, ve Smidt, 2010; Dönmez ve Ercan, 2019'den).

Örneğin, kükürt emisyonlarını denetlemek için kullanılan teknolojilerde (Dönmez ve Ercan, 2019) yanma sırasında yakıttaki kükürt oksijenle reaksiyona girerek kükürt dioksit (SO_2) oluşturmakta, bunun yanı sıra bir miktar SO_3 de meydana gelmektedir. Kükürt oksitlerin çevre ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için yanma sonrasında SO_2'yi tutmak amacıyla ticari ölçekte kullanılan kükürt arıtma (Baca Gazı Desülfürizasyon-BGD) prosesleri Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Kükürt Arıtma Prosesleri (BREF, 2017; Dönmez ve Ercan, 2019'dan).

Ülkemizde kömürün kullanıldığı tesisler yaygındır. Dolayısıyla bu tesisleri yakından tanımakta da yarar vardır, Şekil 4'de bir kömürlü santralinin temel elemanları görülmektedir.



Şekil 4. Bir kömürlü santralın elemanları (Başaran, 2013; Başaran, 2019'dan).

Türkiye'deki kömür santrallarının çoğunluğu, düşük kalorifik değere sahip linyite dayalı olduklarından, kömür yatağının hemen yakınında kurulmuşlardır. Bu alanda, öncelikle ham kömür kırıcılardan geçirilir ve kömür stok sahasına getirilir. Kömür, stok sahasından park makinalarıyla alınır ve ünite bunkerlerine götürülür. Kazan altı teknesinden alınan cüruf ve elektrofilitrede tutulan kül, aynı konveyör bandına dökülerek ya kömürün çıkarıldığı alana ya da ayrı olarak inşa edilen kül barajlarına dökülür. Kül ve cürufu doğrudan suyla taşındığı hidrolik sistemlerde vardır (Başaran, 2019).

Yukarıda sunulan bilgiler, günümüzde çok sayıda teknolojinin kullanıldığı söylenebilir. Ayrıca, kömür santrallerinde ortaya çıkan atıkların bertarafına dair teknolojiler de vardır. Bunun için öncelikle atıklar sınıflandırılmalıdır. Genel olarak, söz konusu atıkların katı, sıvı ve gaz halinde yapılan sınıflaması değerlendirilmektedir.

Katı Atıklar

Santralın katı atıkları, başlıca kül, cüruf ve alçıdır. Bazı santrallerin küül ve cürufu uygun bileşimde olması halinde, çimento ve inşaat sektörüne değerlendirilebilir. Aksi halde, kül ve cüruf atma sistemleri devreye alınmalıdır. Bu sistemler, üçe ayrılabilir:

- Islak sistemler: Burada kül ve cürufu soğutmak ve taşımak için su kullanılmaktadır,
- Yarı kuru sistemler,
- Kuru sistemler.

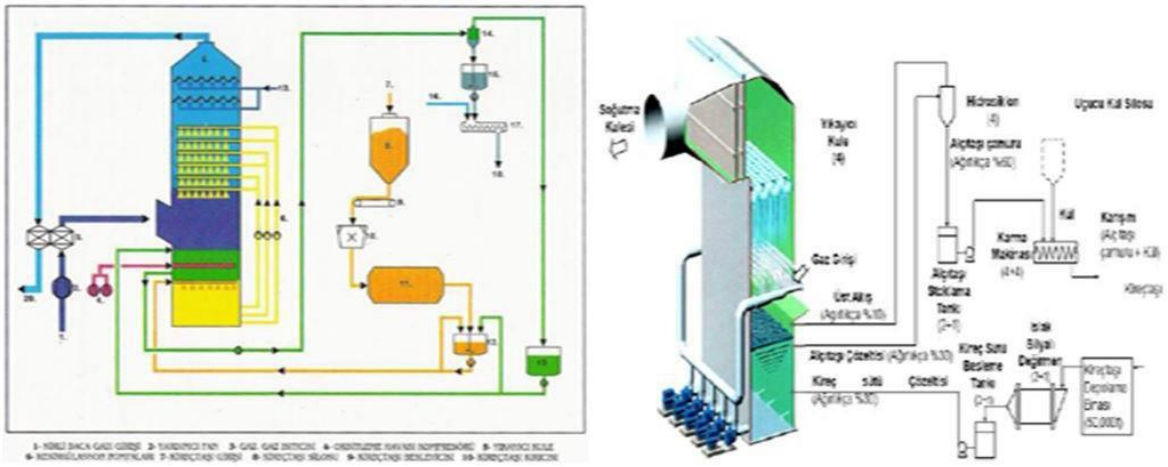
Kül ve cüruf ya kömürün çıkarıldığı sahalara ya da kül barajlarına taşınır. Planlanan düzeylere gelince, katı atıkların üzerlerine önce dekapaj toprağı, sonra bitkisel toprak örtülür ve alan ağaçlandırılır. Alçı ise, önce piyasada satış olanağı olup olmadığı değerlendirilir, bu olanak yoksa, alçı da kül ve cürufla birlikte önceden hazırlanmış sahalara dökülür.

Sıvı Atıklar

Santralların sıvı atıkları genel olarak üçe ayrılır. Su tasfiye tesisi atıkları, kül suyu ve evsel atıklardır. Su tasfiye tesisi sıvı atıkları nötralizasyon tesislerinden geçirildikten kül suyu sistemine verilir. Kül suyunda ise havuzlarda kül çökeltilir ve üstte kalan su genelde kül suyu sisteminde kullanılır. Evsel atıklar ise arıtıldıktan sonra bahçe sulamasında kullanılır.

Gaz Atıklar

Baca gazlarından kükürtdioksiti (SO_2) ayıran tesislere ***Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisleri (BGD)*** (DeSOx) ve baca gazından azotoksitleri (NO_x) ayıran tesislere ***Baca Gazı Azot oksit Arıtma Tesisleri*** (DeNOx) adı verilir. Yatağan ve Afşin Elbistan B Santrallerinin Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisleri'nin genel yapısı Şekil 5'de görülmektedir. Yeni santrallar $DeSO_x$ ve $DeNO_x$ sistemleriyle birlikte kurulmaktadır, ancak hala bu tesisleri olmayan eski santrallar mevcuttur.



Şekil 5: Yatağan ve Afşin Elbistan B Santrallarının Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisleri (DEK TMK, 2010; Başaran, 2019'dan).

Diğer yakıt türlerine göre, çevre açısından daha çok sorunlu olan yerli kömürün özellikleri gözetilerek, teknoloji seçimi önemlidir. Özellikle, ***yeni kömür yakma teknolojileri***; bir yandan kömürün yanma verimini arttırmakta, bir başka deyişle birim enerji başına kullanılan kömür miktarı azalmakta, diğer yandan kömürün yanmasından kaynaklı çevresel etkileri en aza indirmektedir. Önceleri eski sub-kritik kazan tipi teknolojiler kullanılmıştır. Yeni santrallarda ise süper kritik ve ultra süper kritik kazan tipleri kullanılarak aynı enerji, % 4-5 daha az yakıt ile sağlanmaktadır. Bu

teknolojilerde buhar sıcaklığı ve basınç artmakta buna bağlı olarak da kazanda ve türbinde kullanılan malzemeler önem kazanmaktadır. Genel olarak; yüksek kalorili kömürler için pülverize kazan teknolojisi, düşük kalorili kömürler için ise akışkan yataklı kazan teknolojisi (Şekil 6) tercih edilmektedir (Salıcı, 2019). Yerli kömürün kullanılmasına uygun yeni nesil teknolojilere dair çabalar da devam etmektedir.

Şekil 6. EÜAŞ 2x160 MW Akışkan Yataklı 18 Mart Çan Santralı. Türkiye'nin ilk akışkan yataklı kazan teknolojisiyle yapılmış santralı. (Salıcı, 2019).

YER SEÇİMİ VE ETKİ ALANININ TANIMLANMASI

Çan'da kömürün üzerine kurulan, Yeniköy ve Kemerköy'de denize yakın turistik bölgelere kurulan santrallerin yer seçimleri ne kadar hatalı ise; bu günlerde de Çanakkale-Biga ve Amasra dolayında peş peşe kurulan termik santrallerin yer seçiminde de aynı hatalar yapılmıştır. Ülkemizde ihtiyaçtan fazla enerji üretimi ortada iken, bu furya devam etmemelidir.

Alpu'da ve Trakya'da kurulması düşünülen termik santralleri, uygun standartlara getirmek bir yana; henüz bu santrallerin jeolojik, teknolojik, çevresel ve üretim sorunları tam olarak çözülmemiştir. Kurulması düşünülen santrallerin yerleri, 1. Sınıf tarım arazileridir. Bu gibi yerlerin seçimi, uygun değildir. Santrallerin atık suyunun, seracılık amacıyla çiftçiye verilmesi gibi hayaller kurulmaktadır. Fakat bu hayallerin ötesinde, Slovenya gibi küçük bir ülke bile kendi yöntemleri ile ve kendi ürettiği teknoloji ile (long Whall), yeraltı işletmesinden çıkardığı kömürle çalışan santralin sıcak suyunu, çelik borularla taşıyarak kentin ısınma ihtiyacını karşıladığı bilinmektedir.

Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü gibi, geçmişte termik santrallerin yer seçiminde gereken özenin gösterilmediği görülmektedir. Oysa termik santrallerin yer seçimi iki açıdan son derece önemlidir:

Öncelikle gözetilmesi gereken önemli husus, tesisin çevresel etkilerinin kolaylıkla denetlenebileceği yerlerin seçimidir. Yer seçimi ve tesisin etki alanı iç içe konulardır. Dolayısıyla bunların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Tesisin etkileyebileceği alan, jeolojik açıdan yerel su havzasının sınırlarıdır. Dolayısıyla, tesisin bulunduğu yerel su havzasının, çevresel açıdan duyarlı ortamları etkilemeyecek mesafede ve denetlenebilir olması gerekmektedir.

Söz konusu duyarlı ortamlar, ÇED yönetmeliklerinde tanımlanmıştır. Bunların başında tarım alanları, duyarlı ekosistemler, çevresel açıdan korunmaya alınmış diğer doğal ve kültürel mirası temsil eden ortamlar gelmektedir. Tesisin bulunduğu alanın, doğa kaynaklı afetlerin etkileyebileceği alanlardan da uzak olması gerekmektedir. Dolayısıyla, tesisin kurulmasına karar verilen yerlerin de etki alanlarının jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve jeofizik etütlerinin kapsamlı olarak irdelenmesi ve bu çerçevede ortaya çıkması olası katı, sıvı ve gaz atıklarının yayılabileceği ve etkileyebileceği alanların tanımlanması zorunludur.

İkinci önemli husus, tesislerin ekonomisi ile ilgilidir. Örneğin, tesis için gerekli enerji ve su kaynaklarına ve yerleşim birimlerine yakınlığı önemlidir. Bu yakınlık, tesisin ekonomisini doğrudan etkiler. Ayrıca, enerji kaynağının türü ve kullanılan teknoloji de faaliyetin ekonomisini ve çevresel etkilerini belirler. Yasal açıdan da arazinin herhangi bir sorunla karşılaşılmayacak düzeyde olması beklenir.

Sonuç olarak, termik santrallerden doğacak çevre sorunlarını aşmak üzere, daha baştan itibaren, yani termik santrallerin yer seçiminden başlayarak, santralin planlama ve hazırlık evresi (kullanılacak enerji türünün üretim süreçleri dâhil), inşası, işletilmesi ve sökümü bir bütün olarak çevresel açıdan planlanmalıdır. Çevresel etki değerlendirme süreci kamuya açık, şeffaf, demokratik ve objektif olarak tamamlandıktan sonra, işletme evresi yaşama geçirilmelidir.

MEVCUT DURUMUN TANIMLANMASI

Türkiye'de, kurulu termik santralleri ve sorunlarına önce kömürle çalışan santrallerden başlamak gerekir. Çünkü yaklaşık 51 termik santralin 16 adedi 100 MW üzerinde olup, diğerleri küçük kapasiteli oto-prodüktör santrallerdir. Bir taş kömürü ve bir asfaltitle çalışan santralin dışındakiler, linyit kömürü ile işletilmektedir (Tamzok, 2017). Ülkemizde bazı termik santrallerde kullanılan kömürlerin özellikleri Çizelge 2'de görülmektedir. Söz konusu Çizelge irdelendiğinde, kullanılan kömürlerin kalori değerleri düşük olmasına karşın, nem, kül ve kükürt değerleri yüksektir. Böylesi kömürlerin çevresel etkileri de elbette yoğun olur.

Çizelge 2. Termik santrallerde kullanılan linyitlerin bazı özellikleri (Avcı, 2005).

		Çayırhan	**Orhaneli**	**Çan**	**Tunçbilek**	**Seyitömer ı**	**Soma**	**Afşin**	**Yatağan**	**Kangal**
Nem (%)	Minimum	21,71	21,29	18,21	10,65		12,62		14,81	49,83
	Maksimum	26,44	31,71	26,00	14,82		27,00		37,75	52,06
	Ortalama	24,08	24,69	19,43	13,26	32,98	17,70	50,00	30,25	50,63
Kül (%)	Minimum	25,36	14,46	16,00	39,08		30,00		18,54	19,04
	Maksimum	34,35	37,88	45,32	48,85		45,47		31,15	21,00
	Ortalama	29,66	27,55	31,50	45,27	31,18	36,17	20,00	27,66	20,15
Kükürt (%)	Minimum	2,79		0,50	1,46		0,93		1,90	2,69
	Maksimum	4,04		4,20	2,29		2,69		4,39	3,57
	Ortalama	3,42	2,04	2,39	2,0G	1,21	1,37	1,46	3,32	3,13
Alt Isı Değeri (Kcal/kg)	Minimum	2557	2134	2406	2021		1486		1434	1207
	Maksimum	2839	3412	3678	2657		3147		2890	1494
	Ortalama	2698	2719	2965	2265	1900	2383	1050	2105	1334

Son açıklanan rakamlara göre, 18-19 milyar ton linyit rezervi tespit edilmiş, yıllık üretimimiz 100 milyon tonu bulmuştur (Enerji Bakanlığı; 2019 rakamları). Bu rakamlar, 2016 yılında 70,2 milyon ton ile dünyada 5. sırada olduğumuzu göstermektedir. Ülkemizdeki bu potansiyel ile 20.000 MW üzerinde linyite dayalı bir termik santral kurulu güç yaratılacağı düşünülmektedir.

En büyük 45 termik santralden sadece 20' sinde desülfürizasyon tesisi vardır. Ancak var olan sistemler de bazen çalışmamaktadır. Santrallerin tamamında azotoksit (DeNox) giderme sistemi yoktur (Aytaç, 2018). Linyit rezervlerimiz genellikle Neojen havzalarında olup çoğunlukla üst Miyosen yaştadır (MTA, 2010). Sanayide çeşitli enerji kaynakları kullanılabilir. Hatta bir enerji formu başka bir enerji

formuna dönüştürülebilir. Termik santrallerde genel olarak kömür kullanılmakta ve elektrik üretiminin yaklaşık % 40'ı da kömürlerin termik santrallerde kullanılması ile elde edilmektedir. Termik santrallerde fosil yakıtların yakılması ile kömürün bileşimindeki enerji elektrik enerjisine dönüşürken, hidroelektrik santrallerde ise potansiyel enerji, sıra ile kinetik enerji ve elektrik enerjisine dönüşmektedir. Dönüşüm sırasında çeşitli çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların önemli bir bölümü termik santrallerin işletme evresinde görülmektedir (Yılmaz, 2008a ve b).

Yukarıda sunulan temel bilgiler irdelendiğinde, oldukça karmaşık bir etkinlikle yüz yüze olunduğu açıkça görülmektedir. Ortamlar arasındaki etkileşimleri de göz ardı etmeden, böylesi bir durumda, termik santrallerin henüz faaliyete geçmeden etkileyebileceği ortamın (Yani yerel su havzası ve yakın dolayını içeren alanın) mevcut çevresel özelliklerinin (toprak, su ve hava ile ilgili parametrelerinin) tanımlanması gerekmektedir. Aksi halde, termik santrallerin yaratacağı çevresel kirlilik izlenemez ve denetlenemez.

TERMİK SANTRALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE DENETİMİ

Termik santrallerin yönetiminde (yani planlama ve hazırlık evresi, inşaat evresi, işletme evresi ve iyileştirme (rehabilitasyon-revizyon) evresinde) çevrenin tüm bileşenleri etkilenmektedir. Toprak, su ve hava ortamları başta olmak üzere, ekosistemlerin, doğal ve kültürel mirası temsil eden varlıkların etkilenmemesi mümkün değildir. Önemli olan, ortaya çıkması olası sorunların, geri dönüşü mümkün olmayan bir sonucu yaratmamasıdır. Yani, çevresel değişimin bir bakıma sürdürülebilir bir düzeyde kalmasıdır.

Ülkemizde, termik santraller genel olarak kömür kullanılarak işletilmektedir. Kullanılan kömürün niteliklerine göre çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Aslında gerek kömürlerin ocak işletmesi ve cevher zenginleştirmesi, gerekse radyoaktif mineraller içeren kömürlerin termik santrallerde kullanılmasıyla, atmosfere açık hale gelen baca külleri ile radyoaktif minerallerin toprağa karışması kaçınılmazdır. Bu da önce, yapılan faaliyet toprak kirliliğine yol açacaktır. Toprak, su ve hava ortamları etkileşim içindedir. Dolayısıyla, herhangi bir ortamda ortaya çıkan bir kirlilik, diğer ortamları da etkileyecektir.

Termik santrallerin çevresel etkileri değerlendirilirken, sadece tesislerin değil, kullanılacak enerji türünün üretimi de gözetilerek, çevresel etkilerin bir bütünsel çerçevede ele alınması gerekmektedir. Örneğin, kömürün çıkarılması (yeraltı ya da açık ocak), zenginleştirilmesi, ulaşım, stoklama ve yakmaya hazırlık aşamalarında da doğal ve sosyal çevre etkilenmektedir. Dolayısıyla, böylesi projelerin reel akışı içinde, tesislerin yanı sıra üretilen enerjinin üretim yöntem ve teknikleriyle birlikte çevresel açıdan **'Fayda/Maliyet'** analizlerine dair durum değerlendirilmesi zorunludur.

Örneğin, kömürün kullanılması sırasında, kömürün heterojen bileşimi nedeniyle gaz, buhar ya da partikül türünde çeşitli kirliliklerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Başlıca asit gazlar, dioksin ve furanlar, cıva, metaller, hidrokarbonlar, radyo izotopları ve uçucu organik bileşiklerin çeşitli türevleri dâhil olmak üzere hava kirliliğini yaratırlar. Ayrıca kömür kullanımının iklim değişikliklerine etkileri küreseldir. Bu etkiler, sonuç olarak yağış rejiminin değişimine, sıcaklık artışlarına ve ekosistemlerin alt-üst olmasına yol açar.

Bir termik santralde çevreyi olumsuz şekilde etkileyen atıklar, katı, sıvı ve gaz haline olabilir. Ayrıca, şöyle de sınıflandırılabilir: 1-Toz kirliliği; a- Kazan altında oluşan ve baca gazından dışa atılan küller (PM) b- Kömür taşıma, hazırlama ve stoklama ile kül taşıma ve stoklama sırasındaki toz kirlenmesi; 2-Baca gazında bulunan kimyasal maddeler, Kükürt dioksit (SO_2) gibi.

Termik santrallerin yönetiminin tüm evrelerinde, Seveso Direktifi veya Büyük Endüstriyel Kazaların Önlemesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik gözetilerek Proses Güvenliği'nin yanı sıra İş Güvenliği ve İş Sağlığı (İGS)'nin yasal alt yapısı oluşturulmalıdır (Anar, 2017a ve b).

Planlama ve Hazırlık Evresi

Planlama ve hazırlık evresi, yer seçimi yapılan tesislere dair ayrıntılı planlama yapılması, tesislerin tasarımı ve inşaata hazırlanması dâhil tüm çalışmaları içermektedir. Planlama ve hazırlık konusunu hem kullanılacak enerji türü, hem de tesisin yapılanması açısından ele almak gerekmektedir. Hangi tür enerjinin kullanılacağı, enerjiye dair bağlantılar, seçilen yere yönelik yolların açılması,

zeminin yapısını belirlemek üzere sondajların yapılması bu evrede gerçekleşir. Dolayısıyla bu evrede de ciddi çevresel etkilerin ortaya çıkması mümkündür.

Örneğin, santrallerde kullanılan linyit, Neojen havzalardan, çoğunlukla üst Miyosen yaşta birimlerden üretilmektedir. Bu birimler genellikle kiltaşı, marn, kumtaşı gibi malzemeleri içermektedir. Bu havzalardaki maden işletme projeleri, mühendislik normlarına uygun planlanmazsa, Elbistan'daki gibi facialar olabilir.

Bu evrenin ocak işletmelerinde en önemli sorunu, ***susuzlaştırmanın*** zamanında yapılmamasıdır. Suya doygun birimlerin içerdiği suyu, işletme aşamasından 1-2 yıl önce; 60 cm. çapındaki ters sirkülasyonlu özel sondaj ekipmanları ile deşarj etmemiz gerekmektedir. Saniyede 8-10 litre suyun atılması ile ancak bu sistem başarılı olabilir. Elbistan ve Tufanbeyli havzalarında bu durum yeteri kadar önemsenmemiştir.

İnşaat evresi

Bu evre, termik santrallere dair tesislerin, öngörülen planlama çerçevesinde inşaatlarının yapımını ve kullanılacak yakıtın kullanıma hazır hale getirilmesi gibi iki temel çabayı içermektedir. Her iki çabanın da çevresel etkileri olabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu çerçevede, günümüzde hem tesislerin yapımı, hem de kömür yeraltı madenciliği için (Şekil 7) çeşitli teknolojiler de kullanılmaktadır.

Kullanılacak teknolojilerin türüne göre, bir tesisin inşaatı ve benzeri faaliyetlerin de çeşitli çevresel sorunlara yol açacağı göz önüne alınarak bir düzenleme yapılmalıdır. Örneğin, inşaat nedeniyle kullanılacak malzemenin sağlanması ve kullanılacak yakıt kömür ise, ocak işletmesi ve kömürün zenginleştirilmesinin de bir bedeli vardır. Bu evrede ortaya çıkan katı atıkların bertarafı önemli bir sorundur. Ayrıca, çalışanların ve çevrenin hem ortaya çıkacak hava kirliliğinden hem de atık su kirliliğinden etkilenmesi mümkündür. Bu evrede ortaya çıkması olası etkiler, yerel düzeydedir ve iyi bir planlama ile kısmen de olsa denetlenebilir.

Şekil 7. Tam mekanize yeraltı madenciliği, uzun ayak sistemi (Tekin ve Yılmaz, 2019'dan).

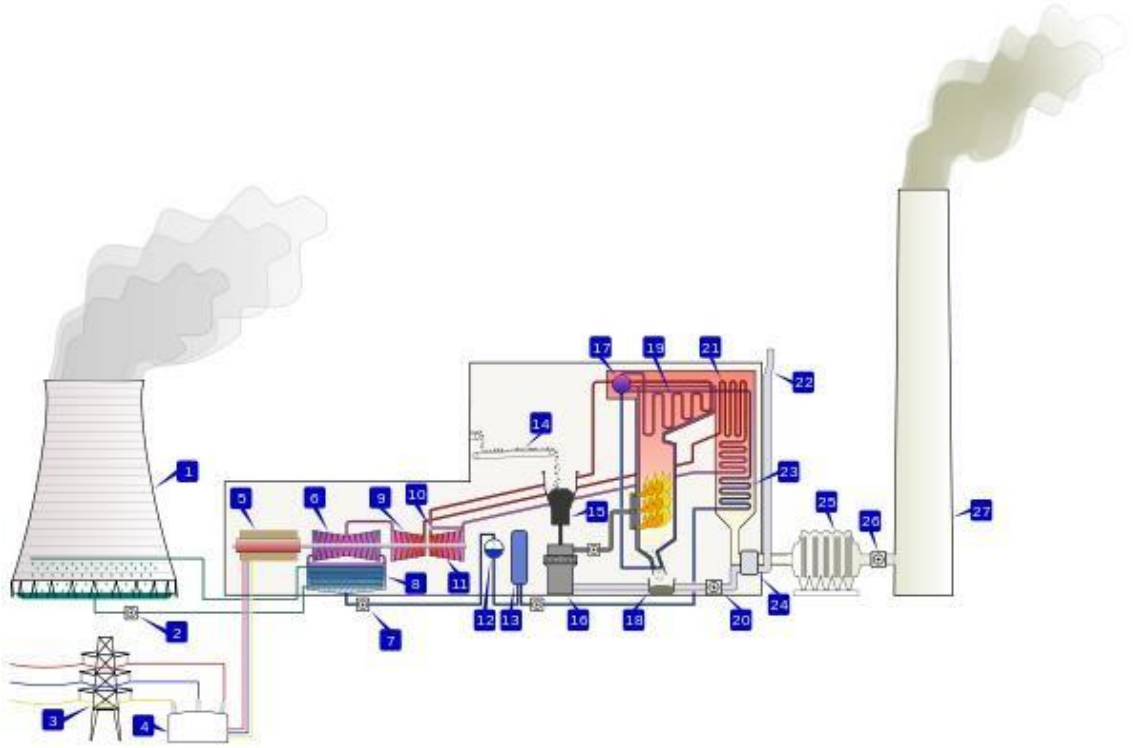
İşletme Evresi

İşletme evresi, termik santrallerin yönetiminde en önemli evredir. Bu evrede, çevrenin tüm bileşenleri kapsamlı olarak etkilenmektedir. Toprak, su ve hava ortamlarının yanı sıra, ekosistemler, doğal ve kültürel mirası temsil eden varlıklar kaçınılmaz olarak etkilenmektedir. Bu etkileri, çeşitli önlemlerle en azından minimize etmek mümkündür. Bunun için önce tesisleri tanımakta yarar vardır.

Bir termik santralin genel görünümü, Şekil 8'de sunulmuştur (Ocak ve diğerleri, 2013). Genel olarak termik santralin başlıca elemanları kazan, kondensör ve soğutma kulesidir.

Şekil 8. Termik bir santralin genel görünümü (Ocak ve diğerleri, 2013).

Kazan, fosil yakıtın ısı enerjisine dönüştüğü, ısının da borulardan geçen suyun buhara dönüştüğü, yani yanma olayının gerçekleştiği yerdir. Basınç ve sıcaklığı azaltılmış buharın yoğunlaştığı ve tekrar su haline dönüştürüldüğü alanlar kondensör ile soğutma kuleleridir. Bir santralin genel şeması Şekil 9'da görülmektedir.



1. Soğutma kulesi	10. Buhar kontrol valfi	19. Süperfırın
2. Soğutma suyu pompası	11. Yüksek basınçlı buhar türbini	20. Enerjili akım fanı
3. 3-fazlı Enerji nakil hattı	12. Gazdan arındırıcı	21. Tekrar ısıtıcı
4. Yükseltici trafo (3-fazlı)	13. Besleme suyu ısıtıcısı	22. Yanma hava girişi
5. Elektrik üreteci (3-faz)	14. Kömür taşıyıcı	23. Ekonomizör
6. Düşük basınç buhar türbini	15. Kömür besleme hunisi	24. Hava önısıtıcı
7. Yoğuşma pompası	16. Kömür öğütücü	25. Elektroststik filtre
8. Yüzey yoğunlaştırıcı	17. Buhar fıçısı	26. Endüklenmiş akım fanı
9. Orta basınç buhar türbini	18. Kül hunisi	27. Baca

Şekil 9. Termik Santral Şeması (Başaran, 2017).

Yukarıda tanıtılan termik santrallerin verimli bir şekilde çalıştırılması mümkündür. Örneğin, kömürün, öğütülerek toz haline getirildikten sonra kazan içinde yardımcı yakıt (fuel-oil) ile tutuşturulması, daha sonra kazan içinde oluşan ateş topunun üzerine sadece kömür tozu verilerek sürekli yanmanın sağlanması verimi artırmaktadır.

Bu işleyişi, sıra ile yanma sonucunda ortaya çıkan ısının kazan duvarında bulunan ve içinde su dolaşan borulara iletilerek buhar elde edilmesi, oluşan bu buharın basınç ve sıcaklık değerlerinin belirli bir değere ulaştıktan sonra buhar türbinine gönderilerek mekanik enerji elde edilmesi izler. Bu da türbinin 3000 devir/dakika hız ile dönmesini sağlayarak, türbininin miline bağlı jeneratörü de aynı hızla döndürülerek elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Günümüzde dünya elektrik üretimi % 40 dolayında kömür kaynaklı termik santraller kanalıyla sağlanmaktadır. Dünyada elektrik enerjisi üretmek amacıyla termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürlerin ısı değerleri 800kcal/kg'dan 5000-7000 kcal/kg düzeylerine kadar çıkmaktadır. Bu kömürlerin içerdikleri kül oranı ise ağırlık olarak % 6-7' den % 30~40'lara kadar çıkmaktadır. Taşkömürleri dediğimiz kömürlerin ısı değerleri 5000~7000 kcal/kg arasında değişirken içerdikleri kül oranı ağırlık olarak % 6-12 arasında olmaktadır (Ocak ve diğerleri, 2013). Termik santrallerin verimliliği ise, ortalama % 30-40 dolayındadır. Bu oran ortaya çıkan ısı enerjisinin, elektrik enerjisine dönüşme ve kömürün tamamının yanabilmesine dayanır.

Paris iklim değişikliği anlaşması küresel sıcaklık artışını 1,5-2 ^{0}C derece kadar olmasını hedefler. Fakat dünyada CO_2 salımının kontrol edilememesi nedeniyle bu oran aşılabilir. CO_2 ve diğer sera gazı yoğunlukları ciddi oranda artmıştır (290'dan 375 ppm'e) (Gautier, 2005).

Dünyada enerji üretiminin 2030 yılında % 50 fazla olacağı tahmin edilmektedir (EIA-ABD Enerji Enformasyon Dairesi). Bunun sonucunda CO_2 artışı da 2005 yılında 28,1 milyar tondan 2030 yılında 42,3 milyar ton düzeyine ulaşacak. ***Kömür, tüm enerji kaynakları içinde en yüksek sera gazı salımına yol açan bir yakıttır.*** Dünya kömür tüketiminin artışıyla, 2005 yılındaki 123 katrilyon BTU (British Thermal Unit) değerinin 2030 yılında 202 katrilyon BTU'ya yükseleceği tahmin edilmektedir (Ward, 2014). Aşağıda, termik santrallerin yönetiminde ve özellikle işletme evresinde, ortaya çıkması olası kimi sorunlara dair bazı değerlendirmeler yapılmıştır:

Desülfürizasyon, Kül, Partikül Sorunları

Son zamanlarda özellikle Afşin-Elbistan ve Kangal gibi termik santrallerin olduğu bölgelerde, kül, duman gibi santral bacasından çıkan ve çeşitli sağlık sorunları yaratan haberler gündeme geldi. Yukarıda da belirtildiği gibi termik santrallerin çoğunda desülfürizasyon sistemi bulunmamaktadır. Oysa linyit kömürlerindeki kül oranı, % 30-40'lara kadar çıkmaktadır (Ocak vd. 2013). Termik santrallerinin delsülfürizasyon sisteminin olmamasının yanı sıra, kömür rezervine yakın ve ovalarda olması, bu sorunu çevre açısından olumsuz etkilemektedir. Şekil 10'da bir Baca Gazı Delsülfürizasyon sistemi **(BGD)** örneği (**A)** ve bu sistemin akış şeması (**B)** görülmektedir.

BGD sistemi şu ünitelerden oluşmaktadır: Absorber Sistemi, Baca Gazı Sistemi (Baca Gazı Isıtma Ünitesi ve İtici Fan), Alçıtaşı Deşarj Sistemi, Kireçtaşı Hazırlama Sistemi (Boşaltma, Depolama, Öğütme ve Bulamaç Besleme Sistemleri), Atık Su Arıtma Sistemi, Yardımcı Sistemler.

Baca gazındaki çıkan kimyasal maddeler; SO_2, CO_2, NOx vs.

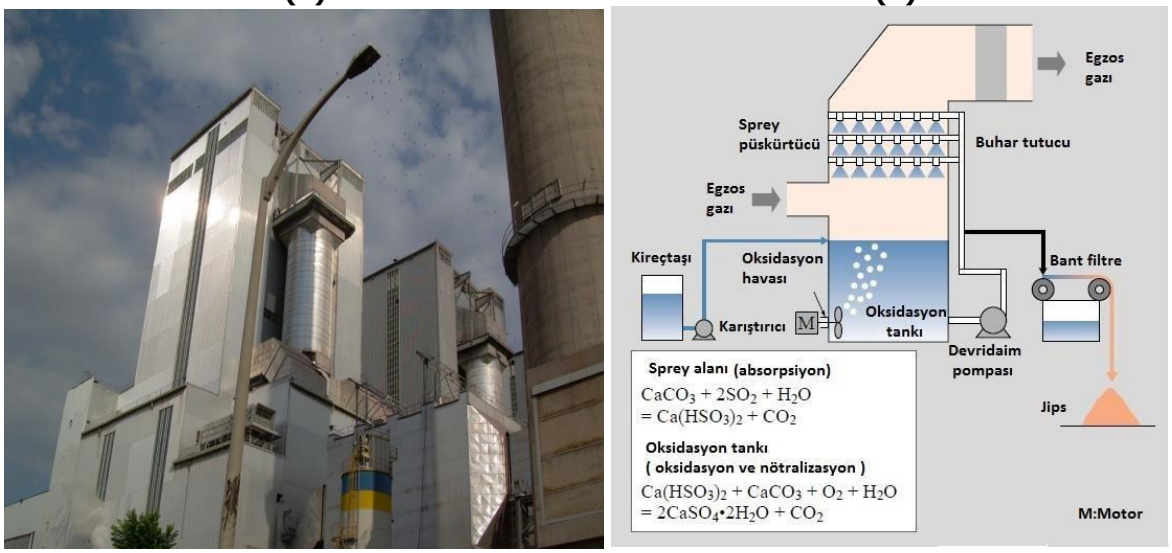
Linyit kömürlerinde % 6'lara kadar varan S (kükürt) bileşeni, SO_2 olarak bacadan çıkar. Bunu bertaraf etmek için genellikle $CaCO_3$ (kalker) kullanılır. Kalkerin kükürdü absorbe etmesi için reaktif olması gerekir. Reaktivitesi 110 olan kalkerler, değirmenlerde 5-700 mikron arasında bir gradasyon seçimiyle öğütülür ve termik santralin akışkan yataklı fırınına pulverize olarak verilir (FGD sistemi; Flue gas desulfurization).

Absorbsiyon reaksiyonu: $SO_2+CaO_3+1/2H_2O \quad CaSO_3.1/2H_2O+CO_2$

Oksidasyon reaksiyonu: $CaSO_3.1/2H_2O + ½\ O_2 +3/2\ H_2O$---- $CaSO_4.2H_20$ (Alçıtaşı; Sert, 1990)

Sonuç olarak, bacadan 200 µg/m^3 den fazla SO_2 çıkmaması uluslararası standartlar gereğidir.

(A) **(B)**



Şekil 10. Desülfürizasyon Sistemi, Kangal Termik Santrali **(A)** ve Baca Gazı Desülfirizasyon Sistemi Akış Şeması **(B)** (Dikmen, 2017).

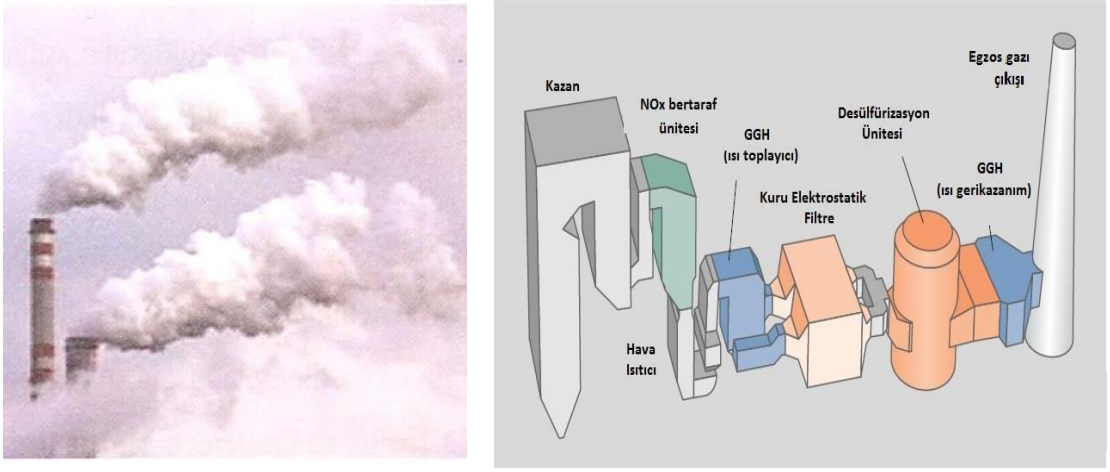
BGD sisteminde kazandan çıkan baca gazının tamamının işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Absorber kolonunda püskürtme nozulları aracılığıyla atomize olarak beslenen yıkama sıvısı, çok küçük damlalar halinde dağılarak absorberin tüm kesit alanını kapsaması sağlanır. Baca gazı ile ters akım olarak hareket edecek olan sıvı damlaları, SOx gazlarını soğuracaktır. SOx gazlarını soğuran sıvının oksitlenme ve nötralizasyon reaksiyonları, absorber kolonunda sıvı havuzunun bulunduğu alt bölümünde gerçekleşmekte ve yapay alçıtaşı (jips) oluşmaktadır (Dikmen, 2017).

Ayrıca, sulu ve kuru sistemler ile amonyak içeren sistemler de vardır. Yaklaşık 15 yıl önce Yatağan'da SO_2 miktarı 4 misline çıkarak 800µg/m^3 değerlere ulaşmış, ilçede alarm verilmiş ve buna bağlı ölümler olmuştur. Bu konudaki en dramatik örnek, 1952 yılında Londra'da SO_2 havadaki sis yoğunluğu ile birleşerek sülfürik asit yağmuruna dönüşmüş ve 1 haftada 4.000'e yakın insan ölmüştür. Oluşan bu kirliliğe, 'Smog' ('smoke' + 'fog') terimi uygun görülmüştür (Reeves, Lenoir, 2006).

Şekil 11'de bir termik santralin ürünü olan su buharı ve diğer kirleticileri içeren baca gazının genel görünümü **(A)** ve Baca Gazı Bertaraf Sistemi Akış Şeması **(B)** sunulmuştur. Santrallerde, yanma işlemi sonrasında oluşması muhtemel atık gazlar; partikül madde, CO_2, NOx ve SOx'"dir. Söz konusu yanma gazlarından SOx"in giderimi için çoğunlukla Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) sistemi, partikül madde giderimi için elektrostatik filtreler ve NOx giderimi için ise Seçici Katalitik Redüksiyon yöntemli (DeNOX) sistemler kullanılmaktadır (Dikmen 2017).

Termik santrallerde buhar üretme, soğutma ve temizleme işlemleri için önemli miktarlarda su kullanılmaktadır. Kullanılmış sular, tekrar doğaya verilirken, doğadaki kirliliğin artmasına neden olmaktadırlar. Ayrıca baca gazları ile birlikte hava ortamına verilen uçucu küller yağmur suları ile tekrar yeryüzüne inmekte, bu da yüzey ve yeraltı sularında çeşitli kirliliklere neden olmaktadır.

(A) **(B)**



Şekil 11. Bir termik santralin ürünü su buharı ve diğer kirleticileri içeren baca gazı (**A)** (Ocak ve diğerleri, 2013) ve Baca Gazı Bertaraf Sistemi Akış Şeması **(B)** (Dikmen, 2017).

Çizelge 3'de AB'de ve Türkiye'de kullanılan kömürlere dair havadaki kirletici emisyon değerleri görülmektedir (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2012). Çizelgede görüldüğü gibi SO_2 değerleri yıllara göre değişim göstermekte, ancak hedeflenen değerlere ulaşılamamıştır.

Çizelge 3. AB ve ülkemizde havadaki kirletici emisyon değerleri (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2012).

KİRLETİCİ	AB-Limit Değerler			Türkiye-Limit Değerler						
	Süre	Limit Değer (µg/m3)	Aşma Sayısı	Süre	2009 ve Öncesi Sınır Değer (µg/m3)	2010 Sınır Değer (µg/m3)	2011 Sınır Değer (µg/m3)	2012 Sınır Değer (µg/m3)	2013 Sınır Değer (µg/m3)	2014 Sınır Değer (µg/m3)	Türkiye için AB Limit Değerlerin Geçerli Olacağı Tarih
SO_2	saat	350	24 kez/yıl	saat	900	900	900	900	900	500	1 Ocak 2019
	24 saat	125	3 kez/yıl	24 saat	400	370	340	310	280	250	
	kış dönemi	20 (ekosistem)	-	kış dönemi	250	225	200	175	150	125	
	yıl	20 (ekosistem)	-	yıl	150 (insan sağlığı)	150	150	150	150		
					60 (ekosistem)	52	44	36	28	20	1 Ocak 2014
NO_2	saat	200	18 kez/yıl	24 saat	300	300	300	300	300	300	1 Ocak 2024
	yıl	40	-	yıl	100	92	84	76	68	60	
NO_x	yıl	30 (ekosistem)	-	-	-	-	-	-	-	30	1 Ocak 2014
PM10	24 saat	50	35 kez/yıl	24 saat	300	260	220	180	140	100	1 Ocak 2019
	kış dönemi			kış dönemi	200	178	156	134	112	90	
	yıl	40	-	yıl	150	132	114	96	78	60	
Pb	yıl	0,5	-	yıl	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1	1 Ocak 2019
C6H6	yıl	5	-	-	-	-	-	-	-	10	1 Ocak 2021
CO	8 saat	10000		8 saat						16000	1 Ocak 2017
	yıl			yıl	10000	10000	10000	10000	10000	10000	
	24 saat		-	24 saat	30000	26000	22000	18000	14000	10000	
O_3	8 saat	120 (hedef değer)	25 gün/yıl	8 saat	120 (2022 için hedef değer)						1 Ocak 2022
	saat	180 (bilgi eşiği) 240 (uyarı eşiği)	-	saat	180 (bilgi eşiği) 240 (uyarı eşiği)						
Arsenik	yıl	0,006	Bir yılda PM10 fraksiyonundaki toplam içerik için hedef değer	yıl							1 Ocak 2020
Kadmiyum	yıl	0,005		yıl							
Nikel	yıl	0,02		yıl							
Benzo(a)piren	yıl	0,001		yıl							

NOT: 1 Ocak 2014'ten itibaren AB limit değerlerin geçerli olacağı tarihe kadar limit değerler toleranslı değerlerdir. AB Limit Değerlerin geçerli olacağı tarihlere kadar tolerans payları sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır

Hava kirliliğinin etkileri de küresel, bölgesel ve yerel ölçekte ortaya çıkmaktadır. Küresel ölçekte tartışma konusu olan, başta karbondioksit olmak üzere, sera gazlarının yol açtığı küresel ısınma sayılabilir. Bölgesel ölçekte asit yağmurları, ormanların tahribi ve göllerde oluşan asitliğin artması sonucunda ekolojik yapının bozulması da önemlidir. Ayrıca katı atıklar (cüruf, kül ve uçucu partiküller vd.) ortaya çıkar. Bu atıkların da düzenli deponi alanlarına taşınarak uzaklaştırılması gerekir.

Elektrik enerjisine dönüştürülemeyen ısı ise, ayrı bir çevre baskı değişkeni olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü bu ısı, atık suların soğumasını da engelleyen bir değişkendir. Bunlara ek olarak, termik santraller soğutma, buhar elde etme ve temizleme gibi çeşitli amaçlarla su kullanmakta ve tüm bu işlemler sonucunda tonlarca atık su oluşturmaktadırlar. Ortaya çıkan atık sular, ne kadar işlemden geçirilirse geçirilsin, bunların çevre kirliliğine yol açması kaçınılmazdır.

Çevre kirliliğinin denetimi için Avrupa Komisyonu Ocak 2008'de aşağıda belirtilen bir iklim ve enerji paketini önermiştir;

1-Sera gazı emisyonlarının 2020 yılı itibariyle % 20 oranında azaltılması,
2-Yenilenebilir enerji payının 2020 yılı itibariyle % 20 oranında artırılması,
3-Enerji verimliliğinin 2020 yılı itibariyle % 20 oranında artırılması

Su sıcaklığı

Herhangi bir faaliyet su ortamını kirletirse, tüm diğer sistemlerin de etkileneceği hesaba katılmalıdır. Çünkü, su sistemi, toprak, hava ve ekosistemlerle doğrudan ilişki halindedir. Buna su sıcaklığındaki değişim de dahildir.

Su sıcaklığı, ekolojik yaşam açısından önemli bir değişkendir. Suda bitkilerin yetişmesi, mikroorganizmaların faaliyeti, organik maddenin parçalanması ve mineralizasyonu ile tüm kimyasal olayların devam etmesi su sıcaklığına bağlıdır. Dış etkenlerin bile, ne kadar su sıcaklığını ve sıcaklığın dağılımını etkileyeceği, kimi durumlarda rahatlıkla ölçülemez. Dolayısıyla, santral soğutma suyunun denize boşaltılması durumunda, bunun deniz eko sistemini bozabileceği gözardı edilmemelidir (Smith ve Tirpak, 1989, Storch ve diğerleri, 1992; Çakmak, 2013'den).

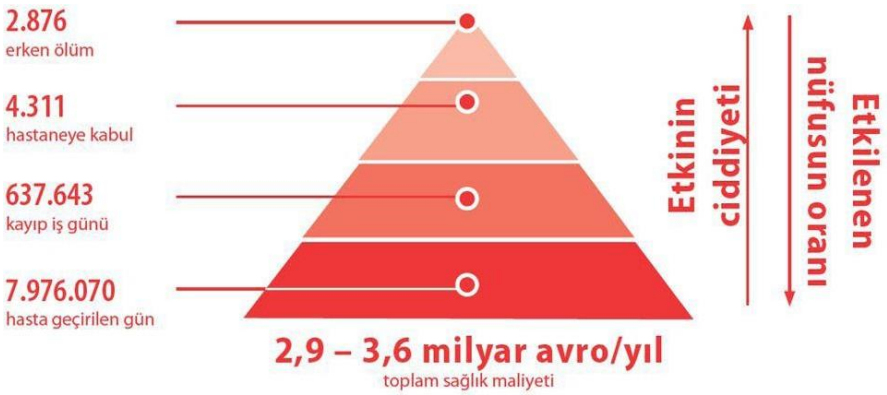
CO_2 ve Atık Isı

Bilindiği üzere, 1 MWe kurulu güçü olan kömür santralleri saniyede 0,24 kg CO_2 üretirken, 1,5 MW'lık ısı yaymaktadır (% 40 verim). Bunun da belli bir oranda da olsa, bölgesel iklimi etkileyebileceği ifade edilmektedir. Sonuç olarak, küresel ve bölgesel ısınmayı değerlendirmede atık ısı ve CO_2 yayılımı iki temel değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Su buharı, toz ve SO_2, duman ve bulut oluşumuna neden olsa bile, bunların suyun küresel ısınması açısından çok da anlamlı olmadığı bilimsel verilerle açıklanmıştır (Kellermeyer, 1980; Wikipedia, 2010). Dolayısıyla, yapılan değerlendirmeye göre, fosil yakıtların çevre açısından yarattığı yük, diğer enerji türleri ile kıyaslandığında makul bir düzeye işaret etmediği ileri sürülmektedir.

Sağlık sorunları

Dünya Sağlık ve Çevre Birliği'nin (Health and Environment Alliance- HEAL) yayınladığı verilere göre Türkiye'de taşkömürü ve linyite dayalı elektrik üretiminde bulunan termik santrallerin kirletici salımları ciddi sağlık sorunları yaratmaktadır. Bu sağlık sorunlarının parasal değeri hesaplanmıştır. Kömür santrallerinın yol açtığı hava kirliliği en başta akciğer ve kalp üzerinde etkili olmaktadır. Bronşit, anfizem, cilt ve akciğer kanserleri ile kalp-damar hastalıklarındaki artışın temel nedeni hava kirliliğidir.

HEAL-Sağlık ve Çevre Birliği'nin 2015 yılında Türkiye özelinde yaptığı "Ödenmeyen Sağlık Faturası" (HEAL, 2015) araştırması, Türkiye için ***ilk kez kömürlü termik santrallerin yarattığı hava kirliliğinin sağlık etkilerini rakamlarla*** ortaya koymuştur (Şekil 12). Bu raporda "yukarıdan-aşağı" bir model kullanılmış; Türkiye'de çalışan yılda hava kirliliğinin neden olduğu 28 bin erken ölüm ve Türkiye'nin Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği (CLRTAP) Sözleşmesi kapsamında yaptığı raporlamalar üzerinden bir hesaplama yapılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre Türkiye'de işletmede olan tüm termik santraller hava kirliliği nedeniyle yılda 2,876 erken ölüme, yetişkinlerde 3.823 yeni kronik bronşit vakasına, 4.311 hastane yatışa ve 637.643 iş günü kaybına neden olmuştur (HEAL, 2015). Ayrıca Avrupa'da yaygın olarak kullanılan bir yöntemde bu sağlık etkilerinin maliyeti de hesaplanmıştır, buna göre tahmini sağlık maliyeti yıllık 2,9-3,6 milyar Euro olmaktadır (Gacal, 2019).



Şekil 12. Türkiye'de taş kömürü ve linyitle çalışan termik santrallerin hava kirliliği emisyonlarından kaynaklanan sağlık etkileri (HEAL, 2015; Gacal, 2019'dan).

Ayrıca, havaya salınan ağır metaller, aromatik hidrokarbonlar ve kalıcı organik kirleticilerin çeşitli biçimlerde insan vücuduna girebilmektedir. Özellikle çocuklar, yaşlılar ve hastalar daha çok bu kirleticilerden etkilenmektedir.

İyileştirme Evresi

Termik santrallerin iyileştirme ***(Rehabilitasyon – Revizyon)*** evresi, kömür işletmeleri dâhil, tesislerin yönetiminin her evresini de içerecek şekilde planlanmalıdır. Şekil 13'de Elbistan, Kışlaköy kömür sahası görülmektedir. Afşin-Elbistan A-B santrallerinde rehabilitasyonun ve revizyonun yapılmaması nedeniyle, verimlilik % 25'lere kadar düşmüştür. Değirmen ve elektrofilitreler son derece bakımsız ve eski olduğundan, çevreye zararlı partikülleri saçar hale gelmiştir. Tesislerin ömrünü tamamlamasından sonra ya da bu amaçla kullanılan kömür sahalarında, toprağa ve yöreye özgü bitkilerin yetiştirilmesi (rekültivasyon) gerekmektedir.

Ayrıca, tesislerin yönetiminde önemli yeri olan baca gazı arıtma tesislerini yapma zorunluğu olmasına karşın bu konuda herhangi bir çaba yoktur. Oysa bu tesislerin 2019 yılı sonuna kadar yapılandırılması gerekmektedir. Yaklaşık 12 termik santrali özelleştirme yoluyla işleten özel sektör (ve kamu sektörü de dâhil) bu tesisleri henüz kurmamıştır. Çalışmayan bu sistemler nedeniyle santraller çevreye kül, SO_2 gibi kirleticileri yaymaya devam ediyor. Örneğin Kangal'daki elektrofilitreler yoluyla % 98 kül tutulması bile dünya ölçülerinin altında iken şu anda bu orana dahi erişilememektedir.

Şekil 13. Elbistan Kışlaköy kömür sahası

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı ***"yerli kömürde yeni nesil ileri teknoloji santralleri kurma şartı getiriyoruz, yerli kömüre dayalı ihalelerde birinci şartımız emisyon***

değerlerini, AB kriterleri dikkate alınarak belirliyoruz" demektedir. Peki o halde eski santrallerin emisyon değerleri ne olacak? Bu konuda sürekli ertelenen desülfürizasyon kurma üniteleri ne zaman hayata geçirilecek?

TERMİK SANTRALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kömüre veya doğalgaza dayalı termik santrallerin insan ve çevre üzerineki etkileri küresel ve bölgesel açıdan basit hesaplamalar ile incelenebilmektedir. Özellikle CO_2 kaynaklı sera gazı etkisinin bölgesel ve küresel açıdan etkin olduğu kabul edilmektedir. Buna atık ısının etkilerini katmak gerekir.

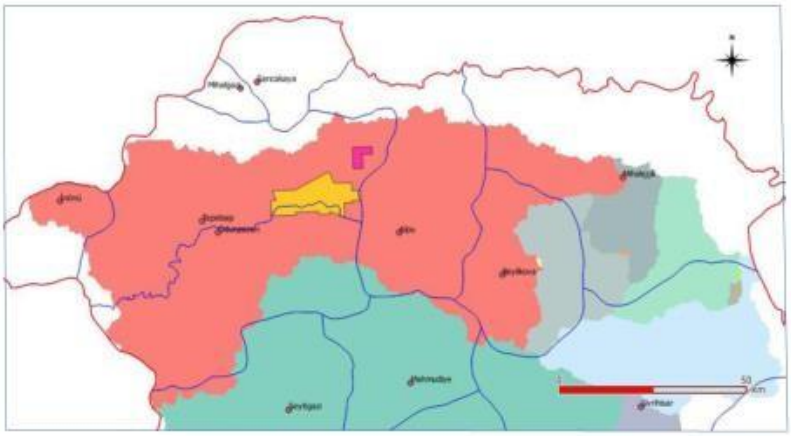
Santrallerde soğutma suyu olarak kullanılan deniz suyunun sıcaklık değişim profili sonlu farklar yaklaşımı ile hesaplanabilmektedir. Santrallerin atık ısı etkisi, sera gazı etkisinin ancak % 1'dir. 2005 yılı için sera gazı etkilerinin % 60'dan fazlası ise CO_2'den kaynaklandığı IPCC verilerinden anlaşılmaktadır. En çok $CO_{2'}$ in küresel ısınmaya katkısı vardır. Ancak diğer önemli bir nokta ise santrallerin anlık atık ısı etkisi, CO_2 etkisi ile aynı düzeyde olduğu bilimsel çalışmalarda görmek mümkündür. Bir santralin atık ısı yönü ile küresel etkisi, tüm yıl boyunca çalıştığı kabul edilmesi durumunda, üreteceği tüm atık ısı atmosfere salındığında dahi küresel etkisi 0,11x10,5 ^{0}C/yıl'dır. Santralin yerkürenin ışınımsal kuvvetine katkısı 0,6x105 W/m^2 olarak hesapedilmiştir. Yani, santrallerin 0,0054 W/m^2 ışınımsal gücü, güneşin ışınımsal gücü olan 128 W/m^2'den çok küçüktür (Çakmak, 2013).

Yukarıda sunulan pembe tablonun ne ölçüde gerçeği yansıttığı tartışmaya açık bir konudur. Ancak, şu hususu da göz ardı etmemek gerekmektedir. Fosil yakıtlar, Güneş enerjisinin jeolojik geçmişte on milyonlarca yılda depoladığı kaynaklardır. İnsanoğlu, bu kaynakları birkaç yüzyıl içinde tüketmekle karşı karşıyadır. Yani on milyonlarca yıl depolanan bir kirlilik, birkaç yüz yıl içinde atmosfere geri verilecektir. Bunun geri dönüşü mümkün olmayan sonuçlara yol açmaması mümkün değildir.

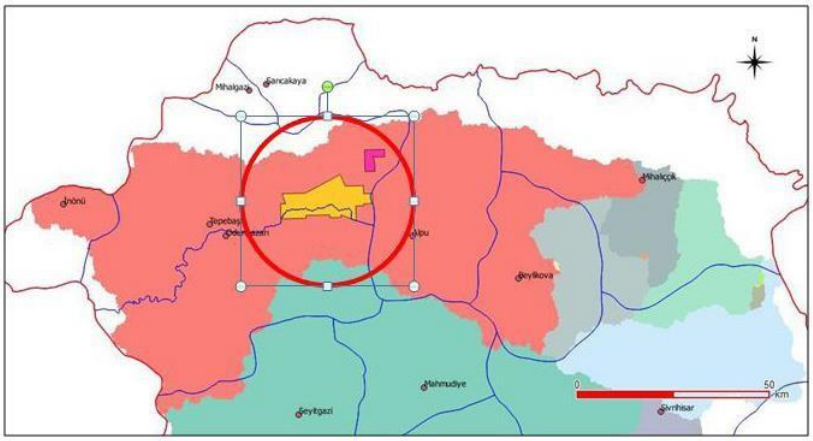
Öte yandan, kömür madenciliğ i ve termik santraller, hidrojeolojik ortamı derinden etkilemesine karşın, planlanan projelerin gerçekleştirileceği sahalardaki hidrojeolojik karakterizasyonun yeterince ayrıntılı yapılmadığı bilinmektedir. İnşaat, işletme ve işletme sonrası dönemlerinde oluşabilecek hidrejeolojik sorunların bütünsel bir şekilde tanımlanmaması ve bu sorunların ağırlıklı olarak işletme aşamasında ortaya çıkması, doğa ve canlı sağlığına karşılanması mümkün olmayan zararlar verebilmektedir. Dolayısıyla, su temini, susuzlaştırma, su baskını, atık sahalarından sızıntı, asit maden drenajı, su kalitesi, su miktarı gibi birçok parametrenin proje henüz planlama aşamasındayken değerlendirilmesi ve projelerin yapılıp yapılmamasına karar verilmesi zorunludur (Ayçiçek ve Katısöz, 2019).

Bir faaliyetin çevresel etkileri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile izlenebildiği gibi, faaliyetin yer aldığı havzayı tanımlamak da mümkündür. Üstelik faaliyetin yer aldığı mekânı, havza özelinde tanımlamak önemlidir. ***Havza,*** üzerine düşen yağışı belirli bir akarsuya ya da dereye gönderen ve komşu havzalardan su bölüm (eş yükselti) çizgileri ile ayrılan iç bükey topografik alan olarak tanımlanır. Havza sınırlarının belirlenmesinde CBS sistemi kullanılabilir. Bu yöntem ile Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılarak istenilen sınırın belirlenmesini sağlanır. Eskişehir il sınırı için SAM oluşturularak il sınırı içindeki alanın eğim ve bakı haritaları oluşturulmuştur (Ayday, 2019)).

Dolayısıyla, termik santraller planlanırken ÇED Raporu'nda gerekli olan havza sınırları, CBS'inden yararlanarak hazırlandı. Bunun için, Eskişehir-Alpu özelinde kömür ve termik santrallerinin konumunu ve çevresel etkilerini gözeterek bir analiz yapılmıştır (Ayday, 2019). Önce, ***'Sayısal Arazi Verileri'*** kullanılarak Eskişehir-Alpu Termik Santralı olarak planlanan tesisin etkileyebileceği havzanın sınırları tanımlanmıştır. Bu çalışmada Açık Kaynak Kodlu GRASS (2019) ve QGIS (2019) yazılımları kullanılmıştır. 'Havza Sınırı'nı belirleyen harita Şekil 14'de görülmektedir. Planlanan Termik Santral için hazırlanan ÇED Raporunda ise Eskişehir-Alpu Termik Santralini etkileyen Havza sınırı çok küçük tutulmuştur (Şekil. 15).



Şekil 14. Eskişehir-Alpu Termik Santralini etkileyen havza sınırı (pembe renkli alan; Ayday, 2019).



Şekil 15. Eskişehir-Alpu Termik Santralı etkileyen havza sınırı ile ÇED Raporunda tanımlanan havza sınırı (kırmızı daire) karşılaştırılması (Ayday, 2019).

Yapılan değerlendirme sonucunda, yapımı planlanan Eskişehir-Alpu Termik Santralini etkileyen ve ÇED Raporunda kullanılması gerekli havzanın 4.666 km2 olduğu belirlenmiştir. Havzanın çevresi ise, 687 km'dir. Havzanın D-B uzunluğu 127 km ve K-G uzunluğu 44 km olduğu saptanmıştır (Ayday, 2019).

İZLEME VE DENETİM

İzleme ve denetim aşamasında hangi parametrelerin izleneceği; örnekleme aralığı ve değerlendirme kriterleri, saha yerleşimi/çevresi dikkate alınarak örnekleme noktalarının yerleri belirlenir. AB tarafından desteklenen "Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ÇED alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi" kapsamında "Termik Santraller" için hazırlanan 2017 tarihli, santralların gerek inşaat gerekse işletme ve işletme sonrasındaki etkilerini ve azaltıcı önlemleri içeren çalışmada yer alan, işletme aşamasında izlenmesi gereken parametreler Çizelge 4'de sunulmuştur (ÇŞB, 2017). Ne var ki gerek projelerin başlangıcında gerekse izleme aşamasında belirtilen hususların ve parametrelerin kapsamı göz önünde bulundurulduğunda, bunların ülkemizde ne kadar özenle dikkate alındığı ve izlendiği konusunda soru işaretleri vardır (Dönmez ve Ercan, 2019).

Kömür yataklarının arama ve planlama, ocak işletmeleri, cevher zenginleştirme ve kömürün kullanılması evrelerinde çeşitli çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların büyük bir bölümü ÇED uygulamalarında iyi bir planlama ile denetlemek mümkündür.

Çizelge 4. Termik santralların işletilmesi aşamasında izlenmesi gereken parametreler (ÇŞB, 2017; Dönmez ve Ercan, 2019'dan).

Konu	İzleme Yapılacak Yer	İzlenecek Parametre	İzleme Yöntemi	İzleme Sıklığı
Flora	Tesis ve etki alanında	Bitkisel toprağın yayılacağı alanların belirlenmesi ve peyzaj için alana uygun bitki türlerinin seçilmesi Sıyırılan Bitkisel toprağın uygun bir şekilde ve uygun yerlere yayılması, uygun bitki türlerinin tesis dışındaki alanlara dikilmesi	• Görsel incelemeler	Yılda 1 kez Hassas türler tespit edilmesi durumunda yılda iki kez
Fauna	Tesis ve etki alanında	Tesisler ve çevresindeki alanlara tekrar geri dönen fauna unsurlarının belirlenmesi	• Çevredeki mevcut fauna elemanlarının giriş- çıkışlarının kontrolü	Nisan - Mayıs-Eylü l 1 kez, 2 gün saha çalışması
Evsel Nitelikli Sıvı Atıklar	Deşarj noktası	Oluşan atıksuların arıtıldıktan sonra deşarj standartlarına uygun olarak bertaraf edilmesi	• Alıcı ortam su kalitesi	Sürekli
Emisyonlar	Tesis baca çıkışında Tesis alanına yakın yerleşim yerlerinde	NOx, SO2, CO, PM10 ve diğ er gaz ö lçü mleri	• Online sürekli emisyon ölçüm sistemi	Sürekli
Toprak	Atık depolama alanı, kimyasal depolama alanı, kül depolama alanı çevresinde kritik noktalarda	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn	• Toprak kalitesi ölçümleri	6 aylık
Yeraltı suyu seviyesi	Tümü	Gözlem kuyularında	• Yeraltı suyu seviyesi	6 aylık
Deniz suyu	Soğutma suyu alma ve termal deşarj sisteminin inşa edileceği denizel alan	pH, sıcaklık, BOİ , çözünmüş Oksijen, AKM, Koliformlar, amonyak azotu, fosfor, klorofil- a, nitrat, yağ ve gres, serbest klor	• Gözlem ve ölçümler	Yıllık
Gürültü ve titreşim	Etki alanındaki yerleşimlerde	Gürültü ve titreşim seviyesi	• Gürültü ölçümleri	6 aylık

Konu	İzleme Yapılacak Yer	İzlenecek Parametre	İzleme Yöntemi	İzleme Sıklığı
Atıklar	Proje alanında	İlgili yönetmeliklere göre gerekli uygulamalar, kayıtlar, lisanslı taşıma araçları firmaları ve lisanslı bertaraf tesisleriyle sözleşmeler	• Görsel incelemeler • Kayıtların incelenmesi	Yıllık
İş Sağlığı ve Güvenliği	Proje alanında	• Risk Analizi • ADM Planları ve Ekipleri • İş araçları ve ekipmanlar periyodik kontrolleri • İSG izleme planı • Yıllık Çalışma Planı • İSG Eğitimleri • İSG Kurulu Toplantıları • İSG Ölçümleri	• İç denetim • Bağımsız denetim	Günlük/Haftalık /Aylık/Yıllık

YASAL ÇERÇEVE

ÇED Yönetmeliği (2022)'ne göre termik güç santralleri (toplam ısıl gücü 300 MWt ve üstü) EK-1 listesinde yer almaktadır. Ülkemizde bu santrallerde genel olarak kömür ve türevleri kullanılmaktadır. Örneğin, kömür işleme tesisleri ile 500 ton/gün taş kömürü ve bitümlü gereçlerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılması teisleri EK-2 listesinde yer almaktadır.

Öte yandan, sanayi kaynaklı hava kirliliğine dayalı sorunları aşmak üzere hazırlanan yönetmeliklerde öngörülen çevre koşullarına uymak gerekmektedir. Örneğin ilk yapılan santrallarda 500 mg/m^3 olan toz miktarı son yapılan santrallarda 30 mg/m^3'lere kadar düşmüştür (SKHKKY, 2014). Özellikle kritik bölgelerde bu oran % 10'un altında olması istenmektedir. Son yapılan ithal kömüre dayalı santralların tümü bu limitin altındadır. Toz tutma filtreleri, atık gaz sıcaklığı nedeni ile Elektro Filtre türünde yapılmakta ve toz limitleri için torbalı filtreler önerilmektedir. Yerleşim yerlerine yakın olan ya da OSB içinde yapılan santrallerde toz limitleri aşılmakta; dolayısıyla ÇED raporu hazırlanması sırasında yapılan toplantılarda bu konuyu aşmak için kriterlerde değişiklik yapılmaktadır (Salıcı, 2019).

Termik santrallerin planlanması, yer seçimi, tasarımı ve inşası birbirinden farklı çok sayıda işin yapılması ile gerçekleşen bir süreçtir. Bu süreçte İş güvenliği ve Sağlığı (İGS) ile ilgili yasal çerçeveye uymak çok önemlidir. Termik santral inşaatında çalışan işçilerin mekanik tarafta sektör deneyimleri gittikçe artsa da; artan inşaat kapasitesi nedeni ile yüzlerce yeni işçi sektöre katılmaktadır. Termik santral inşaatlarının bu konuda tecrübeli firmalar tarafından üstlenilmesi ya da işverenin müşavirlik hizmeti alması, İGS düzeyini yükseltecektir. Buna ek olarak kredi ve/veya sigorta kuruluşlarının denetimleri de; iş kazalarını ve meslek hastalıklarını oldukça azaltmakta ve İSG kültürüne büyük katkılar sağlamaktadır (Anar, 2017b).

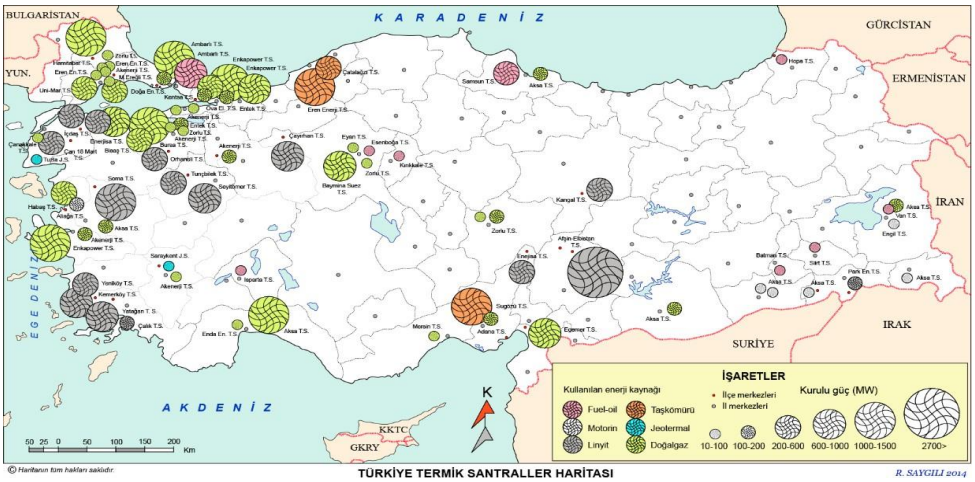
Bir termik santralin yatırım sürecinin aşamaları sıra ile 1- Konsept belirleme, 2- Fizibilite etüdü, 3- Ön lisans-ÇED Süreci, 4- Lisans Alma, 5- Finansman temini, 6- Projelendirme 7- İnşa, 8- Testler ve devreye alma şeklinde sıralanabilir (Büyükhatipoğlu, H. ve UÇAR, İ., 2017).

Yasal çerçevenin işleyişinde, ön lisans sahibi tüzel kişiler, faaliyet için, ön lisans yetki süresi içinde yapılması gereken iş ve işlemleri tamamladıktan sonra sunulması gereken bilgi ve belgelerle

lisans için EPDK'ya başvururlar. Lisans değerlendirmesinde öncelikle ön lisans kapsamındaki yükümlülüklerin tamamlanmış olup olmadığı incelenir. Tesis yatırımcısı, ön lisans başvurusunun kabul edilmesi halinde ÇED raporu için çalışmalara başlar. ÇED raporu hazırlama konusunda Çevre ve Şehircilik Bakanlığından (ÇŞB) Yeterlik Belgesi alarak uzmanlığı onaylanmış bir çevre danışmanlık firması, eldeki mevcut konsept ve tesisin kurulacak yer bilgilerini esas alarak yapacağı araştırma, test ve anketlerin sonunda bir rapor hazırlar.

TÜRKİYE'DE DURUM

Türkiye'nin termik santraller haritasına bakıldığında santrallerin çoğunun Marmara ve Ege Bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 16). Bu bölgeler aynı zamanda insan faaliyetlerinin ve sanayinin geliştiği ve enerji gereksinimi olan bölgelerdir.



Şekil 16.Türkiye'nin termik santraller haritası
(http://cografyaharita.com/haritalarim/4eturkiye-termik-santraller-haritasi.png: Erişim, 24 Kasım 2020).

2018 yılı verilerine göre Türkiye'deki mevcut proje stoku 128.099 MW değerine ulaşmıştır. 2023 için kurulu güç hedefi 125.000 MW seviyesi, altı sene önce öncesinden 2017 sonu itibariyle aşılmıştır. 4800 MW kurulu gücündeki nükleer santral dahil değildir. Bu durumda hiçbir yeni proje lisans almasa dahi 2023 hedefi aşılmış olacaktır. Bu duruma kaynak kullanımı kapasite oranlarının düşmesi de yol açmıştır. 2017 yılı sonuna göre Türkiye'deki elektrik üretim santrallerinin kurulu gücü 85.200 MW seviyesindedir. Bu gözle bakıldığında ise arz imkânları talebin neredeyse 10 yılı ilerisindedir (Türkyılmaz ve Bayrak, 2018).

Ancak, ülkemizde termik santrallere yönelik yer seçiminin ve yönetiminin birçok açıdan istenilen düzeyde yürütülemediği bilinmektedir. Örneğin, Şekil 17'de görülen Zonguldak Çatalağzı Termik Santraller dizisinin aynı vadide planlanmasının hangi amaçla yapıldığını anlamak mümkün değildir. Böylesi bir planlama için, bu vadinin tümüyle gözden çıkarılması anlamına gelir.

Oysa termik santrallerin yer seçiminde ve yönetiminde gerekli özenin bir bütünsellik içinde gösterilmesi gerekmektedir. Yani, sadece tesislerin değil, söz konusu tesislerde kullanılacak enerji türünün üretim süreçlerinde de gerekli özen gösterilmelidir. Örneğin, sanayide de çeşitli enerji kaynakları kullanılabilir. Hatta bir enerji formu başka bir enerji formuna dönüştürülebilmektedir.

Şekil 17. Zonguldak Çatalağzı Termik Santraller dizisi (http://www.diken.com.tr/arka-bahcenizde-termik-santral-hayal-edin-catalagzina-hosgeldiniz/).

Kömüre dair tespitler ise can yakıcıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın çevrimiçi hava kalitesi izleme ağının web sitesinden (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019) sunulan raporlara göre, Muğla'daki üç santralin atmosfere saldığı toz ve kükürt dioksit gazlarının en yoğun biriktiği Yatağan'ın havası tümüyle değişmiştir. Yatağan'da havadaki toz (PM10) yoğunluğu Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) insan sağlığı için belirlediği yıllık ortalama PM10 üst sınırının 2015'te 4 katı, 2016'da 3,5 katı olarak gerçekleşti. Yatağanlılar, özelleştirmeden sonraki ilk yıl olan 2015'te yılın % 80'inde, 2016'da yılın % 75'inde DSÖ'nün insan sağlığı için sınır olarak belirlediği havadaki maksimum toz yoğunluğu değerinin çok üstünde toz soludular (Kömürün Gerçek Bedeli – Muğla Raporu, 2019).

Yatağan'ın havasındaki kükürt dioksit (SO_2) konsantrasyonu ise, 2015'de 163 gün, 2016'da 57 gün DSÖ'nün günlük (24 saatlik) ortalama sınır değer olarak belirlediği 20 µg/m3'ün üstüne çıkmıştır. Bakanlığın web sitesinde 2017 yılında 277 gün, 2018 yılı boyunca ve 2019 Temmuz ayı sonuna kadar da hiç SO_2 ölçüm sonucu bulunmuyor (Kömürün Gerçek Bedeli – Muğla Raporu, 2019).

Terme sahillerinde kurulması planlanan ithal kömürlü termik santralın, OMV enerji üretim santralına 500 m mesafede olması nedeniyle, her iki santralın derin deniz deşarjları denizde kirlilik yükünü artıracak, deniz ekolojisini ve canlı yaşamını olumsuz etkileyecektir. Üstelik bu bölge, su ürünlerinin üreme ve yavru balıkların beslenme bölgesidir (TMMOB, 2015).

Ülkemizde diğer konularda olduğu gibi, termik santrallerde de özellikle ÇED raporlarında gerekli özenin gösterilmediği bilinmektedir. Örneğin, "Alpu Termik Santrali ve bu Santrale Kömür Sağlayacak Olan Rezerv Alanındaki Yeraltı Maden İşletmesi ile Kül Düzenli Depolama Tesisi Projesi Nihai ÇED Raporu" JMO (2019) tarafından irdelenmiş ve aşağıdaki rutin ve özen gösterilmesi gereken hususlara bile dikkat edilmediği belirlenmiştir:

- Jeoloji, hidrojeoloji ve jeoteknik veriler birbirine entegre edilmemiştir.
- Nihai ÇED Raporunda, yüzey ve yeraltı sularının, faaliyetlerin bileşenlerinden ne kadar etkileneceği ortaya koyulmamıştır.
- Saha ile ilgili çalışmaları yapan 2 önemli kuruluş olan MTA ve ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nün projeye temel oluşturan çalışmalarda birlikte çalışamadıkları, aralarında veri transferi konularında kopukluklar ve eksiklikler olduğu belirlenmiştir.
- Söz konusu faaliyet sonucu, lületaşı gibi dünyada eşi ve benzeri olmayan bir doğal kaynak alanı tahrip edilerek yok edilecektir.

• Gerçek anlamda çevrenin tüm bileşenleri açısından ***fayda-maliyet analizi*** yapılmadığı gibi, yerel kömürün kalitesindeki bir kömürün çıkartılmasının ne kadar ekonomik olacağı da değerlendirilmemiştir.

Üstelik, Eskişehir'e yapılması planlanan kömürlü termik santral için yapılan kömür aramalarında sondajın hafriyatının dereye döküldüğü, böylece çevre kirliliğinin başladığı duyumları alınmaktadır (http://www.anadolugazetesi.com/eskisehir-e-komurlu-termik-santral-gelmeden--kirliligi-geldi----108874.html). Böylesi uygulamaların çevrenin korunmasına hiçbir katkısı olamaz.

Öte yandan, ülkemizde termik santrallerde kullanılan yakıt türlerine göre çeşitli arızalar yaşanmaktadır. Santrallerinin arıza ve planlı bakım onarımlarına dair bildirimlere EPİAŞ Şeffaflık Platformu WEB sayfasından ulaşılabilir. Ancak kayıtlar irdelendiğinde bazı işletmelerin bildirimde bulunmadıkları, ya da çok az sayıda bildirim yaptıkları görülmektedir. Yapılan bildirimler esas alındığında, kömür santrallerinde kazan hasarları ve kömür değirmeni, doğal gaz kullanılan santrallerde ise buhar ve gaz türbinlerinde önemli boyutlarda arızaların meydana geldiği söylenebilir. Ne var ki, arıza bildirimleri standartlaştırılmamış, kodlanmamış, ortak lisans oluşturulmamış olduğu için, verilerin tasnifinde büyük zorluklarla ve belirsizliklerle karşılaşılmaktadır (Aytaç, 2017).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yukarıda termik santrallerin yapısı ve işleyişi, çevresel etkileri ve ortaya çıkan sağlık sorunları irdelenmiştir. Ayrıca çevresel etkilerin ÇED'in çatısı altında değerlendirilebileceği ortaya koyulmuştur. Sunulan bilgiler, termik santrallerin de ciddi çevresel etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, böyle bir faaliyetin de, planlama ve hazırlık, inşaat ve işletme evrelerinin ayrı ayrı değerlendirilmesinde yarar vardır. Her evrenin de toprak, su, hava (gürültü ve koku dahil), ekolojik ortam, doğal ve kültürel miras ile sosyoekonomik ortamlardaki etkileri dikkate alınmalıdır (Yılmaz, 2008 a ve b).

Ülkemizde termik santrallerde en çok linyit kullanılmaktadır. Linyit, düşük kalorifik değere sahip, kül ve kükürt içerikleri yüksek, düşük kaliteli bir kömürdür. Linyite dayalı santrallerde kükürt dioksit (SO_2) emisyonlarının yüksek olması en önemli sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, Afşin-Elbistan kömürlü termik santrallerinin Ekim-Kasım 2020 tarihli hava kalitesi ölçüm raporuna göre, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (ve DSÖ standartlarında), PM10, PM 2.5, NO_2 ve SO_2 açısından belirtilen sınır değerlerinin çok üstünde (bazı değerler için iki kat) olduğu saptanmıştır (Greenpeace, 2020).

Olası çevre sorunlarını aşmak üzere, termik santrallerin ***yer seçiminden*** başlayarak, santrallerin yönetiminde önemli yeri olan kullanılacak ***enerji türünün üretim süreçleri de dikkate alınarak*** planlanması, inşası, işletilmesi-teknolojisi, sökümü ve iyileştirilmesi bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Tesislerin işletilmesi de bu değerlendirmeden sonra, halkın da katılımıyla ***ÇED süreçlerinin şeffaf ve demokratik bir ortamda*** tartışılıp hayata geçirilmelidir.

Mevcut durumda, kimi meslek odaları kaygı içindedir. Özellikle TMMOB MMO'nın eleştirileri dikkate alınmalıdır (Yener, 2020):

1- Meslek etiği toplum sağlığı ve toplum yararı için soruyoruz. Çalışmalarına izin verilen kömür yakıtlı santrallarda baca gazlarındaki toz, kükürt ve azot oksit salımlarının azaltılması ve katı-sıvı atıkların bertarafına dair yükümlülükler eksiksiz olarak yerine getirildi mi?

2- Çevre mevzuatına göre alınması gereken tüm önlemleri aldıkları ve yasal yükümlülükleri karşılayarak çalıştırıldıklarına dair ciddi bilimsel ve güvenilir çalışmalar kamuoyu ile paylaşılmadan, salt idari kararlarla santralların çalışmasına izin verilmesi kamu vicdanına uygun mudur?

Sonuç olarak Odamız (MMO), atanmış ve seçilmiş yöneticilerin görevinin, santral yatırımcısı sermaye gruplarının çıkarlarını kollamak değil, her ne pahasına olursa olsun o bölgede yaşayan insanların, toplumun, çevrenin, doğanın ve ülkenin çıkarlarını korumak olduğu düşüncesindedir.

Termik santrallerde gelişmiş teknolojiler kullanarak, elektriğin birim üretimine karşılık gelen gaz emisyonları ve diğer kirletici miktarları azaltılabilir. Çevre mevzuatında da öngörüldüğü düzeyde

SO_2 emisyon değerlerini düşürmek amacıyla baca gazı desülfürizasyon (BGD) birimleri eklenebilir. Kömürün çevreye zarar vermeden yakmanın önlemleri alınmalıdır. Bunun için kazan tasarımı, kömür yıkama, gazlaştırma, akışkan yatak teknolojilerinin kullanılması hususları gözden geçirilmelidir.

Termik santrallerde ortaya çıkan kirliliği kısmen de olsa önlemenin yolu, özellikle işletme evresinde, en azından kalorisi yüksek kaliteli kömürlerin kullanılması ve termik santrallerin bacalarına ileri teknolojilere sahip filtrelerin konulmasından geçer (Yılmaz, 2008a ve b). Halen faaliyette olan ve kömürle çalışan mevcut termik santrallerin sorunları çözülmeden ve Jeolojik araştırma, finansman sorunları, arz ve talep dengesi gibi çözülmesi gereken temel sorunları aşmadan ülkeye yeni santralleri kurmanın, yarardan çok zararı olabilir.

2009 yılında yayımlanan "Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKK)"ne göre, termik santrallerdeki baca gazı kükürt dioksit sınır değeri 1.000 mg/Nm^3'tür. Bununla birlikte, AB'nin 2001 yılında onayladığı "Büyük Yakma Tesisleri Direktifi (LCP)"ne bağlı olarak Türkiye'de 2010 yılında yayımlanan ve bazı limit değerleri 2019 yılında uygulamaya girecek olan "Büyük Yakma Tesisleri Yönetmeliği" ne göre, emisyon limit değerlerinde azalma olacak ve kükürt dioksit için sınır değer 400 mg/Nm^3 olacaktır.

Ayrıca, AB'nin Büyük Yakma Tesisleri Direktifi'nden sonra 2010 yılında onayladığı Endüstriyel Emisyonlar Direktifi ile endüstriyel emisyonların, tüm alıcı ortamlara etkilerinin birlikte değerlendirildiği entegre yaklaşımı öngören ***"Entegre Çevre İzin"*** mevzuatı Türkiye'de yürürlüğe girmelidir. Bu çerçevede, yeni yapılacak tesisler ve mevcut tesisler için ***"Mevcut En İyi Teknikler"*** dokümanında belirlenen değerlere uygun sistemlerin kurulması beklenmektedir.

Termik santrallere dair emisyon değerlerini dünya standartlarına getirmek; halk sağlığı, ekosistem (hayvan ve bitki topluluğu) ve insani faaliyetler (tarım, ormancılık ve enerji planlaması gibi yaşamsal faaliyetler) açısından yaşamsal bir öneme sahiptir.

Ülkemizde, daha fazla çevre sorununa neden olmadan, baca gazı filtrelerinin takılması dahil, bir an önce eksikliklerin gidermesi, hatta yerli kömürlere uygun, çevre mevzuatındaki sınır değerlerini sağlayabilecek yerli baca gazı arıtma teknolojilerini geliştirilmesi ve gerekli yatırımların yapılması gerektiği açıktır.

JMO'nun öncülüğünde büyük bir emekle yapılan 2. Çevre jeolojisi Çalıştay'ının sonuç raporunda termik santraller konusuna dair tespitler aşağıda sunulmuştur (JMO, 2019):

Termik santrallerde yer seçimi, jeolojik (havza analizleri, doğal afet riskleri), çevre düzeni planlarına uygunluk, sosyoekonomik ve ekolojik analizler bir bütünsellik içinde yapılmalıdır.
Teknik ve yasal açıdan santrallerin denetimi bağımsız kurullarca yapılmalı, santrallerin çevresindeki yerleşimlerin çevresel ölçümleri düzenli yapılmalıdır. Denetim şeffaf ve kamuoyu tarafından ulaşılabilir olmalıdır. Örneğin, santrallere dair baca gazı ölçümleri, herkesin erişimine açılmalıdır.

Elektrik enerjisi üretiminde devlet, toplum yararını gözetmek zorundadır. Toplum yararı kavramı, muğlaklıktan çıkarılarak öznel olarak değerlendirilmelidir. Elektrik üretiminde yararlanılan doğal kaynaklar ve servetler topluma aittir. Elektrik enerjisinin üretimi, bir kamu hizmetidir. Kamu hizmeti de Devlet'in varlık nedenidir.

Özel sektör firmalarında enerji ve teknoloji konusunda bilgi ve deneyim eksikliği vardır. Bu durum üniversitelerin ara eleman eğitiminin geldiği durum ile yakından ilintilidir. Termik santral yönetiminin ve çalışanlarının büyük bir bölümü, belirli bir çevre bilincine sahiptir. Ancak faaliyet sahiplerinin baskısıyla, bazı kural dışı uygulamalar yapılmaktadır.

Ortaya çıkması olası sorunları aşmak üzere, termik santrallerin yer seçiminden başlayarak, santrallerin yönetiminde önemli yeri olan kullanılacak enerji türünün üretim süreçleri de dikkate alınarak planlanması, inşası, işletilmesi-teknolojisi, sökümü ve iyileştirilmesi bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Tesislerin işletilmesi de, bu değerlendirmeden sonra, halkın da katılımıyla ÇED süreçlerinin şeffaf ve demokratik bir ortamda tartışılıp hayata geçirilmelidir.

Özetle, toplum sağlığını ve kamu çıkarlarını korumayı ve geliştirmeyi amaçlayan demokratik enerji politikalarını ve programını; öncelikleri gözeterek planlayıp tasarlamak, kurgulamak, geliştirmek ve uygulamak için, çok disiplinli bir çaba zorunlu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Anar, A., 2017a.Termik Santrallerde Proses Güvenliği. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 321-337. https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyede-termik-santraller-2017-oda-raporu

Anar, A., 2017b.Termik Santrallerde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 339-364. https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyede-termik-santraller-2017-oda-raporu

ASTM, 1984, Annual book of ASTM standards. Gaseous Fuels; Coal and Coke: 1916 Race Street, Philadelphia, USA.

Avcı, S., 2005, Türkiye'de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri, Coğrafya Dergisi, Sayı 13, s. 1-27.

Ayçiçek, K. ve Katısöz, Ö., 2019, kömür yatırımları ve hidrojeolojik sistemin karşılıklı etkileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 141-166.

Ayday, C., 2019, Termik santral planlamasında gerekli ÇED raporunun CBS ile hazırlanabilirliği: Eskişehir-Alpu örneği, 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 167-175.

Aytaç, O., 2017, Türkiye'de termik santrallerde yaygın arızalar ve uzun duruşların nedenleri, sonuçları. Türkiye'de Termik Santraller, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Oda Raporu, Yayın no. 668, Ankara, 233-242.

Aytaç, O. 2018, Türkiye'nin Enerji Görünümü, TMMOB MMO, Sayı 691, Ankara, 263 s.

Başaran, M., 2013. Türkiye'de Kömürlü Termik Santrallar, ODTÜ Mezunlar Derneği, Enerji Grubu Cumartesi Söyleşileri, 23.02.2013, ODTÜ Vişnelik Tesisleri, Ankara.

Başaran, M. 2017, Türkiye'de Termik Santraller. TMMOB MMO, Ankara, 267 s.

Başaran, M., 2019, Türkiye'de kömürlü termik santrallar ve çevre teknolojileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 125-135.

BREF, 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, AB Komisyonu, s. 338-344.
https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/LCP/JRC_107769_LCPBref_2017.pdf, (Erişim tarihi: 30.10.2019).

Büyükhatipoğlu, H. ve UÇAR, İ., 2017, Termik santral yapım sürecinde edinilen deneyimler ışığında dikkat edilmesi gerekenler. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 367-372.

Canter, L.W., 1977, Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.

Cografyaharita.com, 2014, http://cografyaharita.com/haritalarim/4eturkiye-komur-santraller-haritasi.png

Çakmak, M., 2013, Termik santrallerde bilimsel destekli çevresel etki belirleme ve değerlendirmeler. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 279- 286.
Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (eds).

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

ÇŞB, 2017. ÇED alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi, Termik Santraller. https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiAj437xNDlAhUoxcQBHaZ8Cx8QFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwebdosya.csb.gov.tr%2Fdb%2Fced%2Ficerikler%2Ftermik-santraller-20180418123658.docx&usg=AOv-Vaw1Ajv1-sIrDFF_ye-LXL5Cd, (Erişim tarihi: 30.10.2019).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı http://www.havaizleme.gov.tr/Services/AirQuality

DEK TMK, 2010, Temiz Kömür Teknolojileri, DEK TMK (Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi) Mart 2010 Yayınları.

Dikmen, A. Ç., 2017. Kömür yakıtlı termik santrallerin çevreye olumsuz etkileri ve bu etkilerin bertarafı. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 263-276. https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyede-termik-santraller-2017-oda-raporu

Dönmez, H. ve Ercan, N., 2019, Kömür santralleri ve çevresel etkileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santraller Çalışma Grubu Oturumu, Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 89-123.

Gacal, F. 2019, Türkiye'de kömürlü termik santrallerin hava kirliliği emisyonları ve sağlık etkileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No; 142, Ankara, s. 136-140.

Gautier, C., 2005, Petrol, Su ve İklim, TÜBİTAK, Ankara, 32 s. http://www.epa.gov/climatechange/effects/downloads /potential_effects.pdf.

Greenpeace, 2020, Afşin-Elbistan kömürlü termik santrallerinin Ekim-Kasım 2020 tarihli hava kalitesi ölçüm raporu. Greenpeace Akdeniz ve Barem Çevre Laboratuvarı, Şişli-İstanbul, 26 s.

HEAL, 2015, "Ödenmeyen Sağlık Faturası", https://www.env-health.org/unpaid-health-bill-how-coal-powerplants-make-us-sick/

Higgins., R.A., 1976, Engineering Metallurgy: Hodder and Stoughton, Londra, 467 s.

http://cografyaharita.com/haritalarim/4eturkiye-termik-santraller-haritasi.png: Erişim 24 Kasım 2020

http://www.anadolugazetesi.com/eskisehir-e-komurlu-termik-santral-gelmeden--kirliligi-geldi----108874.html

http://www.diken.com.tr/arka-bahcenizde-termik-santral-hayal-edin-catalagzina-hosgeldiniz/

http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/2012-yagisdegerlendirmesi).

http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12619: Erişim 05 Eylül 2019

IPCC, 2011, IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. vonStechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp. (Chapter 5 & 9).

JMO, 2019, II. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Yayın No; 142, Ankara, 354 s.

Kellermeyer, D. A., 1980, Climate and energy: a comparative assessment of the Satellite Power System (SPS) and alternative energy technologies. http://adsabs.harvard.edu/abs/1980STIN.8030914K; 1980 [accessed March 2009].

Kömürün Gerçek Bedeli – Muğla Raporu, 2019, http://komurungercekbedeli.org/ Climate Action Network Europe ve paydaş organizasyonlar tarafından Temmuz 2019'da İstanbul'da yayınlandı.

MMO, 2017, Türkiye'de Termik Santraller, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Oda Raporu, Yayın no, 668, Ankara, 470 s.

MTA, 1993, Türkiye Linyit Envanteri, Ankara, 232 s.

Ocak, K., Özaydın, S. ve Saraçoğlu, E., 2013. Kömürlü Termik Santraller ve Çevresel Etkileri. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 331-339.

Özsayın, S., 2013, Enerji alternatiflerinin çevre ile etkileşimi. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 287- 299.

Reeves, H., Lenoir, F., 2006, Yeryüzünün Acısı, YKY, İstanbul, s. 52.
Report to congress, Technical report EPA-230-050-89-050. Washington DC (USA).

Rennings, K. ve Smidt, W. 2010. A Lead Market Approach towards the Emergence and Diffusion of

Coal-Fired Power Plant Technology.
https://www.researchgate.net/publication/46559067_A_Lead_Market_Approach_towards_the_Emergence_and_Diffusion_of_Coal-Fired_Power_Plant_Technology (Erişim tarihi:30.10.2019).

Salıcı, İ., 2019, Termik santralların çevre sorunları ve yer seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 37-68.

Sert, M. Y., 1990, Kömür Yakıtlı Termik Santrallerde Başlıca Çevre Sorunları ve Önlemler, Elektrik Mühendisliği, Sayı 376, Ankara, 267 s.

SKHKKY, 2014, 03.09.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğini Kontrol Yönetmeliği ile 20.12.2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan ilgili yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Ek-2.

Smith, J.B. ve Tirpak, D.A., 1989, Potential effects of global climate change on the United States.

Storch, V.H., Zorita, E. ve Cubasch, U., 1992, Downscaling of global climate change to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime. Journal of Climate, American Meteorological Society; 6, 1161-1171.

Tamzok, N., 2017, Türkiye'de Termik Santraller, TMMOB MMO, Ankara, s. 77; 239 s.

TEİAŞ, 2018 a. Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2018 Yılı İstatistikleri, ttps://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-2018-yili-istatistikleri (Erişim tarihi: 30.10.2019).

TEİAŞ, 2018 b. Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2018-2022), https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-09/Kapasite_Projeksiyonu_2018_2022, (Erişim tarihi: 30.10.2019).

Tekin T. F. ve Yılmaz, A. 2019, Termik santrallerin yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu,, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 69-88.

TMMOB, 2015, TMMOB Terme Termik Santral Raporu. 1. Baskı, Ankara, 23 s.

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2012, İstanbul Çevre Durum Raporu 2012, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İstanbul, 16 s.

Türkyılmaz, O., Bayrak, Y., 2018, Türkiye'nin Enerji Görünümü, TMMOB MMO, Sayı 691, Ankara, s. 74.

Ward, P.D., 2014, Yerküre Sulara Gömülürken, TÜBİTAK, Ankara, 82 s.

Wikipedia, 2010, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Global_Temperature _ Anomaly (Fig.A).gif

Yener, Y., 2020. Basına ve kamuoyuna: Çevreyi kirleten linyit yakıtlı santralların çalışmasına izin verenlere MMO meslek etiği, toplum sağlığı ve toplum yararı için soruyor 11.6.2020, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Başkanı

Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.

Yüksel, Ü. D. ve Baştanlar, D., 2013, Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinde Peyzaj Onarım Planları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 555- 567.

Bölüm 20. 6. NÜKLEER SANTRALLER

GENEL BİLGİLER

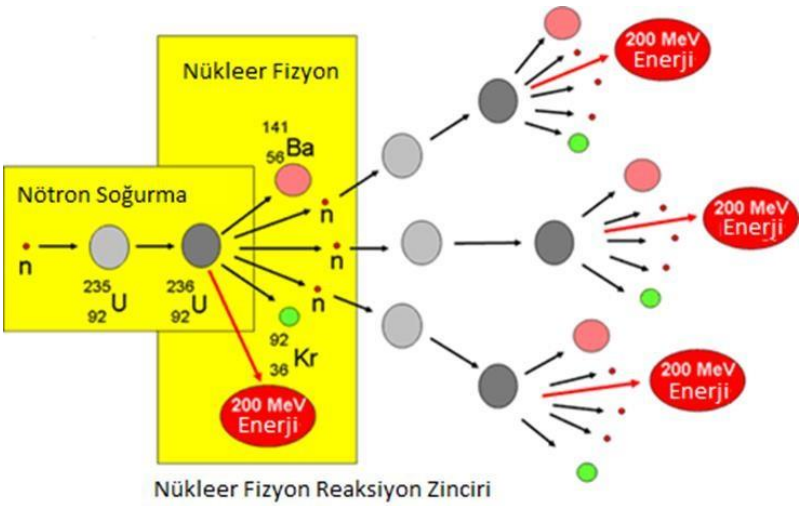
Nükleer tesislere yönelik eleştirilere karşın, nükleer enerjiye yönelik çabaları anlayışla karşılamak gerekmektedir. Çünkü, nükleer enerjiye dayalı çabalar, kapsamlı ve insanlığın geleceğini etkileyecek boyutlarda önemli teknolojiler içermektedir. Bu teknolojilerden kopmak, geleceği riske etmek demektir. Ayrıca, günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli gereksinimi enerjidir. İnsanlığın enerji sorununa kalıcı çözümün, nükleer enerji olduğu birçok bilim insanı tarafından dile getirilmektedir. Nükleer enerjinin iki üretim türü vardır. Bunlardan biri, gerçekten çok uzun dönemde insanlığın enerji açısından kurtarıcısı olduğuna inanılan füzyon enerjisi, diğeri ise fizyon enerjisidir. Nükleer santraller konusuna girmeden önce, füzyon ve fizyon gibi kavramların tanımlanmasında yarar vardır.

Füzyon ve fizyon kavramları

Nükleer enerji, kökeni Güneş olmayan tek enerji türüdür. Kütle-enerji eşdeğerlik bağıntısıyla (E=mc2), kimi hafif elementlerin çekirdekleri düzeyindeki birleşme ya da kimi ağır elementlerin çekirdekleri düzeyindeki parçalanma işlemleri sonucu enerji doğar. Günümüzde bu enerji, genel olarak uranyum atomlarının ya da uranyumun başkalaşımından doğan plütonyum atomlarının parçalanmasıyla üretilir. Parçalanmanın açığa çıkardığı ısı enerjisi, genellikle doğrudan mekanik enerjiye ve ardından elektrik enerjisine dönüştürülür.

Füzyon, iki çekirdeğin kaynaşması ve buna bağlı olarak enerjinin ortaya çıkması olayıdır. Ancak füzyon enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi elde etmenin ticari boyuta ulaşmasına gereksinim vardır. Füzyon reaktörünün prototipleri ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu reaktörlerin çalışması için aşırı düzeyde basınç ve ısı gerekmektedir. Örneğin, Güneş devasa bir füzyon reaktörüdür. Yapay reaktörler bir sorun ortaya çıktığında durur. Radyoaktif atık yok denecek kadar az ortaya çıkar. Yan ürün genel olarak helyumdur. Güvenli bir enerji olduğundan, füzyon enerjisinden yararlanma yolları bulunacak ve insanlığın hizmetine sunulacaktır.

Diğer tür ise, halen insanlığın hizmetinde bulunan ve elektrik enerjisi üretim santrallerinin yapımında kullanılan fizyon enerjisidir. ***Fizyon***, büyük bir çekirdeğe sahip elementin çekirdeğinin parçalanması (Şekil 1) ve buna bağlı olarak enerjinin ortaya çıkması olayıdır.



Şekil 1. Fizyon, bir çekirdeğin parçalanması
http://www.habercizgi.com/index.php/2020/01/01/nukleer-enerji-nedir/ (15 Kasım 2020).

Bu olay sonucunda orta ağırlıkta ve daha duraylı iki çekirdek meydana gelir. Fizyon tepkimesinin gerçekleştirilmesi, çok pahalı ve tehlikelere açıktır. Örneğin Three Mile Island, Çernobil ve Fukuşima teislerinde yaşanan facialar fizyon tepkimelerinin sonucu olan olgular olup asla unutulamaz.

Çekirdek denilen parçacıklar proton ve nötrondan oluşurlar. Pozitron, + (artı) yüklü, elektron- (eksi) (e-) olarak tanımlanır. Proton sayıları aynı, nötron sayıları farklı elementler ise birbirinin ***izotopları*** olarak adlandırılırlar. Fizyondan çıkan nötronların tekrar fizyona yol açması ***zincirleme tepkimeye*** yol açar. Nükleer radyasyon ise kararsız çekirdekler tarafından salınan ışınlardır.

Fizyon sürecinde, atom parçalanır ve bunun sonucunda elde edilen enerji ile geleneksel nükleer santraller çalışır. Bir hibrit füzyon-fizyon tesisinde füzyon patlamalarından çıkan nötronlar fizyon ürettiği için zincir reaksiyonu sürdürme gereği ortadan kalkar. Bu uygulama olası yakıt menüsünü de çeşitlendirir.

Nükleer enerji hammaddeleri kapsamına uranyum ve toryum girmektedir. Uranyum ve plütonyum atom çekirdeklerinin parçalanması sonucu elde edilen nükleer güç, çeşitli ülkelerde, insanoğlu için denetlenebilir enerji sağlanmasına önemli katkılarda bulunmaktadır. Uranyum gibi, toryum da önemli bir nükleer yakıt hammaddesidir. Ancak toryuma dayalı nükleer santrallerin henüz gelişme evresinde olması ve bu sektörün dışındaki kullanımının sınırlılığı nedeniyle, doğrudan toryum aramalarına çok önem verilmemiştir.

Nükleer enerji ve uyum kriterleri

Her enerji türü, ülkenin gerçekleri gözetilerek değerlendirilmelidir. Nükleer enerji açısından mevcut durum değerlendirildiğinde özellikle bazı uyum ölçütlerinin gözetilmesi gerektiği açıktır. Söz konusu ölçütler, Bektur (2006; 2019) tarafından tanımlanmıştır:

1- Çevresel uyumluluk zorunludur. Nükleer enerjinin, çoğu gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan ve sürdürülebilir kalkınmanın en önemli ölçütlerinden biri olan çevresel uyumluluk koşulunu sağlaması gerekir.

2- Yakıtın bulunabilirliği ve atık yönünden olaya bakıldığında, nükleer enerjinin gelecek kuşaklar için (atık bakımından bazı kaygılar olmakla birlikte) çözülemeyecek bir sorun yaratmaması beklenir.
3- Talepte de uyum gerekir. Söz konusu uyum, enerji kaynaklarını çeşitlendirmeyi ve teknoloji taleplerini de içermektedir. Bu çerçevede büyük nüfuslu metropollerin enerji gereksinimlerinin karşılanmasında nükleer santral gibi merkezi güç sistemlerine talebin de kaçınılmaz olacağı öngörülmektedir.
4- Sosyo-politik uyum beklenir. Bu çerçevede, kamuoyunun aydınlatılmasına yönelik akademik çalışmaların katkısıyla, halkın kararsızlıklarının giderilebileceği ve sosyo-politik uyumun da sağlanabileceğini öngörmektedir.
5- Jeopolitik uyum gerekir. Bu açıdan bakıldığında nükleer enerjinin, diğer enerji kaynakları ile benzer özelliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır.
6- Nükleer yakıt fiyatlarında uzun vadede bir artış beklenmemesi ve artış olsa dahi bunun toplam üretim maliyetine etkisinin az olması, nükleer santraldan üretilecek elektriğin uzun vadeli maliyet hesaplarının güvenilir şekilde yapılabilmesine ve elektrik fiyatlarının sabitlenmesine olanak vermelidir. Bu durum, bir ülkede uzun vadeli ekonomik programların oluşturulmasında, nükleer santrallerin ekonomik elektrik üretim aracı olarak nitelendirilebileceğini öngörmektedir.

NÜKLEER HAMMADDELER VE TÜRKİYE'NİN NÜKLEER HAMMADDE KAYNAKLARI

Nükleer enerji hammaddesi olarak kullanılan en önemli radyoaktif elementler uranyum ve toryumdur. Bu iki element de çeşitli minerallerin bileşiminde yer almaktadır (Yılmaz, 2008a; 2009b). Uranyum ve toryum gibi radyoaktif element içeren minerallere radyoaktif mineraller denir.

Dünya'daki biricik nükleer enerji hammaddesi olan Uranyumu; 1789'da Klaproth bulmuştur. Uranyumun radyoaktif özelliği ise ilk defa 1895 yılında Fransız bilgini H. Becquerel (Bekerel)

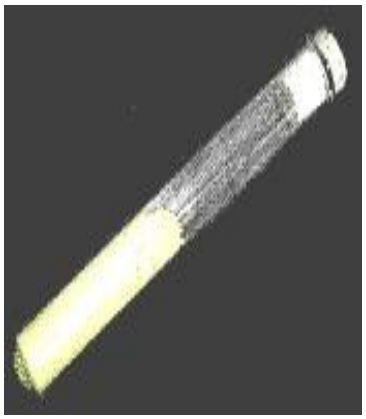
keşfetmiştir. Uranyum, magmatik, çökel ya da metamorfik kayaların içinde yer alabilir. Bu kayaların kökeni Yer'in kendisidir. Dolayısıyla Uranyumun kökeni de Yeryuvarı'nın bizzat kendisidir.

Uranyum

Uranyumun genel özellikleri Şekil 2'de sunulmuş olup, Uranyum doğada hiçbir zaman serbest olarak bulunmaz. Çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. Yerkabuğunda yüzlerce uranyum minerali vardır; ancak bunların büyük çoğunluğu ekonomik boyutta uranyum içermezler. Ekonomik yatak oluşturanlar, uraninit (pitchblende), otinit ve torbernit'dir. Doğada +4 ve +6 değerlikli olarak yer alan uranyum minerallerini hem değerlilik hem de oluşum bakımından 2 grupta toplamak mümkündür.

Birincil uranyum mineralleri: Bunlar, magma ürünü mineraller olup, hepsi +4 değerliklidir. Aşağıda %80 uranyum içeriği ile en önemli uranyum minerallerinden olan uranitit mineralinin bazı özelliklerine ilişkin bilgiler verilmiştir Şekil 3'de görülmektedir.

Adı	Kimyasal bileşimi
Uraninit	UO_2
Penblend	$xUO_2.yUO.z.PbO$
Koffinit	$USiO_4(OH)_4$
Brannerit	$UTi2O^*6$
Uranotorit	$(U.Th)SiO_4$
Davidit	$(Fe, Ce, U)\ (Ti, V,Cr, Fe)_3(O,OH)_7$



Adı	URANYUM
Sembol	U
Atom numarası	92
Atomik Yığın	238.0289 amu
Erime Noktası:	1132.0 °C (1405.15 °K, 2069.6 °F)
Kaynama Noktası:	3818.0 °C (4091.15 °K, 69004.4 °F)
Proton ve Elektron Sayısı:	92
Nötron Sayısı:	146
Sınıfı:	Aktinitler (Yeryüzünde nadir bulunuyor)
Kristal Yapısı:	Orthorhombic
Yoğunluk:	18.95 g/cm^3
Bulunuş Tarihi:	1789

Şekil 2. Uranyumun özellikleri (MTA, 1994).

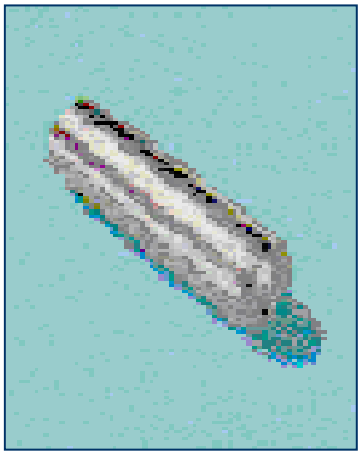
II. Dünya Savaşına kadar ekonomik önemi çok sınırlı bir element olan uranyum, teknolojinin gelişmesi ile birlikte atom bombasında kullanımı ile başlayan ve başka hiçbir metalde görülmemiş bir hızla stratejik önem kazandı. 1944 yılında yapılan üretim ve araştırma reaktörlerinden sonra, 1954 yılında Rusya'da ilk kez Obninsk'te 5 Mw gücünde elektrik enerjisi üreten reaktörle üretime başlanmıştır.

Adı:	URANİNİT (PITCHBLENDE)
Kimyasal bileşimi:	UO_2
Kristal Sistemi:	Kübik
Kristal Biçimi:	Genellikle kübik kristali, dendritik agregatlar , masif tanesel İkizlenme, {111} yüzeyinde nadir
Sertlik:	5-6
Özgür Ağırlık:	7.5-10
Dilinim:	Parlatma Kesitlerinde oktahedral
Renk ve Şeffaflık:	Siyah-kahverengimsi ya da grimsi siyah; opak
Çizgi Rengi:	Kahverengimsi siyah ya da gri
Parlaklık:	Yarı metalik
Ayırıcı Özellikleri:	Yüksek özgül ağırlığı, rengi ve radyoaktivitesi
Bulunuşu:	Kristalize uraninit, pegmatitlerde, granitik ya da siyenitik kayalarda, monazit, zirkon ve turmalin ile birlikte bulunur. Hidrotermal damarlarda ve sedimanter kayalarda da görülebilir.

Şekil 3. Uranyum içeren en önemli mineral Uranitit'in özellikleri (MTA, 1994).

Toryum

Toryum elementinin özellikleri Şekil 4' de sunulmuştur. Doğada yaygın bulunan uranyum dışında en önemli ve tek radyoaktif element toryum olup, uranyumdan sonra, onun yanında nükleer yakıt maddesi olarak kullanılmaktadır. Yarı ömrü U- 238 izotopundan 2.5 kat daha uzun, yaklaşık 14 milyar yıl olan toryum, başlıca monazit ve ilmenit minerali şeklinde ve genellikle nadir toprak elementleri ile birlikte bulunmaktadır. Doğal yatağında 6 alfa, 4 beta ışıması yaparak radyoaktif olmayan 208 kütleli kurşun izotopuna dönüşür.



Adı	TORYUM
Sembol	Th
Atom numarası	90
Atomik Yığın	232.0381 amu
Erime Noktası:	1750.0 °C (2023.15 °K, 3182.0 °F)
Kaynama Noktası:	4790.0 °C (5063.15 °K, 8654.0 °F)
Proton ve Elektron Sayısı:	90
Nötron Sayısı:	142
Sınıfı:	Aktinitler (yeryüzünde nadir bulunuyor)
Kristal Yapısı:	Kübik
Yoğunluk:	11.72 g/cm^3
Bulunuş Tarihi:	1828
Buluşu yapan:	Jons Berzelius

Şekil 4. Toryumun genel özellikleri (1994).

Toryum da uranyum gibi doğada serbest halde bulunmamakta, ancak 60 dolayında mineralin içinde yer almaktadır. Bunlardan sadece monazit ve torit, toryum üretiminde kullanılır. Toryum minerallerinin çoğu aynı zamanda uranyum mineralleridir. Fakat içinde toryumu fazla olan mineraller vardır. Örneğin monazit, nadir toprak mineralleri seryum grubuna dâhil bir fosfattır. Bileşiminde %5-14 ThO_2 bulunur. Monazit minerallinin özelliklerine ait bilgiler Şekil 5' de sunulmuştur.

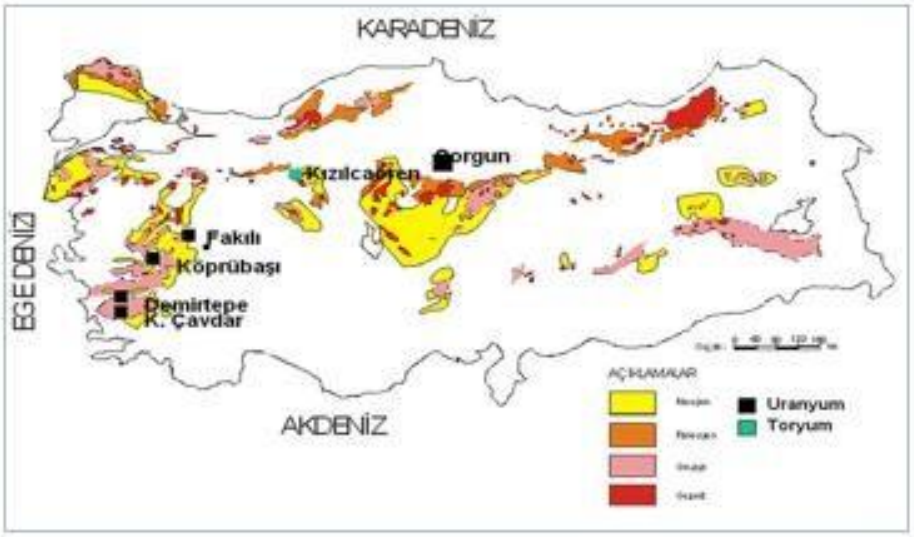
Adı:	MONAZİT,
***Kimyasal bileşimi*:**	(Ce,La, Th) PO_4
***Kristal Sistemi*:**	Monoklinik
***Kristal Biçimi*:**	Kristalleri genellikle levhamsı, kısa prizmatik
Sertlik:	5,5.5
***Özgür Ağırlık*:**	4.60-5.4
Dilinim:	(100)
***Renk ve Şeffaflık*:**	Kırmızımsı ya da sarımsı kahverengi, kahverengi, pembe, sarı, yeşilimsi grimsi beyaz, şeffaf-yarı şeffaf
Parlaklık:	Reçinemsi
***Ayırıcı Özellikleri*:**	Zirkondan daha yumuşak olması ile ayrılır.
Bulunuşu:	Granitlerin ve pegmatitlerin aksesuar minerallerdir. Gnayslarda karbonitlerde de bulunabilir.

Şekil 5. Toryum içeren Monazit mineralinin özellikleri (MTA, 1994).

Toryum enerji üretimi dışında; ***gaz fitilleri yapımında, kimya endüstrisinde, tıpta, özel lambaların ve katotların yapımında*** ve ***hidrojenlendirme işlerinde katalizör olarak*** az miktarda tüketilmektedir. Toryum, yarılanma özellikleri gözetilerek bazı birimlerin jeolojik yaşını belirlemede (radyoaktif yaş yöntemleri çerçevesinde) de kullanılmaktadır. Toryum, yakıt döngüsünde uranyumdan daha az atık üretmektedir. Dolayısıyla, toryum nükleer santrallerin en temiz yakıtı olarak kabul edilir. Çevreye daha az radyoaktif kirliliğe yol açması nedeniyle, nükleer reaktörlerde uranyum yerine toryumun kullanılması, ileri teknolojiye sahip enerji üretim tesisleri üretildiğinde, tercih edilebilir.

Toryum, yakın gelecekte nükleer santrallerde kullanılabilme potansiyeli olan bir maddedir. Ayrıca, Türkiye'deki toryum rezervi, kayda değer düzeydedir. Türkiye'nin, toryum alanındaki kabiliyetlerini idari, beşeri ve fiziki olmak üzere üç ana sahada geliştirmesiyle birlikte, öngörülebilir bir gelecekte kendi milli toryum teknolojisine sahip olması gerekir (Sultansoy ve diğerleri, 2015).

Ülkemizde bilinen uranyum ve toryum yatakları vardır. Şekil 6' da görüldüğü gibi uranyum yatakları daha çok Ege bölgesinde yer almaktadır. Ayrıca Şebinkarahisar'ın kuzeyinde bazı çalışmalar devam etmektedir. Bilinen en önemli toryum yatağı ise Eskişehir'in GB'ındaki Beylikahır mevkiindedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalardan elde edilen bilgi ve deneyimler ışığında, belirlenmiş olan rezervlerin ülkemizin tüm potansiyelini ifade etmediği, dolayısıyla aramalara gereken kaynağın ayrılması ve daha büyük yatakların bulunması için çaba harcamalıdır. Bu çalışmalar en azından ülkemizin potansiyelini belirleme açısından yapılmalıdır.



Şekil 6. Türkiye'nin Uranyum ve Toryum yatakları (MTA, 2017).
https://www.dogadergisi.com/turkiye-uranyum-rezervleri/ (15 Kasım 2020).

2017 yılı verilerine göre ülkemizde Yozgat, Manisa Aydın, Uşak il sınırları dahiline toplam 12.614 ton uranyum rezervi olduğu belirlenmiştir. Nevşehir-Avanos-Yeşilöz sahasında uranyum arama çalışmalarına devam etmektedir. 1977 yılında hazırlanan rapora göre söz konusu bölgedeki cevherin ortalama tenörü % 0,21 ThO_2, toplam rezerv yaklaşık 374.000 ton ThO_2 olarak belirlenmiştir (MTA, 2017). Belirlenen Uranyum ve Toryum yataklarına dair rezervler jeolojik rezervlerdir. Bu konuda daha özel çalışmaların yapılmasında yarar vardır. Ancak, yukarıda sunulan veriler esas alındığında, uzun vadede, nükleer hammadde sağlama açısından, ülkenin kaynaklarının yeterli olup olmadığı değerlendirilmelidir.

NÜKLEER TEKNOLOJİ

Bazı atomlar bir nötron yutunca bölünür, yukarıda da belirtildiği gibi, bu olaya 'fizyon' (çekirdek bölünmesi) denir. Fizyon olayı, gelen nötronun enerjisi belli bir düzeyin (eşik düzeyi) üstünde ise gerçekleşir. Bazı izotoplar için böyle bir eşik enerjisi söz konusu değildir. Yani nötron enerjisiz de olsa da bu tür izotoplar tarafından yutulduğunda fizyona yol açabilir. İşte bu izotoplar ***'fisil'*** diye tanımlanır. ***Nükleer reaktörde asıl nükleer yakıt, fisil izotoptur.***

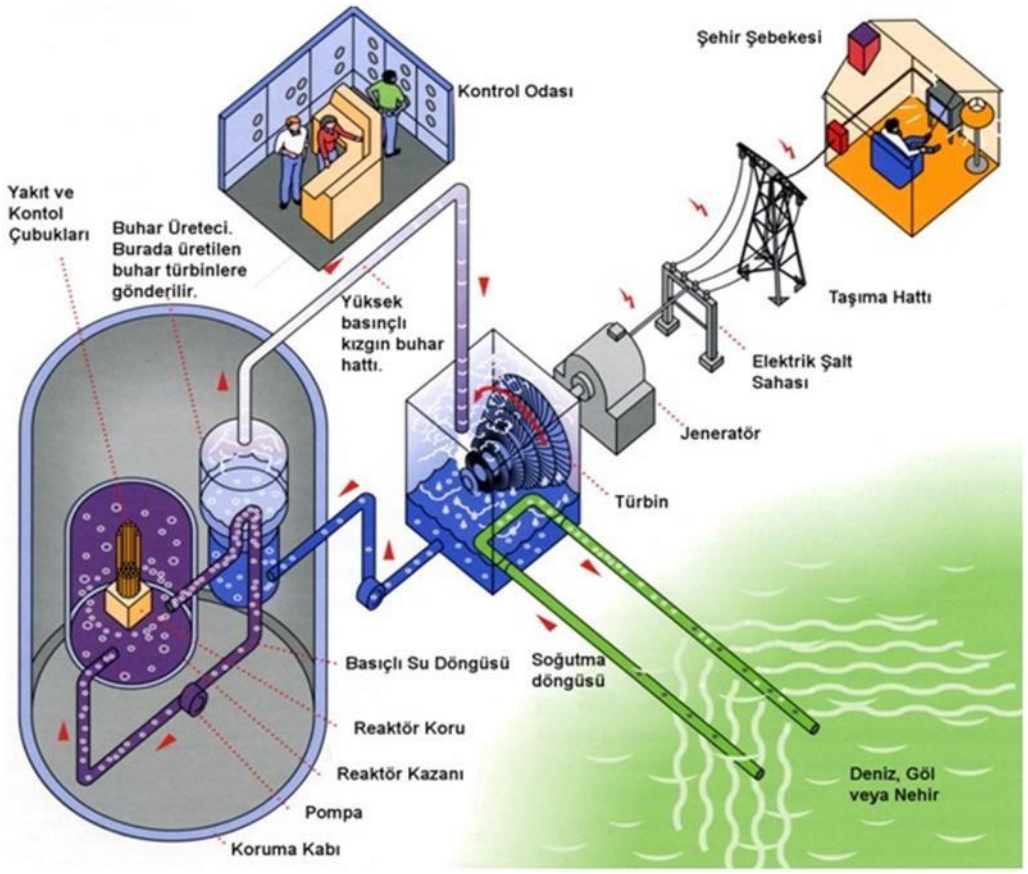
Nükleer Reaktör (NR) fizyon zincir reaksiyonunun bire bir kontrollü olarak sürmesini ve bu sırada oluşan ısının düzenli ve sürekli bir şekilde sistemden çekilmesini sağlamak üzere tasarlanmış bir makinedir. NR özde ısı üretir. Bu ısıyı kullanarak elektrik üreten tesislere ***Nükleer Güç Santrali (NGS)*** denir. NGS'nin termik santralden farkı, ısının, yani enerjinin fosil yakıt yakma yolu ile değil, fizyon yolu ile sağlanmasıdır (Zabunoğlu,2015).

Günümüzde uluslararası nükleer santral piyasasında iki tip nükleer reaktör egemen durumdadır:

1- Zenginleştirilmiş nükleer yakıt kullanan ***hafif su soğutmalı reaktörler***: Bunların kazanları yaklaşık 350 ^{0}C ve 160 atmosfer basınca dayanıklı olmaları gerekir. Ayrıca kazanların yüksek alaşımlı çelikten üretilmeleri ve et kalınlıklarının 15- 20 cm dolayında olmalarında yarar vardır. Bir ülkede yeterli düzeyde zenginleştirilmiş yakıt üretilemiyorsa, dışa bağımlı bir durum da ortaya çıkar.

2- Doğal uranyum kullanan ***ağır su soğutmalı reaktörler***: Reaktör kazanı sadece kendi ağırlığını taşır. Bunların kazanları yaklaşık 60 ^{0}C sıcaklığa maruz kalır ve düşük nitelikli, 2,5 cm kalınlığında sacdan yapılabilir.

Su soğutmalı reaktörler giderek gelişmektedir. Örneğin basınçlı su reaktörleri daha kapsamlı yapılardır. Bu yapıların temel bileşenleri Şekil 7'de görülmektedir. Teknik açısından nükleer enerjinin iki üretim türü vardır. Bunlardan biri, gerçekten çok uzun dönemde insanlığın enerji açısından kurtarıcısı olduğuna inanılan füzyon enerjisidir.



Şekil 7. Nükleer güç santrali basınçlı su reaktörü (Zabunoğlu, 2015). https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/nukleer-8220;alternatif8221;-mi/4173#ad-image-0 (Erişim, 26 Mart 2019).

Ayrıca, nükleer yakıtların üretilmesi ya da reaktörlerde kullanılması sırasında çevresel etkileri sınırlamanın da bazı yol ve yöntemleri vardır. Örneğin kullanılmış nükleer yakıtlar son derece radyoaktif olmalarının yanı sıra, soğutmayı gerektirecek ölçüde ısı da ürettikleri doğrudur. Ancak bu reaktörlerden alınan yakıtlar daha sonra havuzlarda soğuk su ile soğutularak alıcı ortama verilebilirler.

Nükleer atıklar ise, önce paslanmaz çelik (ya da titanyum) silindirlere, sonra bu silindirler de metal muhafazalara koyulur ve yeraltındaki tünellerde (ya da odalarda) açılmış boşluklara yerleştirilirler. Boşlukların üstüne bir tıkaç koyup dolgu malzemesi (muhtemelen kil) ile kapatılır. Yeraltı deposu dolunca tüneller de doldurulur ve depo kapatılır. Böylece bu atıkların uzaklaştırılmasında da ek bir koruma sağlanabilir.

Kullanılmış yakıtlar, içerdikleri uranyum ve plütonyumu geri kazanmak üzere işlenirlerse, fizyon ürünleri ve uranyum ötesi elementlerden oluşan bir sulu atık çözeltisi elde edilir. Bu çözelti önce kuruyana kadar buharlaştırılır ve yüksek sıcaklıkta cam eriyiği ile karıştırılıp metal silindirler içine boşaltılıp soğuduğunda, katılaşıp camsı bir yapı (camlaştırılmış atık) kazanır.

Camsı yapı, suda kolay çözünmeyen, uygun mekanik özelliklere sahip, binlerce yıl kararlı olarak kalabilen, ucuz ve işlenmesi kolay bir gereç olduğu için günümüzde nükleer atık formu olarak tercih edilmektedir. Camsı atık formları, yüksek güvenlikli kaplar olup, nükleer atıkların yeraltı suları ile temasını engelleyecek ve binlerce yıl dayanacak şekilde tasarlanabilir. Oysa söz konusu nükleer atıklar, 300- 500 yıl arasında zaten zararsız hale gelmektedir. Nükleer atık ile dolu camsı silindirler, bir metal muhafaza içine de koyulup yeraltındaki boşluklara yerleştirilebilir. Örneğin jips domlarının geliştiği arazilerde meydana gelen geniş ve doğal boşluklar jeolojik ve jeofizik yöntemlerle belirlenebilir. Yer altında belirlenen boşlukların tasarımını ve güvenliğini sağlamak teknik açıdan mümkündür. Dolayısıyla, bu boşluklar, nükleer atıklar için kullanılabileceği gibi; nükleer atıkların için derin kuyu enjeksiyonları ya da okyanusların derin çukurlarına boşaltma gibi yöntemler de planlanabilir.

Büyük boyutlu geleneksel (konvensiyonel) 3+ dahil reaktörler, ömürlerini tamamlamak üzeredir. Günümüzde ise, nükleer teknoloji baş döndürücü bir hızla gelişmektedir. Söz konusu teknolojiler, çok dikkatle ve özen göstererek izlenmelidir. Ayrıca, gelişen teknolojiler, teknolojilerin çevresel etkileri gözetilerek desteklenmelidir. Gelişmekte olan teknolojilerden biri de küçük modüler nükleer reaktörler (small modular reactors) alanında yaşanmaktadır. Hızlandırıcıya dayalı nükleer reaktörlere ilişkin çalışmalar günümüzde hız kazanmaktadır. Ülkemizde planlanan nükleer tesisler için, yeni ve gelişmekte olan teknolojilerden yararlanılmalıdır.

Küçük modüler reaktörler, özü itibarıyla, hafif su reaktörlerinin bir sürümüdür (versiyonudur). Söz konusu reaktörlerde, soğutma suyunun dolaşımı, yerçekimi ve suyun kaldırma kuvvetinden yararlanarak gerçekleşmektedir. Ayrıca reaktörlerin boyutları küçük olduğundan, tesisin içinde küçük bir alana yerleştirmek mümkündür [https://www.popularmechanics.com/science/a34431835/nuscale-small-modular-reactors-government-grant/ (21 Ekim 2020)]. Ayrıca, küçük modüler reaktörlerin çeşitli türleri gelişme aşamasındadır. Bunlar, su soğutmalı olabileceği gibi, yüksek sıcaklık gaz soğutmalı, hızlı nötron spektrumlu, ergimiş tuz ve mikro boyutlu türleri de giderek gelişmektedir (https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf). Ergimiş tuz reaktörlerinde, ülkemizde yeterli rezervi olan Toryum'un yakıt olarak kullanılabilme şansıda vardır. Bu modelin birkaç yıl içerisinde ticarileşmesi beklenmektedir.

Öte yandan nükleer füzyon reaktörü geliştirilirse, temiz, neredeyse sınırsız ve düşük karbon değerine sahip enerjiye ulaşılabilir. Tıpkı milyarlarca yıldır Güneş'te olduğu gibi ya da evrendeki sayısız yıldızlarda olduğu gibi, hidrojen gibi hafif elementlerin füzyonla birleştirerek daha ağır elementlere dönüşmesi ve ortaya çıkacak yüksek orandaki enerjinin de elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanımı mümkündür. Böylece nükleer füzyon, dünyadaki enerji sorunlarını ortadan kaldırmak üzere kilit rol oynayabilir [https://www.haber7.com/teknoloji/haber/3030750-ingiltere-nukleer-fuzyonla-ilk-plazmayi-uretti/?detay=1 (05.11.2020 09:25)].

Günümüzde, artık, proton hızlandırıcısı ile toryumdan enerji üretiminin verimliliği, başlı başına ayrıntılı tartışılan bir konudur. Nükleer fizyon tepkimesi için nötron kaynağı olarak bir proton hızlandırıcının kullanıldığı ADS (Accelerator Driven System) teknolojisi, Türkiye'de Hızlandırıcı Sürümlü Sistem (HSS) olarak adlandırılmaktadır. Bu teknolojide toryum elementinin de kullanılması mümkündür. Toryum-232'nin, doğada uranyumdan yaklaşık dört kat daha fazla bulunması da önemli bir avantajdır. Ayrıca, ülkemizde de ADS teknolojisi ile ilgili AR-GE çalışmalarının geliştirilmesinde yarar vardır (Arık ve diğerleri, 2012). Her şeyden önce, bu teknolojiyi yakından izlemek gerekmektedir.

Öte yandan, yüksek sıcaklıklı nükleer reaktörlerle, yüksek verimlilikle hidrojen üretmek mümkündür. Bunun için, nükleer reaktörü, bir gaz türbini, bir buhar türbini ve dağıtım için yüksek, orta

ve düşük sıcaklık prosesleri içeren bir sistem ile entegre etmek gerekmektedir. Bu yöntemde, bir tarafta hidrojen üretilirken, diğer tarafta termodinamik verimliliği yüksek güvenlik seviyelerini ve düşük sera gazı emisyonlarını sağlamak mümkündür. Ancak, reaktörün, sistemin diğer bileşenleriyle ilişkili sınırlamalar nedeniyle 1300 °C ve üzerindeki sıcaklıklara dayanabilmesine karşın, reaktör çıkış sıcaklığı yaklaşık 1000 °C ile sınırlıdır. Ayrıca, yüksek verimli enerji dönüşümü avantajına, hidrojen üretimi veya büyük miktarlarda yüksek sıcaklıkta ısı gerektiren diğer ısıl işlemler bu tür nükleer reaktörlerle uyumlu hale getirilebilir (Jaszczur ve diğerleri, 2015).

NÜKLEER TESİSLERİN YER SEÇİMİ

Nükleer bir tesisin değerlendirilmesinde izlenmesi gereken aşamalar Adair (1979) tarafından tanımlanmıştır (Çizelge 1). Ön çalışmalar çerçevesinde, mevcut verilerin değerlendirilmesi yapıldıktan sonra, yer seçimini sağlıklı bir çerçeveye oturtmak için gereksinim duyulan bölgesel ve yerel arazi çalışmalarına başlanmalıdır. Bu çerçevede öncelikle proje alanına özgü doğa kaynaklı afetler ve riskleri de içeren ayrıntılı haritalar hazırlanmalıdır.

Haritalar, yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının sağlayabileceği bilgilerin yanı sıra arazide bizzat gözlemlerle elde edilen bilgilerin birleştirilmesiyle üretilmelidir. Aynı şekilde deniz tabanına ait sayısal derinlik verileri çok ışınlı batimetri yöntemiyle derleyip, denizden elde edilen sismik verilerle birleştirilmelidir. Böylece deniz tabanının morfolojik ve (deniz tabanı heyelanları dahil) tektonik yapısı daha sağlıklı ortaya koyulabilir.

Diri fayların yanı sıra heyelanların da denizlerde tsunami oluşturabileceği unutulmamalıdır. Nükleer tesis faaliyete geçmeden önce, yörenin mevcut çevre koşullarının belirlenmesi için gözlem kuyuları açılmalı ve durum değerlendirmesi yapılmalıdır. Tesisin işletme evresinde ortaya çıkması olası çevre sorunlarının izlenmesi için, böyle bir hazırlık şarttır.

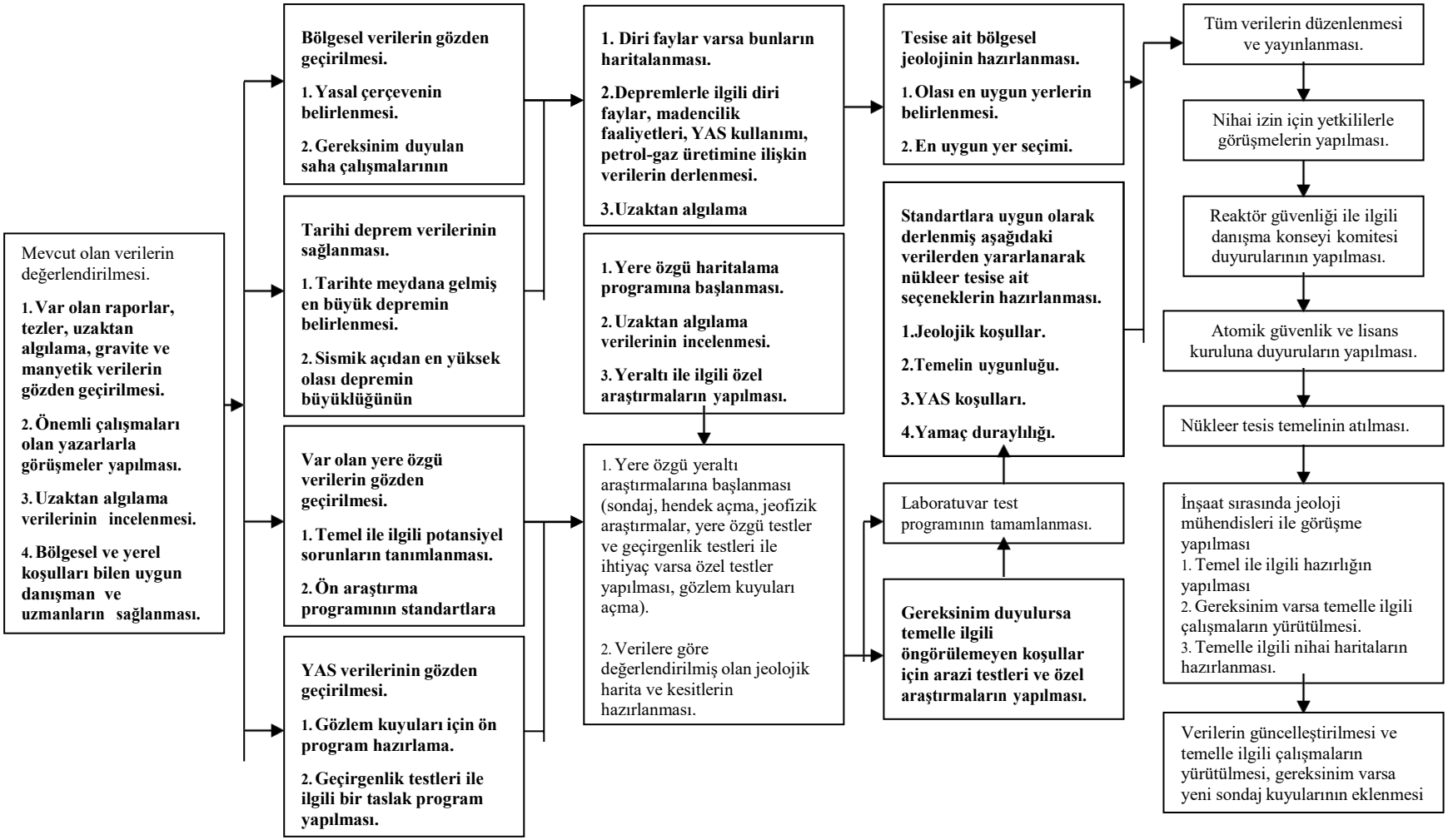
En son evrede ise temel atmak için gerekli izinlerin alınması, güvenlik ile ilgili duyuruların yapılması ve inşaatın başlatılması gibi çalışmalar bir düzen içerisinde sürdürülür. Bu çalışmalar sırasında, daha önce derlenen veriler yeniden değerlendirilir ve gereksinim varsa bu veriler güncelleştirilir.

Reaktörün proses suları, standartlara uygun bir biçimde uzaklaştırılabilir. Alıcı ortamlardaki çok düşük düzeydeki sıcaklık değişiminin bile, bu sularda yaşayan bazı organizmaların enzim sistemlerini etkilediği ve bu organizmaların aniden öldükleri bilinmektedir. Özellikle balıklar soğuk bölgeleri aramak için sıcak ortamları terk eder. Ayrıca bazı alg türleri anormal çoğalır ve ötrifikasyon meydana gelir. Bu da oksijensiz ortamın oluşmasına yol açar. Denizel ekosistemlerin nükleer santrallerin yaratabileceği termal kirlenmeden etkilenmesi kaçınılmazdır. Böyle bir durumda önlem olarak atık suların iyice soğuması için daha uzun süre bekletilip alıcı ortama verilmelidir. Öz olarak yer seçiminin oldukça kapsamlı sınırlamalar gerektirdiği ortadadır.

Günümüzde Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (UAEA) yaklaşımı uyarınca, güvenlik açısından Nükleer Güç Santrali (NGS) sahalarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi çeşitli aşamalarda yürütülmektedir (Adair, 1979; IAEA, 2002; 2015: Bektur, 2019; Gökeri, 2019). Bu aşamaların bir özeti aşağıda sunulmuştur:

1- Yer seçimi (site selection) aşaması,
2- Seçilen Yer'e özgü ayrıntılı araştırmaların yapıldığı (site evaluation) aşama,
3- İşletme öncesinden başlayıp, işletme süresince ve işletme sonrasında saha ile ilgili parametrelerin Yer'e özgü izlenmesi ve denetimi (site confirmation and site control) aşaması.

Çizelge 1. Nükleer bir tesisin yer seçimi değerlendirilmesinde izlenmesi gereken aşamalar (Adair, 1979'dan yararlanılarak düzenlenmiştir).



Yer seçimi aşaması

Bu aşamanın ilk evresinde, yer seçiminin amacı hem güvenlikle ilgili hem de güvenlikle ilgili olmayan yer özelliklerinin birlikte değerlendirilerek santral kurulabilecek aday sahaların önem sıralaması yapılmaktadır. Bu aşamada, yer seçimi, birçok faktöre bağlı olarak yapılmaktadır. Yer seçimini etkileyen faktörler, ekonomik, mühendislik, sosyolojik ve çevresel olmak üzere ana ölçütlere göre değerlendirilmektedir.

Nükleer santral sahasını diğer enerji üretim tesisi sahalarından ayıran temel husus, reaktör tasarımı ile yer özelliklerinin birbirlerini en üst düzeyde etkilemelerinden kaynaklanmaktadır. Yani, yörenin depremselliği, santralin soğutma suyu ihtiyacı, yüzey faylanması, zemin yapısı ve çevresel koşullar nükleer tesisler açısından, yer seçiminde önemli olan güvenlik faktörleridir. Ayrıca, sanayi yapılarına uzaklık ve mevcut elektrik şebekesinin durumu gibi ekonomik faktörlerde yer seçimini etkilemektedir.

TAEK tarafından basılan ''Nükleer Güç Santrali Yer Seçimi Çalışmaları'' raporu bu doğrultuda hazırlanmıştır. Sahaların değerlendirilmesinde kullanılan 4 ana ve 43 alt kriter aşağıda sunulmuştur (Bektur, 2006):

Ekonomik Kriterler: 1. Nükleer enerjinin gerekliliği, elektrik ve pazar öngörüleri, 2. Elektrik iletim sistemi, 3. Politik ortam, 4. Saha hazırlama maliyeti.

Mühendislik Kriterleri: 1. Sahanın büyüklüğü, 2. Sahanın topografik özelliği, 3. Çevresel duyarlılığı olan alanlar, 4. Acil durum planlaması/nüfus yoğunluğu, 5. Personel temini, 6. Ulaşım olanakları, 7. Güvenlik durumu, 8. Yakınlardaki risk taşıyan tesislerin durumu, 9. Lisanslama kuralları, 10. Zamanlama, 11. Jeolojik riskler, 12. Güvenli durdurma depremi, 13. Aktif faylar, 14. Sıvılaşma potansiyeli, 15. Taşıyıcı zemin malzemesi, 16. Zemin yakın yüzey malzemesi, 17. Yeraltı suyu, 18. Taşkın potansiyeli, 19. Buzlanma, 20. Soğutma suyu kaynakları, 21. Sıcaklık ve nem durumu, 22. Rüzgâr, 23. Yağış, 24. Kar, 25. Atmosferik dağılım.

Çevresel kriterler: 1. Karasal yaşam, 2. Karasal bitkiler, 3. Suya ait yaşam/organizmalar, 4. Yeraltı suyu, 5. Yüzey suları, 6. Nüfus.

Sosyolojik kriterler: 1. Arazi kullanımı, 2. Demografi, 3. Sosyo-ekonomik faydalar, 4. Tarım/Endüstri, 5. Estetik görünüm, 6. Tarihi ve arkeolojik sahalar, 7. Ulaşım ağı, 8. Çevresel haklar.

Genel olarak bir nükleer santralda, ***sismik g seviyesinin*** artması nedeniyle oluşan maliyet artışları aşağıdaki hususlar dikkate alınmaktadır:
a) Saha hazırlama ve temel maliyeti,
b) İnşaat yapıları maliyeti,
c) Kazan, Tank, Isı değiştirici, Pompa, Vana ve Fanları kapsayan ve sismik kategori I'e giren mekanik bileşen maliyetleri,
d) Jeneratörler, Kontrol kabinleri ve Motorları içeren ve sismik kategori I'e giren elektrik bileşen maliyetleri,
e) Boru tesisatı, Havalandırma kanalı ve Elektrik hatlarını içeren ve sismik kategori I'e giren mekanik ve elektrik dağıtım ve kontrol sistemlerinin maliyetleri.

Saha hazırlama ve temel maliyetleri kapsamında;
a) Sıvılaşma ihtimali,
b) Yapıların kayması veya devrilmesi ihtimali,
c) Sismik yükler altında muhtemel yük taşıma kayıpları dikkate alınmaktadır.

Yer ivme değerinin 0,3 g'yi aşması durumunda yapılan tasarımlarda, genellikle geniş tabanlı temel (radyal) kullanımı ve bina kompleksinin yatay boyutlarının genişletilmesi suretiyle güvenliğin artırılmasına gidilmektedir.

Yukarıda belirtilen 43 kriterin puanlamasını yapmak için farklı uzmanlık alanlarına ihtiyaç olduğu açıktır. Çoğunlukla yerbilimcilerin ilgi alanına girmekle birlikte, meteorologların, inşaat mühendislerinin, çevre bilimcilerin, arkeologların, nüfus planlamacıların, yol mühendislerinin ve daha

birçok alanda çalışan uzmanların bir nükleer uzman ekiple birlikte çalışması gerekmektedir. Sahaların puanlamasına dair bir örnek, Çizelge 2'de sunulmuştur. Çizelgede 2'de görüldüğü üzere 451 puan alan A sahası, en uygun saha olarak öne çıkmıştır.

Çizelge 2. Sahaların sıralanması amacıyla yapılan puanlama örneği (Bektur, 2006; 2019).

GROUP WEIGHT (W_j)	CRITERON (b_j)	Weigthing (SW_{ij})	Site A (R_j)	$SW_{ij}R_j$	Site B (R_j)	$SW_{ij}R_j$	Site C (R_j)	$SW_{ij}R_j$	Site D (R_j)	$SW_{ij}R_j$	Site E (R_j)	$SW_{ij}R_j$	Site F (R_j)	$SW_{ij}R_j$
ECONOMIC (0,3)	Electricity Projections	40	5	200	5	200	5	200	5	200	5	200	5	200
	Transmission System	30	5	150	2	60	3	90	4	120	1	30	2	60
	Public Opinion & Legislation	20	4,5	90	2	40	5	100	3	60	1	20	0	0
	Site Preparation Cost	10	5	50	3	30	4	40	4	40	1	10	0	0
	Subtotal	**100**	-	**490**	-	**330**	-	**430**	-	**420**	-	**260**	-	**260**
ENGINEERING (0,3)	Site Size	6	5	30	3	18	4,5	27	3	18	1	6	1	6
	Site Topograpy	3	5	15	3	9	4,5	13,5	3	9	5	15	4	12
	Environmentaly Sensivite Areas	7	5	35	1	7	4,5	31,5	4,5	31,5	1	7	0	0
	Emergency Planning / Population	6	5	30	3	18	4,5	27	4	24	3	18	3	18
	Labor Supply	3	4	12	4	12	4	12	4	12	4	12	4	12
	Transportation Access	4	5	20	5	20	3	12	3	12	3	12	0	0
	Security	3	4	12	4	12	4	12	4,5	13,5	5	15	5	15
	Nearby Hazardous Facilities	3	5	15	5	15	5	15	4	12	5	15	3	9
	Regulatory Issues	4	5	20	5	20	4,5	18	3	12	2	8	0	0
	Schedule	4	4	16	2	8	4	16	4	16	4	16	1	4
	Safe Shutdown Earthquake	9	3	27	3,5	31,5	2	18	3,5	31,5	3	27	2	18
	Capable Faults	7	4	28	5	35	2	14	4	28	4	28	1	7
	Liquefaction Potential	6	5	30	5	30	4	24	3	18	3	18	5	30
	Bearing Material	3	5	15	5	15	3	9	2	6	3	9	1	3
	Near Surface Material	2	5	10	4	8	3	6	2	4	5	10	5	10
	Ground Water	3	5	15	5	15	5	15	2	6	4	12	4	12
	Flooding Potential	5	4	20	5	25	5	25	4	20	4	20	1	5
	Ice Formation	2	5	10	5	10	4,5	9	4,5	9	4	8	4	8
	Cooling Water Source	9	5	45	5	45	4	36	3	27	0	0	0	0
	Temperature & Moisture	2	4	8	3	6	2	4	2	4	2	4	2	4
	Winds	2	3	6	4,5	9	4	8	3,5	7	2	4	4	8
	Rainfall	2	1,5	3	1,5	3	4	8	3,5	7	1	2	4,5	9
	Snow	2	4	8	4	8	5	10	5	10	2	4	2	4
	Atmospheric Dispersion	3	4,5	13,5	3	9	1	3	3	9	2	6	5	15
	Subtotal	**100**		**444**		**389**		**373**		**346**		**276**		**209**
ENVIRONMENTAL (0,2)	Terrestrial & Aquatic Habitat	40	3	120	1,5	60	4	160	3	120	4	160	1,5	60
	Surface & Ground Water	30	4,5	135	3	90	4	120	2	60	1	30	2	60
	Population and Other	30	4	120	2	60	3,5	105	3	90	2	60	2,5	75
	Subtotal	**100**		**375**		**210**		**385**		**270**		**250**		**195**
SOCIOLOGICAL (0,2)	Land Use	13	5	65	1	13	4,5	58	3	39	4	52	2	26
	Demography	12	5	60	3	36	4	48	4	48	4	48	1	12
	Socioeconomic Benefits	17	5	85	2	34	3	51	2	34	1	17	1	17
	Agricultural/Industrial	10	4,5	45	4	40	4	40	2	20	2	20	2	20
	Aeshetics	11	5	55	5	55	4	44	3	33	3	33	1	11
	Historic & Archaeological	12	4	48	2	24	5	60	1	12	2	24	3	36
	Transportation Network	12	5	60	3	36	4	48	3	36	4	48	0	0
	Environmental Justice	13	5	65	5	65	5	65	5	65	5	65	4	52
	Subtotal	**100**		**483**		**303**		**414**		**287**		**317**		**174**
SITE MERIT (SM)				**451**		**327**		**399**		**340**		**273**		**214**

Tüm kriterlerin ağırlıklı puanlarının toplamı, söz konusu sahanın toplam puanı olup, o sahanın eriştiği puanı gösterir. Önceden belirlenen potansiyel sahalar, elde ettikleri puanlara göre sıralanır ve en yüksek puanı alan saha için ayrıntılı araştırmalara geçilir. Sahaların aldığı puanlar, aşağıdaki formüle göre belirlenir (Bektur, 2006; 2019'dan).

$$SM = \sum_{i=1}^{4} \left[W_i \sum_{j=1}^{b_i} W_{ij} R_{ij} \right]$$

SM = Saha değeri (0-500)

i = Kriter grup sayısı (1-4)

Wi = i kriter grubunun ağırlık faktörü (0-1)

j = Kriter sayısı

b = i krıter grubu içindeki kriter sayısı

Wij = i krıier grubunun içindeki j kriterinin ağırlık faktörü (0-100)

Rij = i kriter grubunun içindeki j kriteri için sahaya verilen puan (1-5)

Burada asıl sorun, her bir kriter için verilecek puanların objektif olarak belirlenebilmesidir. Bunun için bazı ölçülerin önceden saptanması gerekmektedir. Bir nükleer santral için en uygun sahanın sıralaması yukarıdaki kriterlere göre verilecek puanlara dayalı olarak, aşağıdaki formül ile belirlenir (DEI ve BPC, 2002). Her bir kriter için 1'den 5'e kadar değişen sıralama puanı verilir. 5 sayısı en uygun olma koşuluna denk gelmekte olup, 1 ise söz konusu kriter için en zayıf olanı temsil eder. Bununla birlikte herhangi bir saha için kesinlikle reddedilmesi gereken bir kriter var ise, o saha için sıfır puanı verilir.

Ayrıca sahanın tümüyle değerlendirilmesinde, her bir kriter gurubu ve alt kriterler için ağırlık faktörü belirlenir. 4 ayrı kriter gurubu için eşit ağırlık puanı verilebileceği gibi, farklı nedenler dikkate alınarak örneğin mühendislik kriterinin puanı diğerlerinden daha fazla tutulabilir. Ya da çevresel kaygılar nedeniyle çevresel kriterin puanı daha ağırlıklı hale getirilebilir. Bu çalışmada verilen örnekte Ekonomik ve Mühendislik gurubu için 0,3 ağırlık puanı, çevresel ve sosyolojik guruplar için 0,2 ağırlık puanı dikkate alınmıştır.

Yer' özgü ayrıntılı araştırmaların yapıldığı aşama

Bu aşama, ilk aşamadaki sıralamada öne çıkan sahada, ayrıntılı yer araştırmalarının yapıldığı evredir. Bu aşamada, öncelikle proje alanı, proje etki alanı ve yakın dolayına ait jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik çalışmaların ayrıntılı olarak yapılmasında yarar vardır. Tesis alanı ve yakın dolayının sismik durumu, sıvılaşma, zeminin taşıma gücü, maksimum oturma, yeraltı su tablasının konumu ve hidrolojik özellikleri ile diğer doğal afetlerin bölgedeki potansiyelleri değerlendirilmelidir. Bu çalışmaların mutlaka entegre edilmesi gerekir. Aksi halde, ortaya çıkması olası bir sorunun tanımlanması ve çözümü yapılamaz. Ayrıca coğrafik konum, nüfus dağılımı, ulaşım, sanayi ve askeri tesislerin uzaklığı gibi mevcut arazi kullanım biçimleri gibi diğer çevresel koşullar irdelenmelidir.

Jeolojik yer süreçlerinin başında sismik tehlikeler yer alır. Bölge, sismik açıdan aktif olmasa bile çok eski tarihi devirlerde depremler olmuşsa, bunların da mutlaka göz önüne alınması gerekmektedir. Tesis, kesinlikle fay hatları üzerinde ya da yakın dolayında kurulmamalıdır (Yılmaz, 2009b).

Türkiye'nin deprem tehlike haritası hazırlanmıştır. Nükleer santrallar için potansiyel yerlerin belirlenmesinde yere özgü yeni testlerin yapılmasında yarar vardır. Bu konuda yapılan çalışmalarda yer ivmeleri esas alınmıştır. Yer ivmesi 0,40 g ve daha büyük olan bölgeler I. Derece; 0,30-0,40 g arasında olması beklenen bölgeler II. Derece; 0,20-0,30 g arasındaki bölgeler III. Derece; 0,10-0,20 g

arasındaki bölgeler IV. Derece; 0,10 g'den küçük olması beklenen bölgeler V. derece bölge olarak tanımlanmıştır. Ancak nükleer santrallar için yer ivme değeri 0,15 g den küçük olamayacağına göre, V. dereceli bölgeler, saha puanlamasında 5 puan ile değerlendirilir ve giderek azalan şekilde diğer bölgeler sıralanacaktır.

Nükleer tesislerin yer seçiminde denizin ya da büyük göllerin kenarları tercih edilmektedir. Bunun nedeni, reaktörün çalışması sırasında suya olan gereksinim ve ortaya çıkan proses sularının denetimi ile ilgilidir. Bu arada tesisin deniz düzeyinden yüksekliği, tasarıma esas maksimum deniz suyu giriş sıcaklığı ve dalga yüksekliği, yeraltı su tablasının maksimum yüksekliği ve hidrolojik özellikleri ile kıyının gel-git aralığı gibi hidrojeolojik özelliklerin bilinmesinde yarar vardır. Ayrıca proje alanı ve yakın dolayına dair jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verileri entegre edilmelidir. Bu bilgiler entegre edilmeden, herhangi bir kaza halinde oluşabilecek risklerin önlenmesine yönelik eylem planları oluşturulamaz.

Sonuç olarak ikinci aşamada, nükleer tesisin önerilen yerde kurulmasını teknolojik yönden imkânsız kılacak yer özellikleriyle karşılaşılmayacağı kanıtlanır ve önerilen santral yerinin ***tasarıma esas parametreleri*** belirlenerek, bu değerlerin en son teknolojik uygulamalara göre kabul edilen sınır değerlerin altında kalacağı ortaya koyulur.

İşletme öncesi, işletme ve işletme sonrası izleme ve denetim aşaması

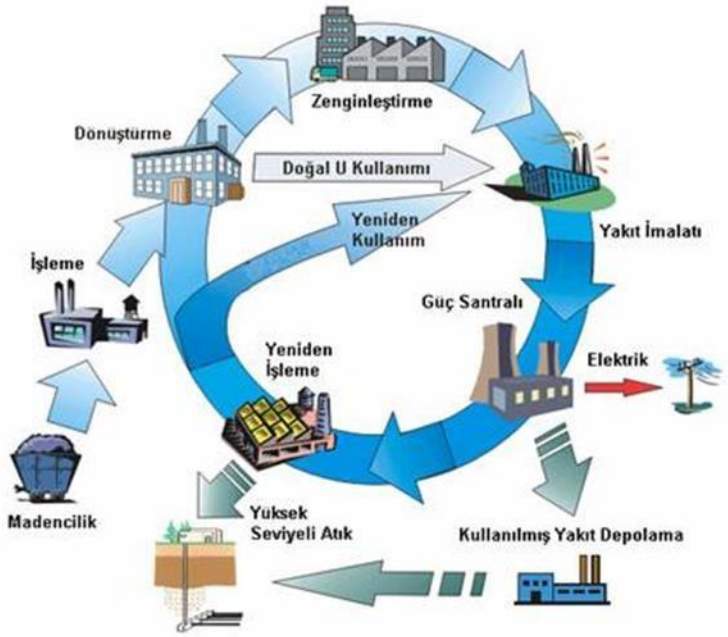
İşletme öncesi başlayıp, işletme süresince ve işletme sonrasında saha ile ilgili parametrelerin Yer' özgü izlenmesi ve denetimi kapsamlı bir çaba gerektirir. Yer seçimi yapılmış, seçilen Yer' özgü ayrıntılı çalışmaların yapıldığı alanda; tasarıma esas parametrelerin de tanımlanması gerekir. Bu çerçevede, iyi tanımlanmış tüm veriler gözetilerek, işletme öncesinde başlayıp, işletme süresince izlenmesi sürecinde, sahanın jeolojik, jeodetik, meteorolojik, hidrojeolojik, hidrolojik, doğa kaynaklı afetler (özellikle sismik, sel ve taşkın) ve jeoteknik özellikleri ile tesise etkisi olabilecek saha dolayındaki önemli tesis ve faaliyetler birlikte değerlendirilir. Bu çerçevede, radyoaktif maddenin canlılara taşınmasında rol oynayacak taşınım yolları ile saha çevresinin nüfus dağılımı, ***Yer Lisansı*** verildikten sonra, bir program kapsamında radyoaktivitenin dağılımı izlenir.

İzlenen parametrelerde herhangi bir sapmanın olmadığı, olası değişikliklerin tesisin güvenliği ile birey, toplum ve çevrenin güvenliği açısından herhangi bir risk doğurmayacağı ya da kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu değerlendirilir. Değerlendirme olumsuz ise lisans iptaline gidilir. Saha parametrelerini izleme çalışmaları, sahanın belli olmasından itibaren başlar ve santralin işletmeden çıkarılmasına kadar devam eder.

NÜKLEER ENERJİ ÜRETİMİNİN VE KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Nükleer enerjinin çevresel etkileri denildiğinde, nükleer enerji üretim süreçleri ile nükleer tesislerde kullanımı birlikte, kapsamlı ve bütünsel bir yapıyı temsil ettiği göz ardı edilmemelidir. Nükleer hammaddelerin yakıt olarak kullanıldığı nükleer santrallerin çevresel etkilerine geçmeden önce bu hammaddelerin ***arama ve planlama, üretimi*** (yani ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme) ve ***kullanım evrelerini*** tanımlamakta yarar vardır. Çünkü bu evrelerin her birinde ciddi çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır (Yılmaz, 2009a). Radyoaktif enerji kaynaklarının arama ve planlama, ocak işletmesi ve cevher zenginleştirmesi ile kullanım evrelerine ilişkin çevresel etkilerin ayrı ayrı titizlikle ele alınması gereken konulardır.

Şekil 8'de nükleer temel döngü görülmektedir. Döngünün başında madencilik faaliyeti ve bu faaliyeti izleyen evrelere bakıldığında, nükleer enerjinin maliyeti de kendiliğinden anlaşılmaktadır. ***Reaktör öncesi nükleer döngü,*** başlıca, uranyum üretim süreçlerini (cevherin çıkarılması, öğütme, konsantrasyon, sarı pasta üretimi), rafineri (saflaştırma, dönüştürme- UF6'un UO2'te dönüştürme), zenginleştirme, fabrikasyon (Yakıtın pelet haline getirilmesi, yakıt çubuklarının ve demetlerinin üretilmesi) sonucunda ***hafif sulu*** nükleer ***reaktöre (HSR)*** ulaşıncaya kadarki evreleri içerir (Zabunoğlu,2015).



Şekil 8. Nükleer temel döngü
http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/837-bolum-03-nukleer-yakit-cevrimi.html

Reaktörde nükleer yakıt kullanımı ve kullanılmış yakıtların ürünü atıkların değerlendirilmesi ya da kullanılamayan ***atıkların bertarafı*** ise, temel döngünün devamı olarak kabul edilmelidir. Nükleer enerji hammaddelerinin üretim yöntemleri ve teknolojisinden ileri gelen çevresel sorunlar, nükleer santralde kullanılacak cevherin çıkarılması, işlenmesi, zenginleştirilmesi ve kullanılması aşamalarında oluşabileceği gibi, reaktörlerde atıkların işlenmesi ya da depolanması sırasında da oluşmaktadır. Cevherin çıkarılmasından, kullanımına ve son ürün olarak atığın oluşmasına kadar geçen sürecin uluslararası ölçütlerle izlenmesi ve bu ölçütlere göre denetimi zorunludur.

Uyulması gereken ölçütlerin tümü insan sağlığının ve doğal çevrenin korunmasına yöneliktir. Nükleer enerji üretim tesisleri ile ilgili çevresel etki değerlendirmesi yapılırken, işletmeden dolayı insan ve diğer canlıların sağlığına olan etkiler irdelenmelidir. Aşağıda nükleer tesislerde kullanılan hammaddelerin üretimine dair planlama ve arama, üretim süreçlerinde yer alan ocak işletmesi ve cevher zenginleştirmesi ile üretilen ürünün kullanımı evrelerine dair bazı temel bilgiler sunulmuştur.

Planlama ve arama

Uranyum yataklarının planlama ve arama çalışmaları iki başlık altında tanımlanabilir. Bunlar, yüzeyde yer alan yataklar ve örtülü yataklara dair çalışmalardır.

Yüzeyde yer alan yataklar

Yüzeyde yer alan yataklar, damar tipi olabileceği gibi çökel türde bir yatak da olabilir. Bu tür yataklar, Dünya rezervinde önemli bir yer tutmazlar. Arama çalışmaları, jeolojik verilerle birlikte daha çok radyometrik verilere dayanır. Jeolojik verilere göre seçilen geniş sahalar, radyoaktifliği ölçen cihazlar yerleştirilmiş uçaklarla havadan taranır. Bu olanak yoksa ellerinde portatif radyoaktifliği ölçen sayaçları taşıyan prospektörler, seçilen sahada geniş aralıklarla yürüyerek anomali ararlar. Belirlenen anomaliler, yerden daha ayrıntılı olarak incelenir. Gerek görülen yerlerde sığ yarmalar, kuyu ve galeri gibi hafriyat çalışmaları yapılır. Ümitli görülen yerlerde rezerv sondajlarına geçilir. Bu yöntemle damar tipi yataklar da bulunabilir.

Örtülü yataklar

Dünya rezervinin büyük bir bölümünü, yaklaşık %80'ni kumtaşı ve çakıltaşlarında yer alan örtülü yataklar oluşturur. Yöntem, seçilen geniş bir sahadan, maden yatağına gidinceye kadar değişik teknikleri uygulayan birçok aşamalardan oluşur. Önce seçilen geniş sahalar, geniş aralıklarla havadan prospeksiyon ile incelenip, yöreye ilişkin jeoloji ve jeokimya verilerden yararlanılarak daraltılmaya çalışılır. Birbirini izleyen her aşamada ümitsiz görülen bölgeler ayıklanarak saha daraltılır.

Arama sondajları, başlangıçta 3- 4 km aralıklarla yapılırken, son aşamada 25 m aralığa kadar sıklaştırılabilir. Havadan inceleme, jeokimya örneği toplama, haritalama, radon ölçümü gibi çalışmalar her aşamada bir önceki aşamaya göre daha sık ve daha ayrıntılı yapılır. Böyle bir çalışma normal koşullarda 5- 6 yıl sürebilir. Uranyumun jeokimyasından ileri gelen nedenlerle yüzeyde hiçbir belirtisi olmayan çökel bir uranyum yatağının rezervinin yüz tonlarla değil, bin tonlarla tanımlama olasılığı çok daha yüksektir. Ancak bilinmeyen çok büyük bir sahadan, yine bilinmeyen çok küçük bir bölgeyi bulmayı amaçlayan 5-6 yıllık sistemli bir araştırmanın sonuçsuz kalmasını da göz önüne almak gerekmektedir.

Planlama ve arama evresinde ortaya çıkan çevresel etkiler sınırlıdır. Ancak kimi zaman yarmaların açılmasına, yolların açılmasına ve sondajların yapılmasına gereksinim olabilir. Havada prospeksiyon yapılması halinde uçakların uçuşu sırasında yakıtın kullanılması ya da laboratuvarda analizlerin yapılması amacıyla çeşitli kimyasallar gerekebilir. Ancak bu evrede de yoğun bir çaba göstermek gerektiği açıktır. Bu çalışmalar dolayısıyla karşılaşılan sorunlar, ÇED sayesinde minimize edilebilir.

Cevherin çıkarılması ve zenginleştirme

Uranyumun üretimi birbirini izleyen iki ayrı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlar da ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme yöntemleridir. Uranyumun ocak işletmesi ve cevher zenginleştirilmesi evrelerini birbirinden ayırarak bir planlamanın yapılmasında yarar vardır.

Ocak işletmesi

Ocak işletmesi evresinde metalik madenlerde olduğu gibi cevherin konumuna göre açık ya da yeraltı işletmesi tercih edilebilir. Uranyum üretiminde uygulanacak yöntemin seçimi, yatağın oluşum türüne, derinliğine, tenörüne ve rezervine bağlı olarak değişmektedir (MTA, 2017). Çıkarılan cevher, doğrudan ya da kırma-öğütme işlemlerinden sonra fiziksel süreçlerle zenginleştirilir. Bu evrede diğer ocak işletmelerinde ortaya çıkan sorunların yanı sıra, atmosferik süreçlere açık hale gelen pasa da toprak ve su kaynaklarını kirletebilir. Ayrıca ocak işletmesinde çalışan personelin radyoaktiviteden özenle korunması gerekmektedir.

Ön zenginleştirme işlemlerinden sonra, ortaya çıkan ürün saflaştırılır, rengi ve biçimi nedeniyle "Sarı Pasta" (uranyum oksit, UO2) olarak adlandırılan katı bir forma çevrilir.

Diğer bir yöntem olan yerinde özütlemede (liç), kuyular vasıtasıyla yatağa enjekte edilen kimyasallar ile uranyum çözeltisi elde edilir, bu çözeltiden sarı pasta (UO2) yapımı gerçekleştirilir. Elde edilen katı haldeki sarı pasta (UO2), zenginleştirme işlemleri için gaz formuna (UF6-uranyum hegzaflorid) çevrilerek varillerde depolanır ve zenginleştirme tesislerine gönderilir (MTA, 2017)

Uranyum cevherinin ocak işletmesi sırasında ortaya çıkabilecek ***radon gazı*** da insan sağlığını tehdit eder. Özellikle rüzgârlar ve yağış yoluyla atmosferdeki radyoaktif maddeler toprağa ve yeraltı sularına karışır. Bu şekilde bitkilere ve hayvanlara geçen radyoaktif maddeler süt ve sebzeler aracılığı ile insana geçmektedir. Dolayısıyla tüm işletmelerde gerekli önlemlerin alınması zorunludur.

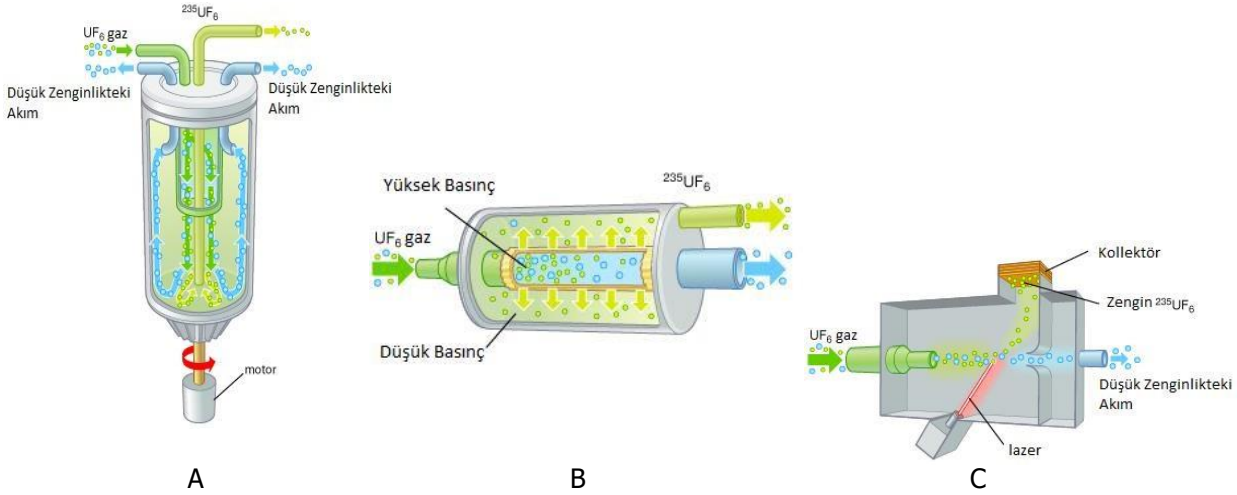
Nükleer radyasyonun başta tiroid kanseri başta olmak üzere kan ve kemik kanserlerine de yol açtığı bilinmektedir. Onun için nükleer malzemenin tıpta kullanımına özen göstermek gerekmektedir. Tiroid kanserinin denetimi için iyot tabletleri kullanılmaktadır.

Ayrıca çekirdeksel parçalanma beraberinde ışınetkin (radyoaktif) çekirdeklerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bunların bazılar çok uzun yarı ömürlüdür. Örneğin Sezyum 137 çekirdeğinin yarı ömrü 30 yıldır. Yani, Sezyum 137 çekirdeklerinin yarısının içlerindeki fazla enerjiyi atarak rahatlamaları için gerekli süre 30 yıldır. Ancak 10 yarı ömürlük bir süre geçerse ışınetkin çekirdeklerinin etkinliği iyice azalmaktadır. Buna göre bu süre, Sezyum 137 çekirdekleri için 300 yıl olmaktadır. Plütonyum- 239 çekirdeklerinin etkisiz bir hale gelmeleri için gerek süre 244000 yıl olarak hesaplanmıştır.

Cevher zenginleştirme

Cevher zenginleştirmek üzere öncelikle uranyum zenginleştirme tesislerinin planlanması, tasarlanması ve inşası yani yapılması gerekir. Bu tesisler, Uranyum madeninden gelen cevher

içerisindeki doğal uranyum izotoplarından U-235 izotopunun konsantrasyonunu nükleer yakıt için gerekli orana yükseltmek için tasarlanan tesislerdir. Uranyum zenginleştirme işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemler; santrifüj, difüzyon ve lazer ayrıştırma yöntemi (Şekil 9) olarak bilinmektedir. Günümüzde özellikle gaz santrifüj ve gaz difüzyonu yöntemleri uluslararası standartlarda zenginleştirilmiş uranyum elde etmek için kullanılmaktadır. Lazer ayrıştırma yöntemi ise Ar-Ge aşamasında olup bu konuda pilot çalışmalar yapılmaktadır (MTA, 2017).



Şekil 9. Uranyum zenginleştirme yöntemleri:
Santrifüj (A), difüzyon (B) ve lazer ayrıştırma (C) (ÇŞB, 2017).

Zenginleştirmenin amacı, uranyumun içindeki, nükleer fisyon sırasında en iyi sonucu veren, fisil U-235 atomlarının miktarını artırmaktır. Çünkü nükleer reaktörde kullanılacak uranyumun, % 2-5 oranında U-235 atomu içerecek şekilde zenginleştirilmiş olması gerekir. Silahlarda kullanılan uranyum ise en az % 90 oranda U-235 içermelidir.

Cevher zenginleştirme evresinde fiziksel süreçlerle zenginleştirilen malzemenin, yığın özütlemesine tabi tutulması gerekir. Bu işlemin sonunda uranyum çözeltisi elde edilir. SX ve IX işlemleriyle çözeltinin uranyum derişimi artırılır. Sonunda zenginleştirilmiş amonyak ya da MgO ile sarı pasta (% 65 U_3O_8 içeren uranyum) şeklinde çöktürülür.

Diğer bir yöntem olan yerinde özütlemede, kuyular vasıtasıyla yatağa enjekte edilen kimyasallarla uranyum çözeltisi elde edilmektedir. Zenginleştirilen bu çözeltiden yukarıda tanımlanan teknikle sarı pasta elde edilmektedir.

Uranyum, uluslararası piyasalarda nükleer enerji hammaddesi olarak, sarı pasta halinde işlem görür. Ürün standardı olarak sarı pastanın en az % 60 U içermesi istenmekte ve arıtılmış bir uranyum bileşiğinde (UO_2, UF_6 gibi) diğer elementlerin toplamının bir gram uranyum için 300 ppm'den fazla olmaması gerekmektedir.

Sonuç olarak uranyum cevheri ocaktan çıkarılıp nükleer reaktörde kullanılacak yakıt haline getirilinceye kadar birçok evrelerden geçer. Bu evreler aşağıda sunulmuştur:

1- Planlama ve arama,
2- Ocak işletmesi ve cevherin zenginleştirilmesi,
3- Sarı pasta üretimi,
4- Sarı pasta arıtma (ADU yapımı),
5- Kalsinasyon ve UO_2'ye indirgeme,
6- UO_2'nin UF_4'e dönüştürülmesi,
7- UF_4'den UF_6 üretimi biçiminde sıralanabilir.

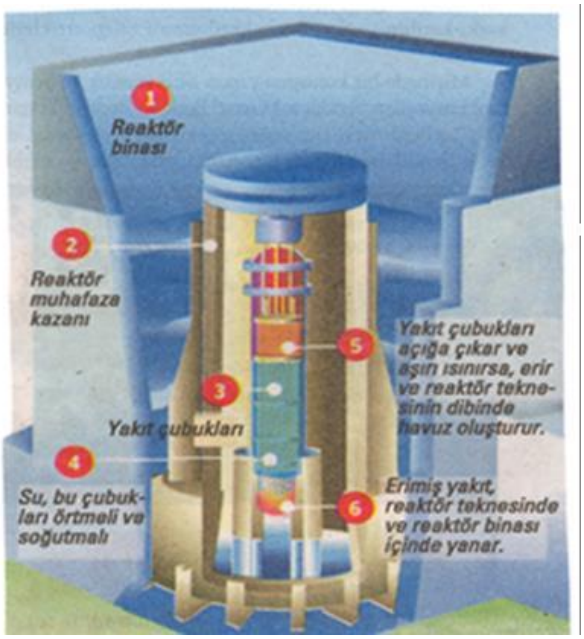
Sarı pasta üretim tesislerinde, asit, baz ve radyasyon tehlikesinden çok, suda çözünebilen ve uranyumla birlikte bulunan radyumun çözünerek ana çözeltiye geçmesi ve atık sularla çevreyi kirletmesi tehlikesi önemlidir. Radyumun çöktürülmesi ve düzeyinin denetimi için tesislere oldukça pahalı sistemler eklenmektedir.

Kullanım evresi

Nükleer hammaddelerinin ürünleri genellikle ***nükleer rektörlerde*** kullanılmaktadır. Şekil 10'da bir nükleer santralin genel yapısı görülmektedir (Oksay, 2011). Burada da görüldüğü gibi reaktör, ona uygun yapılmış bir binanın içinde olup, binanın duvarları radyasyonu geçirmeyen malzemelerden yapılı olması gerekir. Bu yapı hem tesiste çalışanların hem de tesisin yakın dolayındaki diğer canlıların oluşacak radyoaktif ortama karşı güvenliği gözetilerek tasarlanmalıdır.

Kullanım evresinin en önemli sorunlarından biri de ortaya çıkan atıkların uzaklaştırılması sorunudur. Bunun için atıkların öncelikle sınıflandırılmasıdır. İlk aşamada düşük ve yüksek aktiviteli atıkların ayırt edilmesi önemlidir. Kullanılmış yakıtların yeniden işlenmesi sonucunda genel olarak iki atık türü ortaya çıkar:

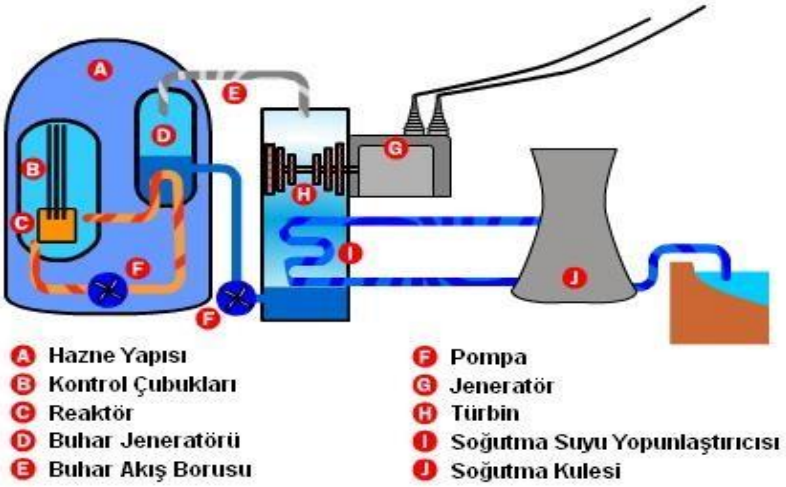
- Katı faza alınmış ve ısı çıkışı olan yüksek düzeyli atık;
- Isı çıkışı olmayan düşük ve orta düzeyli atık



Şekil, 10, Bir nükleer reaktörün genel görünümü (Oksay, 2011).

Nükleer bir tesisin yer seçimi de tasarımı da son derece önemli olup, bu konuya dair temel bilgiler yukarıda sunulmuştur. Tasarım, tesisin tüm elemanları gözetilerek yapılmalıdır. Şekil 11'de bir nükleer tesisin önemli elemanları ve bu elemanlar arasındaki ilişkiler görülmektedir https://www.bilgiustam.com/nukleer-santraller-nasil-calisir-problemleri-nelerdir/ (14 Kasım 2020).

Nükleer tesisin tasarımına uygun bir hazırlığın ve planlamanın yapılması; inşaatın da söz konusu planlamaya uygun olarak yürütülmesi gerektiği açıktır. Nükleer tesislerin çevresel etkileri de ***planlama ve hazırlık, inşaat, işletme*** ve ***işletme sonrasını*** kapsayacak şekilde değerlendirilmelidir. Tesislerin inşaat evresinden çok, işletme evresinde geniş bir alanın etkileyebileceği gözetilmelidir. Ayrıca, işletme sırasında çeşitli nükleer kazalar olabilir. Örneğin soğutma pompalarının çok kısa bir süre çalışmaması sonucu oluşan yüksek ısı sonucu bile reaktörün çekirdeği eriyebilir. İşletme sırasında ortaya çıkan soğutma sularının uzaklaştırılması da önemli bir sorundur. Bunun için deniz ya da büyük göl ortamlar dışında bir seçenek de yoktur.



Şekil, 11, Bir nükleer reaktörün önemli elemanları
https://www.bilgiustam.com/nukleer-santraller-nasil-calisir-problemleri-nelerdir/ (14 Kasım 2020)

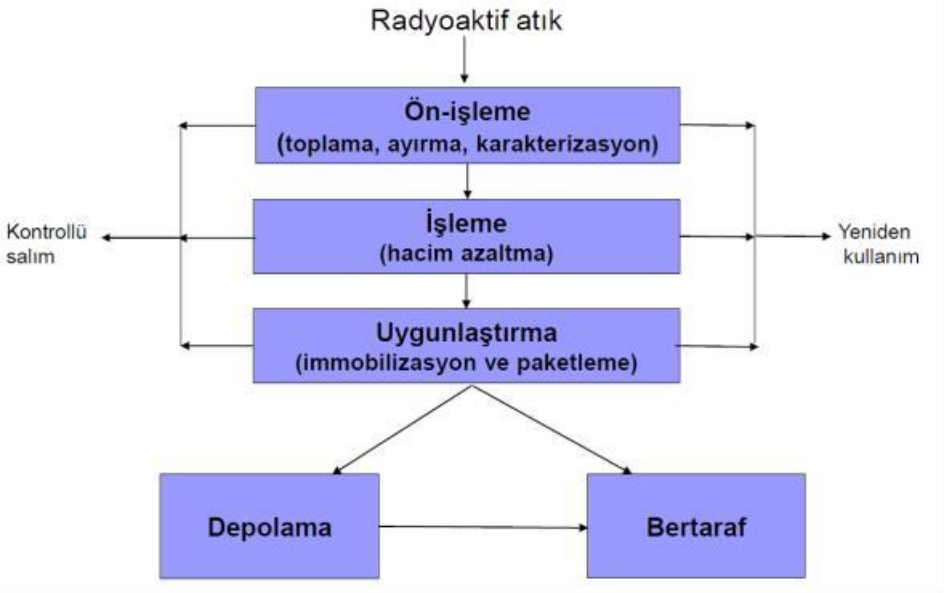
Nükleer bir santralin enerji üretme biçimi, herhangi bir termik santralin çalışma biçimine benzer. Termik santral, ısı üreten santral demektir. Bir kömür santralinde, enerji kaynağı kömürdür. Kömür yakılır, enerji üretilir. Ortaya çıkan enerji kazandan su geçirilerek dışarıya taşınır. Su, buhar olur ve bu buhar da türbini çevirir. Sonuç olarak, kömürden ısı, ısıdan buhar, buhardan mekanik enerji elde edilir. Türbine bağlı bir alternatör ise mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Nükleer bir santralde ise, kömür yerine sadece nükleer yakıt kullanılmaktadır. Nükleer enerji diğer enerji formlarına dönüştürüldükten sonra kullanılmaktadır.

En önemli sorunlardan biri de uranyumun kullanımından sonra ortaya çıkan yarı ömürlerini tamamlamamış ***katı radyoaktif atıklardan*** ileri gelmektedir. Dolayısıyla bu atıklar radyasyon yaymaya devam etmektedirler. Bu durumda, bir nükleer reaktörden çıkacak atıkların, uzun yıllar boyunca güvenliği sağlayacak bir şekilde saklanması zorunludur. Ayrıca, ***nükleer atıkların bertarafı için de kimi tesislere ihtiyaç olduğu ve bu tesisler için de yer seçiminin yapılması gerektiği unutulmamalıdır***.

Nükleer tesislerin de çevresel etkileri ***planlama ve hazırlık, inşaat, işletme*** ve ***işletme sonrasını*** kapsayacak şekilde değerlendirilmelidir. Dolayısıyla söz konusu atık tesislerinin yer seçimi için jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerin üretilmesi ve entegrasyonu zorunludur. Ayrıca jeolojik ortamın yanı sıra toprak, su, hava ve ekosistemleri gibi diğer çevresel ortamlar tesis alanı ve tesisin etkileyeceği alan için tanımlanmalıdır. Yüksek aktiviteli nükleer atıkların yeryüzünün 500 ile 1.200 m altında özel olarak seçilmiş jeolojik yapıların oluşturduğu (büyük bir maden işletmesini andıran) rezervuarlara gömülmesi planlanmakta ve bu konudaki çalışmalar sürmektedir.

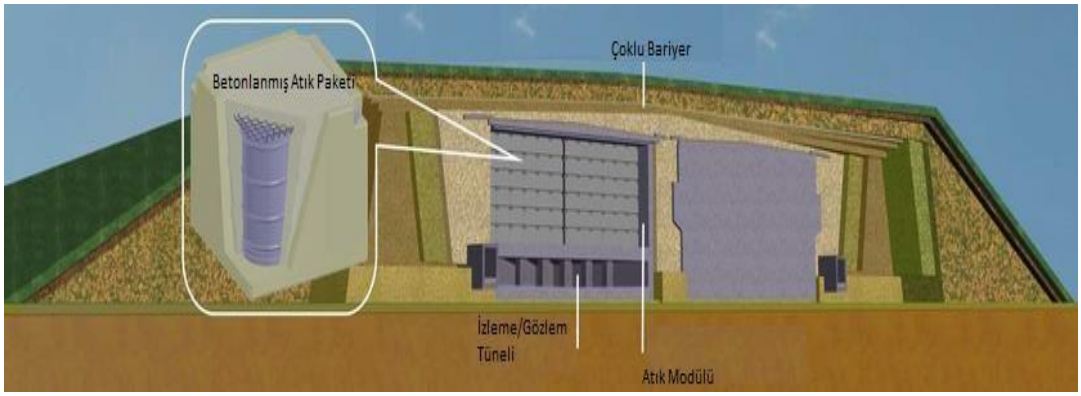
Özü itibarıyla, radyoaktif atık tekrar kullanılması öngörülmeyen katı, sıvı veya gaz formdaki radyoaktif madde olarak tanımlanabilir. Radyoaktif atık yönetimi ise, ön işleme (karakterizasyon ve sınıflandırma), işleme, uygunlaştırma, depolama ve bertaraf adımlarından oluşur (Şekil 12).

Radyoaktif atık yönetiminin son adımı olan bertaraf, atığın geri alma niyeti olmadan bir tesise yerleştirilerek muhafaza edilmesi ve çevreden izolasyonunun sağlanmasıdır. Radyoaktif atıkların bertarafı özel olarak tasarlanmış tesislerde gerçekleştirilmektedir. Tesis tasarımları, bertaraf edilecek radyoaktif atığın radyoaktivite seviyesi ve radyonüklit içeriğine bağlı olarak değişmektedir (Acar, 2019).



Şekil 12. Radyoaktif atık yönetimi adımları (UAEA, 2009; Acar, 2019'dan).

Şekil 13'de yüzeysel radyoaktıf atık bertaraf tesisinden bir görüntü sunulmuştur. Bu tür tesisler birçok Avrupa ülkesinde yüzeysel radyoaktif atık bertaraf tesisleri yıllardır güvenli olarak işletilmektedir. Yarılanma süresi 30 yıldan az olan düşük ve orta düzeyli atıklar yüzeysel bertaraf tesislerinde kalıcı olarak bertaraf edilirler (ÇŞB, 2017). Radyoaktif atıklar, bertaraf tesislerinde tehlike oluşturmayana kadar (yaklaşık 300 yıl) muhafaza edilebilirler.



Şekil 13. Yüzeysel radyoaktif atık bertaraf tesisi (ÇŞB, 2017).

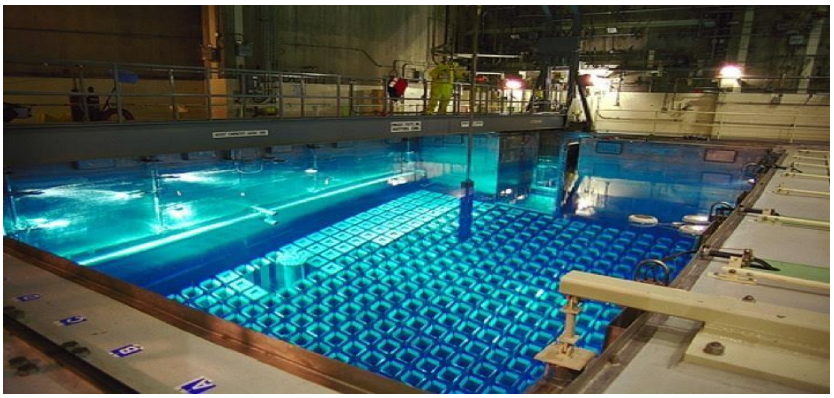
Yerkabuğu yüzeyinde bulunan hendeklerde ya da tasarlanmış tesislerde gerçekleştirilen bertaraf uygulamalarının yanı sıra; yerkabuğu yüzeyinin hemen altında ya da yüzlerce metre altında tasarlanan tesislerde gerçekleştirilen uygulamalar da vardır. Bütün bertaraf uygulamalarında pasif güvenlik önlemleri ile atıkların güvenliğinin sağlanması ve uzun süre izlemeye gerek kalmadan çevreden izolasyonu hedeflenmektedir. Bertaraf tesisleri, belirlenen hedef doğrultusunda, doğal ya da tasarlanmış güvenlik bariyerlerini içerecek şekilde tasarlanır. Bertarafın gerçekleştirileceği sahanın kendisi, atıkların uzun süre korunmasını ve izolasyonunu sağlayan doğal bir bariyerdir (Acar, 2019).

Hiçbir yakıt, enerji üretmek üzere yakıldığında tümüyle yok olmaz. Ancak "atık" adını verdiğimiz başka formlara dönüşür. Bu durum kömür için de uranyum için de böyledir. 1000 MWe gücündeki bir hafif-su soğutmalı nükleer reaktörden çıkan atık % 95.5 uranyum dioksit, % 3.5 fisyon ürünleri (atom ağırlıkları farklı izotoplar), % 0.9 plütonyum ve % 0.1 uranyum-ötesi elementler (neptünyum, amerikyum, küriyum) içerir. Kullanım sırasında orijinal yakıtın yalnızca % 4.5'i eksilir ve bu eksilen kısmın yerini reaktörde çeşitli nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan fisyon ürünleri, plütonyum ve uranyum ötesi elementler almaktadır.

Nükleer santrallerden çıkan atıklar, fosil yakıtlı santrallerden çıkan atıklara göre çok daha azdır. Örneğin 700 MW'lik (Keban Barajı gücünde) bir nükleer santralin yıllık atığı 100 tondur. Aynı güçte bir termik santral ise bunun 14 katını (1400 ton) bir günde çıkarmaktadır. Böylece 8 ton uçucu kül bacadan atmosfere yayılır ve yıllık atık miktarı 500.000 tonu bulur. Ayrıca yılda 4 milyar 200 bin ton sera etkisine neden olan CO_2 atmosfere verilir. Yani normal çalışma koşullarında, atıkların uzaklaştırılması ile ilgili önlemlerin alındığı nükleer santraller, çevreye karbondioksit, kükürt dioksit ve azot oksitleri yayan fosil yakıt santralleri yerine kullanıldıkları zaman sera etkisi, asit yağmurları ve ozon deliklerinin oluşması gibi olumsuz çevresel koşulların ortaya çıkmasını önlemiş olacaktır.

Kullanılmış nükleer yakıtları işleyerek (reprocessing) uranyum ve plütonyumu geri kazanmak olasıdır. Bu durumda geriye fisyon ürünleri ve uranyum-ötesi elementlerden oluşan bir karışım kalır. İşte bu karışıma, ***"Yüksek Aktiviteli Nükleer Atık"*** adı verilir. Eğer kullanılmış nükleer yakıtların yeniden işlenmesi yolu benimsenmezse, oldukça zor ve ekonomik açıdan tartışmalı bir işlemin ürünü olan kullanılmış yakıtın kendisi, yani Yüksek Aktiviteli Nükleer Atıklar (içerdiği yüksek radyoaktivite nedeniyle) ortaya çıkar. Yüksek aktiviteli nükleer atıkların, insan ve çevreye zarar vermeyecek şekilde uzaklaştırılması önemli bir konudur.

Yüzeysel radyoaktıf atık bertaraf tesisinde uzaklaştırılamayan atıkların 'Radyoaktif Atık Depolama Tesisleri' bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Kullanılmış nükleer yakıtlardaki radyoaktivite ve ısı çıkışı nedeniyle soğutma ve zırhlama gerektiren iki tür depolama uygulanır. Bunlar; havuz tipi sulu depolama tesisi (Şekil 14) ve hava ile soğutma sağlayan kuru tip depolama (Şekil 15) olarak ayrılırlar.



Şekil 14. Nükleer Yakıtların Depolanması (Havuz) (ÇŞB, 2017).

Şekil 15. Nükleer Yakıtların Depolanması (Kuru) (ÇŞB, 2017).

Radyoaktif atık depolama tesislerinde düşük ve orta düzeyli radyoaktif atık paketleri bulunur. Bu tür atık paketlerinin dış yüzeyindeki radyasyon düzeyi 200 mR/saat altında olacak şekilde hazırlandığından dış radyasyon etkileri kontrol altına alınmıştır. Radyoaktif atıkları depolama tesislerinde geçici olarak depolanırlar ve sonrasında radyoaktif atık bertaraf tesisine gönderilirler.

Bazı çevreler, nükleer atıkların uzaklaştırılmasını yeni bir teknoloji gerektiren teknik bir sorun olarak görmedikleri halde; kamuoyu, nükleer atıkları diğer endüstriyel atıklara göre yaşamı ve çevreyi daha fazla kirleten bir unsur olarak algılamaktadır. Bu durum nükleer teknolojiye sahip gelişmiş ülkelerde, yüksek aktiviteli nükleer atıkların uzaklaştırılması konusunda alınması gereken politik kararları geciktirmiş ve sorunun ***"çözülmemiş bir sorun"*** olarak da algılanmasına neden olmuştur.

Öte yandan, deniz kenarlarında inşa edilen nükleer santralların yaratabileceği en önemli çevresel sorunlardan biri de işletme sırasında atık suların denizel ortamlara verilmesi sırasında ortaya çıkan ***termal kirlenmedir***. Santralın soğuma suyu soğutma kulelerinde yeterince soğutulmadan alıcı ortama verilmesi nedeniyle termal bir kirlilik oluşmaktadır. Soğuk su ortamı sıcak su ortamına göre ekosistemler için daha uygundur. Çünkü soğuk su sıcak suya göre daha çok oksijen içermektedir. Çok az sıcaklık değişiminin bile sularda yaşayan bazı organizmaları aniden etkilediği ve bu organizmaların öldükleri bilinmektedir.

Özellikle balıklar soğuk bölgeleri aramak için sıcak ortamları terk eder. Ayrıca bazı alg türleri anormal çoğalır ve ötrifikasyon meydana gelir. Bu da oksijensiz ortamın oluşmasına yol açar. Dolayısıyla denizel ekosistemlerin nükleer santralların yaratabileceği termal kirlenmeden etkilenmesi kaçınılmazdır. Böyle bir durumda, atık suların iyice soğuması ve daha uzun süre bekletilip alıcı ortama verilmesinde yarar vardır.

Nükleer tesislerin çevresel etkileri yalnızca bulundukları yakın çevrede değil, çok geniş bir alanı etkilemektedir. Hatta nükleer tesislerin çevresel etkilerinin küresel olduğu kabul edilebilir. Dolayısıyla yer seçimi ve tesisin işletilmesi son derece titiz bir çalışmayı gerektirmektedir. Bunun için öngörülen planlamada olası riskleri ve çevresel etkileri araştırmak zorunlu olup, yer seçimine dair tüm sürecin kapsamlı bir çaba gerektirdiği göz ardı edilmemelidir.

İZLEMEYE VE DENETİME DAİR BAZI UYGULAMALAR

Bu bölümde çevresel etkilere yol açacak olan kirliliklerin izlenebilmesi için Nükleer Yakıt Tesisi (NYT)'deki başlıca denetim yerleri ve örnek izleme programları sunulmaktadır. Bunun için hava, su ve topraktaki radyasyon düzeylerini izleyen ve sınır düzeyi üzerinde çıktığında alarm ile bildiren hava, su ve toprak radyasyon ölçerleri kullanılmalıdır. NYT Etki Bileşenleri Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 3'de sunulan 'Etki Bileşenleri' inşaat, işletme ve işletme sonrası evrelerde meydana gelmesi olası fiziksel, biyolojik ve sosyoekonomik çevrelerdeki değişimleri içermektedir.

Alarm durumunda kirleticiye yol açabilecek olan sistemleri otomatik olarak beklemeye ya da alternatif kontrol tanklarına yönlendirecek olan sistemler bulunmalıdır. NYT sistemlerinin normal çalışması dışında olası nükleer kazalar için acil durum eylem planı ile çevre yönetim planı geliştirilmelidir (ÇŞB, 2017).

Radyasyon, radyo-zehirlilik, çevreye radyoizotop yayılması, hava, su ve toprağın radyoaktif kirlenmesi başlıca çevresel etkilerdir. Radyoaktif sistemlerin kapalı devre çalıştırılması esastır. NYT sahasından ve güvenlik zonundan düzenli olarak hava, su ve toprakta radyasyon ölçümlerinin yapılması ve erken uyarı sistemlerinin sürekli çalışır halde bulunması önemlidir. Yani, genel denetimi izleyen ***ayrıntılı özel denetim*** zorunludur. Ayrıntılı özel denetim ise santralin güvenli çalışması ile ilgili her bir sistem, aygıt ve malzemenin yapısından montajına ve yerinde denetimine kadar ilgili standartlara ve yönetmeliklere uygunluğunun deneyimli bilirkişilerce yapılmasını ve uygunsa onaylanmasını kapsamaktadır (Atakan, 2016).

NYT projeleri arasında yakıt zenginleştirme ve kullanılmış yakıtların işlenmesi amaçlı projeler dışındaki NYT'nin inşaat ve işletme aşamalarında koku ve elektromanyetik alanlardan kaynaklı etkilerin düşük boyutta ve önlenebilir olacağı öngörülürken, zenginleştirme sırasında elektromanyetik etkiler ve işleme sırasında koku etkili olabilir.

Kullanılmış yakıt depolama havuzlarının soğutma suyu sıcaklığının iklim üzerindeki etkilerinin hesaba katılarak deşarj sularında sıcaklık ve su kalite iyileştirmelerinin yapılmasının önemli olacağı değerlendirilmektedir (ÇŞB, 2017).

Çizelge, 3. NYT Etki Bileşenleri Çizelgesi (ÇŞB, 2017).

NYT Proje Faaliyetleri ve Etki Bileşenleri	Fiziksel Çevre									Biyolojik Çevre						Sosyo-Ekonomik Çevre					
	Arazi kullanım olanakları	Yerüstü ve yeraltı su yapısı	Erozyon ve heyelan	İklim	Hava Kalitesi	Su kaynakları ve kalitesi	Deniz kıyı yapısı	Topoğrafya	Stratigrafik yapı	Bitki Örtüsü	Endemik Flora Türleri	Fauna	Özel Koruma Alanları	Fauna	Sucul Yaşam	Nüfus Yoğunluğu	Tarım, hayvancılık	Eğitim	Peyzaj	Kültür Varlıkları	Yerel ve Ulusal Ekonomi
İNŞAAT AŞAMASI																					
Toprak Yapısının Bozulması																					
Katı atık oluşumu																					
Su kirliliği oluşumu																					
NYT proje alanı boyutları																					
Hava emisyonları																					
Gürültü																					
Toprak kirliliği																					
Görsel Etkiler																					
Arazi Kaybı																					
İŞLETME AŞAMASI																					
Radyoaktif gaz emisyonları																					
Radyoaktif sıvı deşarjları																					
Radyoaktif katı ve toz atıklar																					
Sıcak su deşarjları																					
Radyasyon																					
Radyoaktif zehirlilik																					
Toprak kirliliği																					
KAPANIŞ AŞAMASI																					
Su kirliliği																					
Radyoaktif gaz emisyonları																					
Radyoaktif sıvı deşarjları																					
Radyoaktif tozlar																					
TENORM atıklar																					
Radyasyon																					
Radyoaktif zehirlilik																					
Gürültü																					
Arazi Kaybı																					

YASAL ÇERÇEVE

ÇED Yönetmeliği (2022)'ne göre nükleer yakıt tesisleri, 25 hektar ve üzeri yüzeyde planlanan hammadde ocak işletmeleri, cevher zenginleştirme tesisleri ve kullanılmış nükleer yakıtların bertarafına dair tesisler EK-1 Listesinde yer almaktadır. Ayrıca, nükleer yakıtların üretimi, cevher zenginleştirmesi, yeniden işlenmesi ya da uzaklaştırılması aynı sürece tabidir. Yani bu hammaddelerin üretimi de kullanımından ayrı olarak başlı başına önemli çevresel sorunlara yol açacağı son derece açıktır. Nükleer

hammaddelerin arama evresi ise EK-2 listesinde yer almaktadır. Konuya dair ÇED raporları, nükleer hammaddelerin üretiminden, tesislerde kullanımını ve ortaya çıkan nükleer atıkların bertarafını kapsayacak şekilde tüm kümülatif etkileri değerlendirecek şekilde hazırlanmalıdır.

Cevherin çıkarılmasından, son ürün olarak atığın oluşmasına kadar geçen süreçte, ulusal ve uluslararası pek çok yasalar ve yönetmelikler vardır. Bu yasalarda ve yönetmeliklerde belirtilen ölçütlere ve kurallara uyulması gerekir. Bunların tümü insan sağlığının ve doğal çevrenin korunmasına yöneliktir. Nükleer enerji üretim tesisleri ile ilgili çevresel etki değerlendirmesi yapılırken, işletmeden dolayı insan ve diğer canlıların sağlığına olan etkiler irdelenmelidir. Uzun süre nükleer radyasyonun etkisinde kalan insanlarda başlangıçta kusma, iştahsızlık ve halsizlik gibi belirtiler baş gösterir. Daha sonra kemik iliği etkilenir. Bu durum ayrıca bağışıklık sisteminin zayıflamasına yol açar.

Nükleer hammaddelerin yakıt olarak kullanıldığı nükleer santrallerin yapımı ve işletilmesi için yetkili kuruluşlardan lisans alınması gerekmektedir. Bu yetkili kuruluşlar, bulunduğu ülkenin kanunlarına ve yönetmenliklerine göre çalışmalarını sürdürür. Ülkemizde de bu konu ile ilgili kuruluş Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)'dur. Ancak TAEK de tasfiye edilmiştir. Halen ülkemizde gelişmiş bir nükleer enerji sanayi olmadığından, bu sanayiye dair sorunlar henüz oluşmamıştır. Ancak önümüzdeki yıllarda bu teknolojinin de ülkemize girmesiyle karşılaşılacak tüm sorunların şimdiden gözetilip, alınması gereken önlemlerin belirlenmesi, çevre ve yaşam sağlığı bakımından önem taşımaktadır (Yılmaz, 2009a).

TAEK nükleer düzenleyici kontrol faaliyetleri kapsamında nükleer santraller için üç aşamalı lisanslama süreci tesis edilmiştir (Şekil 16). Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük'te tanımlanan bu süreçte üç ana kademeye ek olarak ara izin ve onaylar da vardır. Nükleer santral kurup işletmek için TAEK'ten Şekil 16'da görülen lisansların alınması zorunludur (Ceyhan, 2017). Söz konusu lisanslar başlıca, 1.Yer Lisansı, 2.İnşaat lisansı, 3.İşletme lisansı olarak sıralanabilir. Ancak konuya dair yasa ve yönetmelikler de sıkça değişmektedir. Oysa nükleer planlama ve düzenleme ciddiyet gerektirir.

Şekil, 16. Ülkemizde nükleer tesisler için lisanslama adımları (Ceyhan, 2017).

Lisanslama, nükleer santralin güvenli ve emniyetli bir şekilde tasarımlandığını, inşa edildiğini ve işletildiğini garanti altına almada önemli bir araçtır. Ancak bu araç, amaç için tek başına yeterli değildir. TAEK nükleer tesislerin kurulumu boyunca ve işletilmesi sırasında yürütülen bütün faaliyetlerde nükleer güvenliğin sağlandığını ve yasal çerçeveye, lisans koşullarına uyulduğunu onaylamak için denetimler de yapılmaktadır. TAEK denetimlerini planlı ya da plansız olarak, haberli ya da habersiz olarak gerçekleştirmektedir. ***TAEK denetimleri nükleer santral kurulacak olan sahanın seçiminden başlayarak santralin sökümüne kadar bütün aşamaları ve nükleer santral kurucusu/işleticisi ile nükleer santrale ekipman sağlayan bütün tedarikçileri kapsamaktadır.***

Gökeri (2019)'ye göre, Nükleer Güç Santralleri (NGS)'nin lisanslama projesi sürecinde zaman ve para kaybının önlenmesi açısından acil durum planlarının uygulanabilirliği saha belirleme sürecinde dikkate alınmalı ve planların uygulanmasının karşısında üstünden gelinemeyecek engellerin tespit edilmesi durumunda saha dışlanmalıdır.

NÜKLEER TESİSLERE DAİR ÇED' İN İÇERİĞİ

Yukarıda sunulan bilgiler irdelendiğinde nükleer tesisler için yapılacak bir ÇED çalışmasının birçok evreleri olduğu (ÇED, 2014 ve 2022) ve tüm evrelerde son derece önemli ve geri dönüşü olmayan çevresel sorunların ortaya çıkabileceği öngörülebilir. Böyle bir durumda nükleer tesisler için bir ÇED raporu hazırlanırken son derece titiz olmak gerektiği açıkça görülmektedir.

Çevresel Etki Değerlendirmesi, başlıca yatırım kararlarından önce etkilerin tanımlandığı, öngörüldüğü, değerlendirildiği ve giderildiği bir süreci tanımlamaktadır. Buna göre NYT projelerinde

çevreyle ilgili konular açıkça ele alınmalı ve karar alma sürecine dahil edilmelidir. NYT projelerinin yapımı, işletmesi ve kapanması sırasında ekolojik süreçler korunmalıdır. NYT Çevresel Etki Değerlendirmesi; projenin aşağıda sayılanlar üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini, proje bilgileri ışığında uygun bir şekilde belirlemekte ve değerlendirmektedir (ÇŞB, 2017).

- İnsanlar, hayvanlar ve bitkiler,
- Toprak, su, hava, iklim ve peyzaj,
- Maddi varlıklar ve kültürel miras,
- ve bunlar arasındaki etkileşimler.

Nükleer santrallerde saha onayının yanı sıra, tesislerin çevresel etki ve radyolojik etki değerlendirmesi zorunludur. Saha onayı çalışmalarının amacı ise yer seçiminin doğru yapılıp yapılmadığı, yani yerin her açıdan bir nükleer santral kurulmasına uygun olup olmadığının belirlenmesidir. Nükleer santrallerin yetkilendirilmesi bir düzenleyici kurumun en temel görevlerinden biri olup, çoğunlukla sahada başlar. Bu sürece koşut olarak yürütülen Çevresel Etki Değerlendirmesinin (ÇED'in) amacı da projeyle ilgili karar vericilerin daha bütünsel, daha sağlıklı karar vermelerini sağlamak amacıyla, onlara projelerden kaynaklanabilecek çevresel etkileri net olarak ortaya koymaktır.

Ayrıca, Santralde gerçekleşebilecek tüm kazalar için halkın radyasyondan korunması için acil durum planları hazırlanır. Santralin radyolojik etkileri ÇED'den başlayarak saha onayı dahil tüm yetkilendirme aşamalarında ele alınır, sonuçların kabul edilebilir olması kaydı ile santrale ilişkin izin, lisans, onay dahil gerekli yetkiler verilir (Ünver ve Koçar, 2019). Aşağıda nükleer tesislere dair ÇED raporlarının içeriği de gözetilerek bazı öz bilgiler sunulmuştur.

Projenin tanımlanması

Proje konusu olan nükleer tesislere dair faaliyetin adı ve tanımı, hizmetin amacı ve gerekçesi, işletmenin süresi, hizmet alanın genişliği, atıkları türü ve miktarı, yerin alternatifleri, tasarlana birimlerin (ünitelerin) özellikleri ile gereksinim duyulan diğer işlemler ortaya konulmalıdır. Bu bilgiler, ÇED süreci konusunda karar vermeyi kolaylaştırır. Nükleer yakıt tesislerine dair tüm projeler ÇED sürecinde yer almaktadır (ÇED Yönetmeliği, 2014).

Yer' in konumunun belirlenmesi

Proje için uygun görülen yer seçenekleri öncelikle mülkiyet durumu, onaylı çevre düzeni planları, 1/1000- 1/5000 ölçekli imar planları gözetilerek tanımlanmalıdır. Bu çerçevede önemli çevresel unsurları içeren bir bulduru haritasının hazırlanmasında yarar vardır. Tesise dair mekânın da, yukarıda yer seçiminde gözetilmesi gereken hususları içermelidir.

Mevcut çevresel özelliklerin tanımlanması

Proje alanı ve projenin etkilemesi olası öncelikli çevrenin bölgesel düzeyde tanımlanması gerekir. Hatta Nükleer bir tesisin küresel etkileri de olabileceği göz ardı edilmemelidir. Tesisin çevresel etkilerini izlemek için söz konusu bölgesel alanın jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik çalışmaların yanı sıra doğal riskler, meteorolojik, ekolojik, doğal ve tarihi koruma alanları gibi hususların değerlendirilmesi zorunludur.

Nükleer tesisler için mevcut çevresel durumu belirleyen asgari faktörlerin listesi Canter (1977) tarafından sunulmuştur. Bu faktörlerin listesinden önemli olanlar öz olarak aşağıda görülmektedir:

1. Yer ve topografya.
2. Bölgesel nüfus dağılımı, arazi ve su kullanımı – Nükleer tesis merkezde olmak üzere yarıçapı 10 ile 50 mil olan alandaki yerleşim alanlarının ve yarıçapı 50 mil olan alandaki yüzey ve yeraltı su kaynaklarını kullanımının belirtilmesi; sahada akışların mekân ve akış yönü işaretlerinin konulması.
3. Bölgesel düzeyde, tarihi, peyzaj, kültürel ve doğal değerler- Tarihi yerlerdeki ulusal ve yerel kayıtların denetimi ve ek arkeolojik aramaların yapılması.
4. Çevre Jeolojisi (yerkabuğu, topraklar ve kayatürleri)- Temel jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerin yanı sıra potansiyel doğal risklerle ile ilgili veriler.

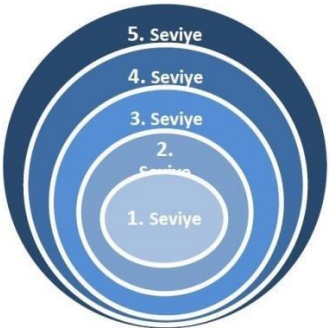
5. Hidroloji- Yerin mevcut yüzeysel ve yeraltı sularının fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hidrolojik özelliklerinin tanımlanması (ve bunların mevsimsel değişimleri); mevcut kirlilik kaynaklarının belirlenmesi ve su kalitesi standartlarının uygulanması.
6. Meteoroloji- Yağış, yükselti, atmosferik denge, rüzgâr hızı ve yönü, nem, çığ düşmesine ilişkin ısı ve sıcaklığın günlük ve aylık ortalamaları ve üst sınırların tanımlanması.
7. Ekoloji- Önemli endemik flora ve faunanın türleri ve yaşam yerlerinin belirlenmesi ve nadir bulunan ve yaşamı tehlikede olan türlerin tanımlanması; bir haritada türlerin dağılımlarının sunumu ve ekolojik açıdan sıralı değişimin tartışılması.
8. Radyoloji (Temel radyasyon özellikleri). Projenin etki alanında mevcut radyasyon durumunun ortaya koyulması.

Yukarıda sunulan faktörlerin listesi mevcut durumu belirlemenin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Projenin çevresel özelliklerinin ve alınacak önlemlerin değerlendirilmesi

Nükleer tesisler için öncelikle hammaddenin üretilmesine dair planlama ve hazırlık, ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme evrelerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Daha sonra da tesisin yer seçimi, inşaat ve işletme ile yeniden düzenleme evreleri değerlendirilmelidir. Her evrede tüm çevresel ortamlar etkilenebilir. Dolayısıyla her evre özelinde çevresel etkileri değerlendirmek daha uygundur. Son derece önemli çevresel etkileri olan nükleer tesislerin doğal ya da insani risklerinin de olabileceği gözetilerek kapsamlı bir acil eylem planının oluşturulması zorunludur. Bu planın en üst düzeyde sorumluları olarak da faaliyete karar verenleri oturtmak gerekir.

Nükleer tesislerde güvenlik önlemleri son derece önemli olup, "Derinliğine Savunma Stratejisi" çerçevesinde gerekli önlemler alınır. Bu strateji santralin nükleer güvenlik hedeflerinin zarar görmesini ve santral içerisinde herhangi bir sebeple oluşabilecek radyoaktif maddelerin dışarıya çıkmasını engelleyecek iç içe geçmiş bir dizi önlemin alınması olarak tanımlanabilir. Derinliğine savunma stratejisi beş seviyeli olarak düzenlenmiştir (Şekil 17; Ceyhan, 2015). Söz konusu seviyeler aşağıda sunulmuştur:



Şekil, 17. Derinliğine savunma stratejisi beş seviyeli yapay görünümü (Ceyhan, 2015).

1. Seviye: Normal işletme koşullarından sapmaların ve bu sapmalara neden olabilecek arızaların önlenmesi,
2. Seviye: Anormal işletme durumlarının denetimi, arızaların belirlenmesi ve arızaların kazaya yol açmalarının önlenmesi,
3. Seviye: Kazaların tasarım esasları içerisinde denetimi ve ciddi bir kazaya dönüşmesinin önlenmesi,
4. Seviye: Ciddi kazanın gerçekleşmesi durumunda, kazanın daha fazla büyümesinin önlenmesi ve kaza koşullarının sonuçları hafifletecek şekilde kontrol altında tutulması,
5. Seviye: Santral dışına ulaşabilecek radyoaktif maddelerin radyolojik sonuçlarının hafifletilmesi.

Halkın katılımı

Nükleer tesislerin yer seçiminin belirlenmesi genellikle çok tartışmalı geçer. Çünkü hiç kimse yaşamını sürdürdüğü bir yerde böyle bir tesis istemez. Aslında nükleer tesislerin çevresel etkilerinin küresel olduğu gözetilirse halka katılım toplantılarının da küresel olması beklenir. Böylesi toplantılar ÇED'in felsefesine daha uygun olur. Ancak tesislerden öncelikle bölgede yaşayan halkın olduğu unutulmamalıdır. Gerçekten konuyu halkla verimli bir ortamda paylaşmak ve halkın görüşlerine kulak vermenin bir yolu bulunmalıdır.

NÜKLEER ENERJİYE TEMEL İTİRAZLAR

Dünyadaki çevreci yaklaşımların en büyük sorunu, insanlık ve doğa için sağlıklı bir geleceği öngöremeyen kapitalizmin gelişmesine takılıp kalmasıdır. Kimi söylemlere göre sermayenin sınırsız 'özgürlüğü', yoksul ülkelere refahın, bir anlamda cennetin anahtarlarını vadetmektedir. Oysa gerçekleştirilen her büyük faaliyetin büyük bir bedeli vardır. Nükleer enerji özelinde bazı itirazlar aşağıda sunulmuştur (CBT, 2015):

1- Dünya'da yaşanan iki büyük nükleer kazanın (Çernobil ve Fukuşima) teknoloji ile ilgisi yoktur. Biri insan hatası diğeri doğal afetle ilgili kazalardır. Ayrıca bu kazaların sonuçları da ortadadır. Geri dönüşü mümkün olmayan sağlık sorunları… Ve ortalama ömürleri 50 yıl olan nükleer santralların söküm maliyetleri kuruluş maliyetlerinden yüksektir.
2- Ülkemizde nükleer santrallarının evlerdeki tüp patlamaları ile eş tutan anlayışın egemen olması ciddi bir sorundur. Bu anlayışın karar verici makamlarda egemen olması daha da büyük bir sorundur.
3- Gelişmiş Batı ülkeleri nükleer tesislerini zamana yayarak kapatmaya çalışırken, ülkemizde 50 adet santralin planlamaya alınmış olması ayrı bir sorundur. Oysa Türkiye batı ülkelerine göre yenilenebilir enerji kaynakları açısından daha şanslıdır.
4- Türkiye'deki enerji dağıtımındaki kayıp-kaçak oranı % 20' lerde iken, Dünya ortalaması %8' dir. Hiç olmazsa Dünya ortalamasına ulaşmak için çaba harcadıktan sonra nükleer santraller düşünülmelidir.
5- Nükleer atıklarının nerede ve nasıl bertaraf edileceği henüz aydınlanmış bir konu değildir. Bu konuda bir proje ya da karar henüz ortaya koyulamamıştır.
6- Nükleer santrallara yakın olan insanlarda kanser riskinin % 60-70 arttığı ve lösemi riskinin yine çocuklarda iki katına çıktığı bilinmektedir. Ayrıca nükleer santrallerin çevresel etkileri yerel ya da bölgesel değil, küreseldir. Böylesi etkileri olan bir faaliyetin insanlığa ne gibi yararı tartışmaya açık bir konudur.
7- Nükleer kazalar, sadece tesisin bulunduğu bölgeyi etkilemez, bu kazaların etkileri küreseldir.

Öncelikle nasıl bir toplumda ve çevrede yaşamak istediğimizi sorgulamak zorundayız. Daha sonra da nükleer enerji ile ilgili perde arkasında işleyen küresel sermayenin hedeflerini görmek gerekmektedir. İçine sürüklendiğimiz anlamsız üretim-tüketim sarmalını bir sorun olarak algılamadan, enerji sorununa bir çözüm arıyormuş gibi yapmak zaman kaybıdır.

NÜKLEER KAZALAR

Nükleer tesislere yapılan itirazların önemli bir bölümü yapılan kazalara ilişkindir. Dolayısıyla bu konuda ayrı bir başlık açmakta yarar vardır. Çoğu nükleer kazalar da reaktörlerin çalışması sırasında meydana gelmektedir. Doğal bir afet nedeniyle ya da teknolojik bir hata ile reaktörde oluşan ısı denetlenemez bir duruma gelebilir. Normal koşullarda rektörün yakıt çubuklarının yarattığı yüksek ısı suyu kaynatıp buhara dönüştürür.

Oysa soğutma sisteminde bir arıza olduğunda yakıt çubukları su ile soğutulamaz ve ısınmaya devam eder. Çubuklar 1200 santigrat dereceye ulaştığında, çubukların üzerini kaplayan zirkonyum buhar ile etkileşime girer ve hidrojeni sudan ayrıştırır. Hidrojen reaktörün içinde % 4 düzeyine ulaşırsa patlayabilir. Patlamadan sonra ortaya çıkan radyasyon sadece tesisin yakın dolayını değil, su kaynaklarına ve atmosfere yayılarak tüm ekosistemleri etkisi altına alabilir. Böyle bir durumda radyoekoloji biliminin birikimlerinden yararlanarak çevremize (yani suya ve toprağa) giren radyoaktif maddelerin düzeylerini, bunların canlılara ve insanlara olan yansımalarını saptamak ve ona göre önlemler almak zorunludur.

1979'da ABD'nin Pensilvania'daki Three Mile Island nükleer santrali ve 1986'da Çernobil santrali kazaları soğutma sisteminde insan kaynaklı arızalarla, 2011'de Japonya'nın Fukuşima Daiçi nükleer santral kazası ise yer seçimine ilişkin bir tercihin öngörülemeyen büyüklükte doğal bir afete (tsunami)

uğraması sonucu meydana gelmiştir. Bu afet sonunda meydana gelen kaza reaktörün çekirdeğindeki suyun devri-daim sürdürülerek önlenebilirdi. Dolayısıyla bu gibi durumlarda pompa kullanmadan önce ***'pasif su döngüsünü'*** test etmek gerekmektedir. Ancak Japon reaktörlerinde bu sistem tasarlanmamıştır (Bağdatlıoğlu, 2011).

26 Nisan 1986 yılında bir kaza sonucu meydana gelen Çernobil felaketi (Şekil 18) ülkemizi, özellikle Doğu Karadeniz bölgesini de etkilediği bilinmektedir.

Şekil, 18. Çernobil belgeselindeki nükleer yangın sahnesi
https://khosann.com/cernobil-nukleer-reaktoru-neden-patladi/ (14 Kasım 2020).

Çernobil Nükleer Santrali'nde meydana gelen patlamadan sonra santralin çevresi, hayalet bir kente dönüşen Pripyat ve kimsenin ayak basamayacağı yerleri ***Yandex.Panorama*** ile adım adım gezmek mümkündür. Bunun için ***Yandex.Arama***'yı eklemek yeterlidir. Korku dolu geçmişi kendi gözlerinizle görebilirsiniz (https://yandex.com.tr/).

Yani nükleer yakıtın saklandığı ***Mark 1*** olarak bilinen muhafaza kabındaki güvenlik sisteminin iyi tasarlanmadığı ileri sürülmektedir. Mark 1 muhafaza kabı reaktörün altında kısmen su ile dolu halka şeklinde bir yapıdır. Bu yapının ek soğutma yapabilecek düzeyde tasarlanması gerekir. Ancak ek soğutma elektriklerin kesilmesi nedeniyle uzun sürmedi. Günümüzde acil bir durumda yerçekiminden yararlanarak reaktörü soğutabilecek sistemler geliştirilmektedir (Akoğlu, 2011).

Örneğin, Three Mile Island nükleer santrali birdenbire ısınır ve santrale su pompalama ihtiyacı doğar. Nükleer santraldeki ısınmayı denetlemek için su kullanılmaktadır. Suyu sağlayan pompalardan en az üç tane öngörülmektedir ki, biri kaza yapınca diğerleri devreye girsin. Oysa devreye sokulan üç pompa da çalışmadı. Bunun nedeni üç saat önce yapılan bakım sırasında her üç pompanın kapatılıp, daha sonra açılmalarının unutulmasıdır. Gereksinim ortaya çıkınca kontrol merkezinde pompaların kapalı olduğu belirlenip tekrar devreye sokuluncaya kadar geçen sekiz dakika içinde santral patlar ve nükleer sızıntı başlar. Çernobil kazası da deneme amacıyla yapılan bir uygulamada su pompalarının arızalanması sonucu olmuştur.

Öte yandan Japonya'da 11 Mart 2011 tarihinde meydana gelen nükleer felaketin üzerinden 6 yıl geçtikten sonra bile, Tokyo Elektrik Şirketi ve Uluslararası Atom Enerji Ajansı tarafından; atmosfere, okyanusa ve toprağa bulaşan radyoaktif izotoplar hakkında sağlıklı bir açıklama gerçekleştirilememiştir. Kazanın boyutlarını gizlemek için büyük gayret gösterilmesine rağmen bağımsız araştırmacıların çabalarıyla gerçekler ortaya çıkarılabilmiştir. Patlama sonucu yayılan radyoaktif maddeler Kuzey Amerika'nın batı kıyılarına, Avrupa kıtasına, Pasifik okyanusuna, Kuzey yarımkürenin büyük kısmına yayılmış durumdadır.

Japonya hükümeti, 2011-2016 yılları arasında Fukuşima dolayını yeniden inşa etmek üzere 220 milyar dolar harcadı. Ayrıca nükleer atıklardan arındırma ve tahliye çalışmaları için 35 milyar dolar daha gerekli olduğu iddia edilmektedir. Toplam 255 milyar dolara, nükleer tesisin inşası ve işletmesi için

yapılan harcamalar dahil değildir. Bu arada söz konusu kaza nedeniyle 3500 kişi hastalıklar ve intihar nedeniyle öldü. 123 bin kişi evlerinden uzak yaşamak zorunda kaldı. İnsan yaşamı maddi olarak değerlendirilemez. Dolayısıyla kaza nedeniyle ölenlerin kaybını bir kenara koyalım. Ancak, böylesine büyük bir maddi kayba yol açan nükleer santralin Japonya'ya ne kadarlık bir katkısı olduğu da sorgulanması gereken bir konudur.

Tüm yukarıda belirtilen gelişmelere karşın entegre bir tesis olarak ele alınması gereken Akkuyu projesinin yalnız belirli bir bölümü Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) sürecine dâhil edilmiştir. Akkuyu' ya bağlantı sağlayacak enerji iletim hatları ve trafo merkezlerinin ve atık sahalarının çevresel etki değerlendirme süreçleri, ÇED Raporu dışında bırakılmıştır.

Türkiye'de nükleer tesislere yönelik bir tepki vardır. Bu tepkilerin bir bölümü, yüksek güvenlikli nükleer santrallerin yer seçimi, tasarımı ve işletme süreçlerinde ortaya çıkacak olan atıkların uzaklaştırılması hususlarında uluslararası standartlara uyum sağlanıp sağlanamayacağı konusundaki belirsizliklerden kaynaklanmaktadır.

NGS'de meydana gelebilecek acil bir durumda, bölgedeki halkın sığınma veya tahliyesi ya da acil durumla başa çıkmak için ihtiyaç duyulan tesis dışındaki müdahale ekiplerinin tesise ulaşmasını veya tesisten ayrılmasını engelleyecek olumsuz bir saha koşulu bulunmamalıdır (IAEA, 2002).

Acil durum planlarının uygulanabilirliğinin gösterilmesinde dikkate alınan ve sahaların derecelendirilmesinde göz önünde tutulabilecek olan saha ile ilgili etkenlerin en önemlileri (Gökeri, 2019):

- Bölgedeki nüfus yoğunluğu ve dağılımı,
- Sahanın 25000'dan fazla nüfusa sahip olan ve "nüfus merkezi" olarak tanımlanan yerleşim bölgelerinden uzaklığı,
- Hastane veya ceza evi gibi kurumlardaki tahliye etmesi ve sığınması zor olan toplumun özel grupları ile göçebelerin varlığı,
- Ada, dağlar ve nehirler gibi belirli coğrafik özellikler,
- Yerel taşıma ve iletişim ağlarının nitelikleri,
- Olası tehlikeli faaliyetlere yol açabilecek endüstriyel tesisler,
- Çevreye radyoaktif madde salımına karşı hassas olan endüstriyel tesisler,
- Acil durum ile eş zamanlı gerçekleşebilecek dış olaylar.

Bölgede büyük halk gruplarının varlığı veya bir şehrin NGS sahasına yakın olması, acil durum planlarının etkinliğini ve uygulanabilirliğini azaltabilir. Ayrıca doğa kaynaklı olaylarının (sis ya da kar gibi öngörülebilir doğa kaynaklı) acil duruma müdahalesinin etkinliğini sınırlandırabilecek sonuçları olabilir.

Bölgedeki halkın etkin tahliyesinin sağlanabilmesi açısından alternatif tahliye rotalarının mevcut olması veya kısa zamanda oluşturulabilir olması dikkate alınmalıdır. Acil durumlarda tahliye yolu NGS'nin yakınından geçmesi gerekecek olan halkın mevcut olması ve diğer koruyucu eylemlerin ve alternatif tahliye yolu gibi önlemlerin bu zorluğun üstesinden gelemeyecek olması durumunda saha dışlanmalıdır.

TÜRKİYE'DE NÜKLEER ENERJİ SERÜVENİ

Türkiye'deki nükleer enerjinin tarihi Ültanır (2018) tarafından daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Buna göre, nükleer enerji, Türkiye'nin gündemine 63 yıl önce 1955 yılında ABD ile imzalanan 'Sulh için Atom' anlaşmasıyla girdi. 1956 yılında Atom Enerjisi Kurumu ve ardında Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi kuruldu. 1957 yılında Türkiye'yi Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) içinde kurucu üye olarak yer aldı.

Nükleer enerji için, ilk adım, 1965 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından atıldı. Daha sonra, 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kuruldu ve nükleer enerji faaliyetleri TEK tarafından sürdürüldü.

2002 yılı sonunda, AKP iktidara geldikten sonra nükleer enerji santralleri yeniden tartışmaya açıldı. 8 Mayıs 2007 tarihinde 5654 sayılı "Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun" çıkarıldı. Kanunun bazı maddeleri 10'uncu Cumhurbaşkanı Necdet Sezer

tarafından veto edildi. Daha sonra, Kanun revize edildi ve 24 Mart 2008'de nükleer santrali kurup işletecek, TETAŞ'a elektrik satacak şirketin belirlenmesi için yapılacak yarışmanın ilânı Resmî Gazetede yayınlandı.

Son teklif verme ve tekliflerin açılma tarihi 24 Eylül 2008 olarak belirlendi. Rus Atomstroyexport firması ile Türk ortağının oluşturduğu konsorsiyum teklif verdi. 12 Mayıs 2010'da Rusya ile Akkuyu Nükleer Santrali için bir Hükümetlerarası anlaşma imzalandı. Bu anlaşma daha sonra 15 Temmuz 2010'da 6007 sayılı kanun ile onaylandı.

3 Nisan 2018 günü Akkuyu'ya yaklaşık 500 km uzakta bulunan Ankara'da, Cumhurbaşkanlığı Külliyesi'nde düzenlenen törenle Erdoğan-Putin ikilisi uzaktan kumandayla temel atımını gerçekleştirdi. Böylece birinci aşama olan hazırlık dönemi bitti. İkinci aşama olan Akkuyu NGS İnşaatı dönemi başlamış oldu. Birinci aşamada "Gerekli lisans ve izinlerin alınmasının ardından ilk ünite 7 yıl içinde devreye alınacaktı. Ancak, ilk ünitenin Cumhuriyet'in 100. Yılı 2023'de (5 yıl sonra) devreye alınacağı kayıtlara geçti.

Günümüze gelince, Türkiye'de Akkuyu'da, Sinop'ta ve İğneada'da nükleer santrallerin kurulması ve işetilmesi planlanmaktadır. Bu santrallerin yerleri Şekil 19'da görülmektedir. Yapılan planlamaya göre ilk santral Akkuyu'da faaliyete girecektir. Rusya ile Türkiye arasında 2010 yılında imzalanan anlaşma sonrasında start alan Akkuyu Nükleer Güç Santrali projesi, ilk verilere göre 22 milyar dolara mal olacağı tahmin edilmişti. Bir tanesi 1200 megavat gücünde 4 reaktörün olması planlanan santralin Türkiye'nin enerji ihtiyacının yüzde 10'unu karşılaması hedeflenmiştir.

Şekil 19. Türkiye'de öngörülen nükleer santrallerin konumu
https://www.sozcu.com.tr/2017/ekonomi/turkiyenin-nukleer-santral-haritasi-1928257/

Akkuyu projesinin maliyeti, daha sonra 22 milyar Dolar'dan 25 milyar Dolar'a yükseltilmiştir. Hükümet, Akkuyu'da üretilecek elektriğin % 50'sine, 15 yıl boyunca 12,35 cent/kWh bedelle alım garantisi verdi. Yani, diğer santrallerde 15 kuruş olan elektrik için, doların günümüzdeki kuru gözetildiğinde 49 kuruşa alım garantisi verilmiştir. Doların sürekli yükseleceği de göz ardı edilmemelidir. Aradaki fark, doların günümüzdeki karşılığı olarak, projenin maliyetini 35 milyar Dolar'a yükseltmektedir. Böyle olunca, proje, gelecekte proje olmaktan çıkıp, SOYGUN haline gelecektir. Öte yandan Akkuyu nükleer tesisinin faaliyete geçmesi halinde Akdeniz ekosistemi üzerinde bölgesel düzeyde ve kapsamlı olumsuz etkilerinin olabileceği ileri sürülmektedir (Yarman, 2023).

İkinci santral Sinop'ta Sinop Nükleer Enerji Santrali için imzalar 2013 yılında atıldı. Santralin Sinop'un İnceburun Yarımadası'nda kurulması planlandı. Sinop Nükleer Santrali'nin maliyetinin 20-22 milyar dolar civarında olması beklenmekte idi. Japon MHI ve Fransız Areva ortak girişimi ile geliştirilen Atmea-I tipi basınçlı su reaktörü kullanılacak olup bu teknoloji dünyada ilk defa Sinop'ta denenecek. Santralin, 1120 MW'lik 4 reaktör ünitesiyle toplam 4.480 MW kurulu güce sahip olması tasarlanmış olup, ilk reaktörünün 2023 yılında devreye girmesi planlandı.

Sinop'ta yapılacak olan nükleer santral için Japonlarla Hükümetler arası anlaşma yapıldı. Yatırım tutarı 22 milyar dolardı. Ancak Fukuşima'daki facianın ardından Japonlar yeniden değerlendirme yaptılar ve ek tedbirler öngördüler. Bu durumda da maliyet arttı. Japonlar yatırım tutarını 42 milyar dolara çıkardı. Hükümet kabul etmedi. Japonlar da projeden çekildi. Oysa ÇED raporu, Japonlarla bu iş yapılacakmış gibi hazırlanmıştı. Basında, Japonlar projeden çekildikleri halde ÇED raporunun sanki Japonlarla proje yapılacakmış gibi hazırlandığına ve onaylandığına dikkat çekildi.

https://www.cumhuriyet.com.tr/haber/nukleerde-skandal-sinopta-yapilacak-santral-icin-hazirlanan-ced-raporu-olmayan-sozlesmeye-dayandirildi-1791043 (15 Kasım 2020).

https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/FMfcgxwKjTRzpTrzVzVFZbPGZbGBgplc (15 Kasım 2020).

Böylesi anlaşmalara, AKP sonrası hükumetler tarafından 'kamu yararına' iptal edileceği öngörüldüğünden, hiçbir firma işe girmek istememektedir. Üstelik Akkuyu ve Sinop sahaları iç ve dış güvenlik ve emniyet açısından çeşitli tehditlere açıktır. Dolayısıyla söz konusu sahaların emniyet ve güvenlik açısından yeniden değerlendirilmesinde yarar vardır (Udum, 2019).

Üçüncü santralin yeri için ise Kırklareli'nin İğneadası uygun görülmektedir. Dönemin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Ali Rıza Alaboyun 2015 yılında yaptığı açıklamada, üçüncü sanatralin kimler tarafından yapılacağı sorusunu, "Şu an 3'üncü de Çinliler ve Amerika'nın Westinghouse firmasıyla mutabakat zaptı şeklinde bir anlaşma imzalandı, onlar bir çalışma yapıyorlar ama tabii ki bu diğer firmalara açık değil anlamına gelmez. Bu konuda teklif vereceklerle görüşüyoruz. Japonların yine ilgisi var, bu nükleer tesisin teknolojisinin de aynı olmasını istiyoruz" şeklinde yanıtlamıştı.

Enerji alanında yasal değişiklikler baş döndürücü bir hızla yaşanmaktadır. ***Resmî Gazetenin, 28 Mart 2020 tarih ve 31082 sayısında yayımlanan 57. Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi'nde*** "Kamu tüzel kişiliğini haiz, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile ilgili, özel bütçeli" ***Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK)*** kurulmuştur. Bu Kararname ile; daha önce kurulmuş ve yapılandırılmış olan "Türkiye Atom Enerjisi Kurumu" (TAEK), 2003 yılında kurulmuş bulunan Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) ve 2018 yılında kurulmuş bulunan "Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN)" kapatılmıştır.

Kapatılan kurumların görev ve yetkileri TENMAK'a devredilirken, faaliyet alanı içine; enerji, maden, iyonlaştırıcı radyasyon, parçacık hızlandırıcıları, nükleer teknoloji, bor, nadir toprak elementleri ve diğer elementlerin birbirleriyle ilişkili uygulama ve kullanım alanları dahil edilmiştir. İnsan, bu kadar seri yasal değişiklikleri anlamakta güçlük çekiyor ve sormaktan kendini alamıyor. 2002 yılından beri ülkeyi yönetenlerin, kendi dönemlerinde kurulan ve kapatılan enerji tesisleri, enerji alanında sağlıklı bir planlamanın olmadığına, ya da planlamaya dair bir kafa karışıklığına mı işaret etmektedir? Öncelikle kurumsallaşmanın önemini kavramalıyız.

Nükleer santraller, önemli stratejik tesislerdir. Bunların yer seçiminden, tasarımına ve yapımından kapanışına kadar her aşaması ileri düzeyde eğitim ve denetim gerektiren tesislerdir. Ayrıca, santrallerin işletilmesi özel düzenleme gerektirir. Dolayısıyla, nükleer tesisler, sağlıklı biçimde kamu eliyle ve kamu yararına yapılmalıdır. Santralin mülk sahibi devlet olmak zorundadır. Santralin işletme ve denetimi yalnızca ve yalnızca kamunun elinde olmalıdır. ***Sorumluluk, kamu yararını gözetmek zorunda olan devletindir. Ülkemizde, bu tesislerin özel çok uluslu firmalar eliyle yönetilmesi akla ziyandır. Ayrıca, ÇED kapsamında, halkımızın rızası alınarak nükleer tesislerin çok uluslu firmalar eliyle yönetilmesi mümkün görülmemektedir.***

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nükleer tesislerin ya da nükleer güç santrallerinin son derece önemli çevresel etkileri olduğu açıktır. Bir ülkenin bu tür uygulamalara geçmeden önce kendi enerji politikasını kapsamlı bir biçimde gözden geçirmelidir. Çünkü nükleer yakıtların üretimi ve bu yakıtların kullanılmasıyla ısınmak yerine soğukta oturmayı göze alan insanların da yaşadığı bir dünyadayız. Nükleer enerji konusunda herkesin onayını almak mümkün değildir. Azınlığın da haklarını korumayı hedefleyen bir demokraside, nükleer tesisleri işletmek çok zordur.

Öte yandan, Türkiye, enerji kaynakları sınırlı olan bir ülkedir. Enerji ithalatına önemli miktarlarda döviz ödemektedir. Ekonomistlere göre cari açığın temel nedenlerinden birisi de enerjiye ödenen paradır. Dolayısıyla, Türkiye enerjisini çeşitlendirmek ve gelişen sanayisinin baz yükünü karşılayacak düzenli enerji üretimine ihtiyacı vardır.

Gelişmiş ülkelerin çoğunun kullandığı bir enerji türü olan nükleer enerji de elbette bir seçenektir. Temel sorun, yapılacak nükleer tesislerin evrensel bir niteliğe kavuşmuş olan ***nükleer güvenlik kurallarına uygun*** olarak yapılmasını sağlamaktır. Bunun en temel koşulu da etkin ve siyasi otoriteden bağımsız bir ***'Nükleer Düzenleme Kurumu'***nun oluşturulmasıdır.

Ayrıca, nükleer bir program politik açıdan da süreklilik ve kararlılık gerektirir. Bu da kamuoyu ile sağlanabilir. Ülkemizde, her dönem değişen kararlarla, kapsamlı bir programın yürütüldüğünün örneği dünyada da yoktur. Bu bağlamda bir nükleer enerji programının başarısının, ulusal düzeyde mutakabat sağlanmasına ve bu mutakabatın açık, şeffaf ve kesin bir politikaya dönüştürülmüş olmasına bağlı olduğunu belirtmek gerekir.

Öte yandan, yenilenebilir enerjilere yönelim giderek artmaktadır. Ancak her yenilenebilir enerji türünün de çevresel etkileri olduğu unutulmamalıdır. ***Dolayısıyla, enerji politikaları, ülkenin gerçeklerine dayalı ve uzun vadeli olmalıdır. Bu politikalar belirlenirken, söz konusu politikaların dünyanın geleceğini etkileyecek iklim değişimi stratejisi ile uyumlu olması gerekmektedir.***

Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından düzenlenen konuya dair çalıştayda (JMO, 2019) çeşitli meslek odalarından, üniversitelerden, kamu kuruluşlarından ve serbest çalışan mimar, mühendis, sosyal bilimci ile çeşitli disiplinlerden akademisyenlerin katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalıştayın nükleer enerjiye dair sonuçlarının bir özetini sunmakta yarar görülmektedir:

"Nükleer enerjinin kullanımına dair, çok farklı görüşler ve bilgi kirliliği vardır. Karşı da olsak, yanında da olsak, bu enerji türü ve teknolojisi yakından izlenmelidir. Bu durum mühendis olmamızın yanında biz yurtseverlere düşen bir görevdir. Aynı zamanda çağdaş yaşamın bize dayattığı bir zorunluluktur. Çünkü nükleer enerji, teknolojik gelişmelere koşut olarak tıp, tarım, sanayi ve elektrik üretimi olmak üzere, yaşamın her alanında kullanılmaktadır.

Tüm tartışmaların ışığında, ülkemizin kaynaklarının sınırlı olduğu, enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve gelişmekte olan sanayisinin baz yükünü karşılamak amacıyla düzenli bir enerji üretimine ihtiyaç duyacağı değerlendirilmiştir.

Ayrıca, şurası unutulmamalıdır ki, hiçbir yakıt kullanıldığında yok olmaz ve tümüyle enerjiye dönüşmez. Her durumda bir miktar "Atık" ortaya çıkar. Önemli olan bu atıkların, gelecek kuşaklara sorun oluşturmadan yönetilebilir olmasıdır. O nedenle gerek fosil kaynakların gerekse radyoaktif kaynakların kaçınılmaz olarak çevresel etkileri olacaktır. Bu konuda bazı kaygıların olduğu açıktır. Bu kaygıların giderilmesi için tüm süreçlerin şeffaf bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

Bütün mesele, kimyasal ve nükleer reaksiyona bağlı olarak elde edilen elektriğin üretilmesi sırasında, sürdürülebilir kalkınmayı engellemeden, yönetilebilir ve uzun vadeli bir program yapılarak, iklim stratejisine uygun, küresel ısınmayı engelleyecek ekonomik kaynakların ülke yararına kullanılmasıdır.

Nükleer döngünün sağlıklı işlemesi, sahanın onayı, tesisin inşaat ve işletmesi ile işletmeden çıkarılmasını içeren tüm süreçlerde, nükleer güvenlik ve emniyet, çevresel ve radyolojik etkiler, radyoaktif atıkların bertarafının güvenceye alınması ve bu süreçleri gözeterek oluşturulan acil durum planlarının iyi bir şekilde düzenlenmesine bağlıdır".

Türkiye, nükleer santrallerle ilgili olarak, iç ve dış tehditlerin sosyolojik ve jeopolitik analizleri henüz yeterince yapılmamaktadır. Genel olarak nükleer enerji ve nükleer santraller, çok-disiplinli bir araştırma ve değerlendirmenin sonunda hem nükleer güvenlik hem de emniyet açısından ele alınmalıdır. Yer seçimi konusunda, içinde bulunulan tarihsel dönemin yanı sıra, geleceğe yönelik siyasi riskler de doğru hesaplanmalıdır (Udum, 2019).

Ayrıca, Türkiye'nin A.B.D. ile "Barış İçin Atom" programı çerçevesinde bir antlaşma imzalamasından sonra, ülkede, özellikle eğitim kurumlarında nükleer enerji konusunda eğitimler verilmiş, uzmanlar yetiştirilmiş, çeşitli araştırma merkezleri açılmış ve nükleer enerjinin salt barışçıl amaçlar ile kullanımının her aşamasında araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca, Türkiye'de nükleer enerjiye dayalı elektrik enerjisi üretimi konusunda da çeşitli girişimler vardır. Dolayısıyla ülkemizde konuya dair epey deneyimler de kazanılmıştır. Asıl önemli olan ise, bu konudaki çağdaş gelişmeleri ıskalamamaktır.

Türkiye, enerji planlamasında, nükleer teknolojiler ve enerji konusunda bilgi birikimini mutlaka artırmalı, mevcut enerji kaynaklarının elektrik ihtiyacını karşılamada yetersiz kalma olasılığına karşı; nükleer enerji kullanımında risklerin tümüyle tanımlandığı, yeni teknolojilerin güven verdiği ve atık sorununun tam olarak çözüldüğü koşulların oluşması halinde nükleer enerjiden de yararlanma olanaklarını değerlendirmelidir.

Önemli olan, enerjinin üretilmesi sırasında, sürdürülebilir kalkınmayı engellemeden, yönetilebilir ve uzun vadeli bir program yapılarak, iklim stratejisine uygun, küresel ısınmayı engelleyecek ekonomik kaynakların ülke yararına kullanılmasıdır. Nükleer enerji açısından, sahanın onayı; tesisin inşaat ve işletmesi ile işletmeden çıkarılmasını içeren tüm süreçlerde, nükleer güvenlik ve emniyet, çevresel ve radyolojik etkiler, radyoaktif atıkların bertarafının güvenceye alınması ve bu süreçleri gözeterek oluşturulan acil eylem planlarının iyi bir şekilde düzenlenmesine bağlıdır.

KAYNAKLAR

Acar, B. B., 2019, Radyoaktif atık bertaraf tesisleri için saha seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 271-279.

Adair, M.J., 1979. Geologic evaluation of a site for nuclear power plant, Reviews in Engineering Geology, vol. IV, Geology Society of America.

Akoğlu, A., 2011, Nükleer Santraller ve Güvenlik. Tubitak Bilim ve Teknik, 521, 32-36.

Arık, M. Sultansoy, S., Çetiner, M. A., Çalışkan, A., Bilgin, P. S., 2012. Yeşil Nükleer Enerji Proton Hızlandırıcıya Dayalı Toryum Yakıtlı Enerji Sistemi, Bilim ve Teknik, [https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/KtbxLzfhdDqVrkBMMXqmdCPBdHLsgQNrLV (17 Eylül 2020, saat 21.00)].

Atakan, Y., 2016. Radyasyon güvenliği yüksek bir nükleer santral kurulabilmesi için neler yapılmalı? Nükleer Bilimler Kongresi, 13 Ekim 2016, Kuşadası/ İzmir.
https://www.radyasyonyatakan.com/yazi/radyasyon-guvenligi-yuksek-bir-nukleer-santral-kurulabilmesi-icin-neler-yapilmali (01 Şubat 2023).

Bektur Y., 2006. Site Selection Methodology in Turkey. The Fourt Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application, 2006, Baku.

Bektur, Y., 2019. Enerji, nükleer santrallerin uyum kriterleri ve yer seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s.185-232.

Canter, L.W., 1977, Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.

CBT, 2015, Türkiye' de nükleer enerjiye temel itirazlar. Cumhuriyet Bilim Teknoloji, sayı 1474, s. 18,

Ceyhan, M., 2015. Nükleer Güvenlik ve Nükleer Düzenleyici Sistem. Enerji ve Diplomasi Dergisi, 1, 4, 140-153.

ÇED Yönetmeliği, 2014, Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği (25 Kasım 2014 tarih ve 29186 sayılı Resmî Gazete).

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

ÇŞB, 2017. Nükleer yakıt tesisleri. Çevresel etkiler ve alınacak önlemler kılavuzu – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 72 s.

DEI ve BPC, 2002, Study of Potential Sites For the Deployment of New Nuclear Plants For the United States. Dominion Energy Inc (DEI) and Bechtel Power Corparation (BPC), USA

Gökeri, G., 2019. Nükleer santraller için yer seçiminde acil durum planlarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 233-240.

Higgins., R.A., 1976, Engineering Metallurgy: Hodder and Stoughton, Londra, 467 s.

http://www.habercizgi.com/index.php/2020/01/01/nukleer-enerji-nedir/ (15 Kasım 2020).
http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/2012-yagisdegerlendirmesi
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12619
https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf (03. 11. 2020). Advances In Small Modular Reactor Technology Developments, 2020 Edition, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), http://aris.iaea.org
https://khosann.com/cernobil-nukleer-reaktoru-neden-patladi/ (14 Kasım 2020).
https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/FMfcgxwKjTRzpTrzVzVFZbPGZbGBgplc (15 Kasım 2020).
https://www.bilgiustam.com/nukleer-santraller-nasil-calisir-problemleri-nelerdir/ (14 Kasım 2020)
https://www.cumhuriyet.com.tr/haber/nukleerde-skandal-sinopta-yapilacak-santral-icin-hazirlanan-ced-raporu-olmayan-sozlesmeye-dayandirildi-1791043 (15 Kasım 2020).

https://www.dogadergisi.com/turkiye-uranyum-rezervleri/ (15 Kasım 2020).
https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/nukleer-8220;alternatif8221;-mi/4173#ad-image-0 (Erişim, 26 Mart 2019).

https://www.haber7.com/teknoloji/haber/3030750-ingiltere-nukleer-fuzyonla-ilk-plazmayi-uretti/?detay=1 (05.11.2020 09:25).
https://www.ntv.com.tr/galeri/dunya/cernobili-adim-adim-gezebilirsiniz,y4_FIV6o-Ea_SSiSU_tVlQ (14 Kasım 2020)
https://www.popularmechanics.com/science/a34431835/nuscale-small-modular-reactors-government-grant/ (21 Ekim 2020).
https://www.sozcu.com.tr/2017/ekonomi/turkiyenin-nukleer-santral-haritasi-1928257/

IAEA, 2002, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclaer Power Plants, International Atomic Energy Agency (IAEA).
IAEA, 2015, Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, International Atomic Energy Agency (IAEA), Specific Safety Guide, No. SSG-35.

IPCC, 2011, IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. vonStechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp. (Chapter 5 & 9).
Jaszczur, M., Rosen, M. A., Sliwa, T., Dudek, M., ve Pieńkowski, L., 2015, Hydrogen Production Using High temperature Nuclear Reactors: Efficiency Analysis of A Combined Cycle. 6th International Conference on Hydrogen Production, May 3-6, 2015, UOIT—Oshawa, Ontario, Canada, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.11.190.
JMO, 2019, II. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Yayın No; 142, Ankara, 354 s.
Kellermeyer, D. A., 1980, Climate and energy: a comparative assessment of the Satellite Power System (SPS) and alternative energy technologies. http://adsabs.harvard.edu/abs/1980STIN.8030914K; 1980 [accessed March 2009].
MTA, 1994, Mineraller, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara.
MTA, 2017, Dünya'da ve Türkiye'de Uranyum ve Toryum yatakları. Maden serisi, 3, Ankara, 35 s.
NREL, 2012, National Renewable Energy Laboratory (NREL). http://www.nrel.gov.tr/ 'den.
Oksay, R., 2011, Japonya' nın Nükleer Felaketle İmtihanı, Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji, 25 Mart 2011, 1253, s. 6-7.
Özsayın, S., 2013, Enerji alternatiflerinin çevre ile etkileşimi. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 287- 299.
Schwarz, N., Bauer, A. ve Haase, D., 2011, Assessing climate impacts of planning policies- An estimation for the urban region of Leipzig (Germany). Environmental Impact Assessment Review 31, 97–111.

Scheer, L., 1971, Çelik Nedir (Çev. M. Sağışman): İstanbul, 139 s.
Smith, J.B. ve Tirpak, D.A., 1989, Potential effects of global climate change on the United States. Report to congress, Technical report EPA-230-050-89-050. Washington DC (USA). Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (eds). http://www.epa.gov/climatechange/effects/downloads /potential_effects.pdf.
Storch, V.H., Zorita, E. ve Cubasch, U., 1992, Downscaling of global climate change to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime. Journal of Climate, American Meteorological Society; 6, 1161-1171.
Sultansoy, S., Şahin, S. ve Ünal, S., 2015, Türkiye'de Toryum: Enerji, Ekonomi ve Siyasette Fırsatlar: TENAV (Türkiye Enerji Vakfı) Yayın no 2, Ankara, 18 s.
UAEA, 2009, Predisposal Management of Radioactive Waste-GSR Part 5, International Atomic Energy Agency, Vienna.
Udum, Ş., 2019, Nükleer emniyet açısından nükleer santrallerde saha seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 241-246.
Ültanır, M. Ö., 2018. 53 Yıl Sonra Atılabilen Temel: NÜKLEER. http://www.ultanirplatformu.com/13.04.18akkuyu-1.html (13 Nisan 2018).
Ünver, Ö. ve Kocar, C., 2019, Nükleer santrallerde saha onayı, meteorolojik çalışmalar, çevresel etki ve radyolojik etki değerlendirmesi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 247-270.
Wikipedia, 2010, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Global_Temperature _Anomaly_(Fig.A).gif
Yarman, T., 2023. Sunum: Akkuyu'nun dünü bugünü, yarını: acaba geleceği olacak mı? (26 Ocak 2023, Yenişehir Belediyesi Akademik Salonu, Mersin. [file:///C:/Users/TOSH%C4%B0BA/Downloads/ENERJ%C4%B0%20-%20N%C3%9CKLEER%20ENERJ%C4%B0%20-%20B%C3%96LGE%20VE%20T%C3%9CRK%C4%B0YE%20-%20Mersin%20ADD%20-%2026%20Ocak%202023_230201_122351.pdf (01 Şubat 2023)].
Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.
Yılmaz, A., 2009a, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.
Yılmaz, A., 2009b, Çevre Kaynakları, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.117, Sivas, 348 s.
Yılmaz, A. ve Atmaca, E., 2004, Sivas kenti katı atık deponi alanının çevre jeolojisi: CÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre 2004, 1. Ulusal Çevre Kongresi, Bildirileri, Sivas, 83-99.
Yılmaz, A., Değirmenci, M., Cebeci, Y., Atmaca, E. Ve Dönmez, E., 2014, Bakır Tepe Altın Madeni Nihai ÇED' e Dair Bilirkişi Raporu. Sivas İdari Mahkemesi, Sivas, 63 s.
Yüksel, Ü. D. ve Baştanlar, D., 2013, Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinde Peyzaj Onarım Planları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 555- 567.
Zabunoğlu, H. O., 2015. Nükleer Yakıt Çevrimi: Mevcut Durum, Özgün Hususlar, İlgili Meseleler. Enerji ve Diplomasi Dergisi, 1, 4, 13-45.

Bölüm 20. 7. BÜYÜK MÜHENDİSLİK PROJELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ: GÜNEYDOĞU ANADOLU PROJESİ (GAP) ÖRNEĞİ VE SORUNLARI

GENEL BİLGİLER

Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP), Dicle ve Fırat nehirleri üzerinde sulama ve hidroelektrik enerji üretimine yönelik 13 proje ile 22 baraj ve 19 hidroelektrik santralinin yapımını içeren kapsamlı bir planlanmadır. Proje alanı, Yukarı Mezopotamya ovalarında yer alan 9 ili kapsamaktadır. Bunlar sıra ile Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak' tır. Günümüzde GAP, ülkenin kalkınmasını ve bütünleşmesini hedefleyen ve tarım, sanayi, ulaştırma, eğitim, sağlık ile turizm gibi sektörleri de içeren, sürdürülebilir kalkınmaya dayalı bölgesel bir proje olarak değerlendirilmektedir.

Dicle ve Fırat Havzası, ülkemizin hidrolik kaynaklarının bel kemiğini oluşturmaktadır. Bu havza, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'ne yaşam sağlayan önemli bir havzadır. Dicle ve Fırat nehirleri ülke sınırları dışında birleşip Basra Körfezi'ne dökülmektedir. Fırat nehri 1.263 km, Dicle nehri ise 523 km uzunluğundadır. Fırat nehri üzerinde kurulu olan Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik, Karkamış HES'ler, Dicle nehri üzerinde bulunan Kralkızı, Dicle, Batman ve 2020 yılında hizmete giren Ilusu barajları ile Fırat nehrine dökülen Murat nehri üzerinde Özlüce, Kiğı ve Alpaslan HES'ler gibi santrallerle birlikte bu nehirler üzerindeki hidrolik toplam elektrik kurulu güç; yaklaşık 8.000 MW'tır (Sav, 2022).

Ne var ki, GAP'ın ne tasarım evresinde ne de daha sonraki evrelerinde projenin olası çevresel etkileri ve Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) yaklaşımının gerekliliği dahi öngörülememiştir. Ancak, böylesine kapsamlı bir proje neredeyse tümüyle faaliyete geçeceği sıralarda ÇED ile ilgili bazı değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler de ağırlıklı olarak GAP'ın su kaynaklarını geliştirme ve suya ilişkin bazı rutin analizler çerçevesinde yapılmıştır.

Oysa GAP, çok sektörlü, kapsamlı ve sürdürülebilir bir kalkınma anlayışı ile ele alınması gereken bölgesel kalkınma projelerinden biridir. Kalkınmada, halkın katılımı, çevrenin korunması, yeni çalışma alanlarının yaratılması, mekânsal planlama ve alt yapının geliştirilmesi gibi hedefler de gözetilmelidir.

Bu sunumda projenin tarihçesi, amacı, yararları, hedefleri ve bölgenin mevcut durumu kısaca irdelendikten sonra, var olan çevre sorunları, gelecekte beklenebilir çevre sorunları çevresel etki değerlendirilmesi (ÇED) süreci ışığında irdelenecektir.

Tasarlanan tüm faaliyetlerin planlama ve hazırlık (kuruluş), inşaat ve işletme evrelerinde çeşitli çevresel etkiler ortaya çıkacaktır. Planlama ve hazırlık evresinde sınırlı olarak görüntü kirliliği, inşaat evresinde ağırlıklı olarak hava, su ve toprak kirliliğinin yanı sıra gürültü kirliliği; projenin bir bütün olarak işletme ve sonrasındaki evrelerinde ise aşağıda sunulan etkiler ve sorunlar yoğun olarak yaşanacaktır:

1- İklim etkileri: Küresel ve yerel iklim değişiklikleri beklenmektedir. Küresel iklim değişiklikleri senaryolarına göre yakın bir gelecekte sıcaklık 2-3 ^{0}C artacak, yağış ise % 10 oranında azalacaktır. Ancak, baraj göllerinin yakın dolayında günümüzdeki iklime göre daha ılıman bir iklimin de oluşması mümkündür. İklimdeki değişim, akarsuların debilerine yansıyabileceği gibi, nemin artması da yol açar, bu da mikroorganizmaların dağılımını ve sayısını değiştirir. Böylece mikroorganizmalara ve parazitlerle ilgili hastalıklar artabilir.
2- Su kaynaklarına etkiler: Yeraltı sularına (YAS) etkiler, YAS düzeyi yükselmeleri ya da yeraltı su kaçaklarının meydana gelmesi kaçınılmazdır. Kullanılmış suların alıcı ortama arıtılmadan verilmesi, ileride denetlenmesi mümkün olmayan bir çevre kirliliği yaratabilir. GAP bölgesinde akifer konumunda olan çeşitli karbonat düzeyleri vardır. Bu düzeyler çoğu

yerde birbiri ile temas halindedir. Dolayısıyla bu akiferin korunması zorunludur. Bu soruna yönelik olarak başlı başına 'Su Kaynakları Yönetimi' acilen yapılandırılmalıdır.

3- Ekolojik etkiler: Dağ yamaçlarında erozyon ve baraj göllerinde çökelme (Sedimantasyon) ile birlikte deprem potansiyeli olan diri faylar, sel ve taşkınlar gelişebilir. Örneğin, yeraltı su tablasının yükseldiği baraj göllerinin yamaçlarında heyelanların tetiklenmesi mümkündür. Bu doğal süreçler ekosistemlere de yansır. Ayrıca, değişen iklime koşut olarak bitki örtüsünde de önemli değişimler beklenmektedir. Bazı türler oluşan kirlilik nedeniyle yok olabileceği gibi, bazı yeni türler de ortaya çıkabilir. Ülkenin endemik türlerinin %34'ünün bu bölgede olduğu unutulmamalıdır.
4- Sosyoekonomik etkiler: Nüfus yoğunluğunun değişimi, göç olayları, yeni yaşam biçimleri, yeni iş olanakları, gelir düzeylerinin değişmesi kaçınılmazdır. Nüfus artışı ile birlikte toprak, su, hava, gürültü kirlilikleri ve evsel katı atıkların yaratacağı görsel kirlilik baş gösterecektir. Bu arada akarsu vadileri boyunca yer alan verimli toprakların baraj göllerinin altında kalması sosyoekonomik açıdan yeni tartışmalara yol açabilir. En önemli sosyoekonomik sorunlar ise projenin halkın yaşam standartlarına ne ölçüde yansıyacağı ve ortaya çıkacak artı değerin paylaşımı konularında yoğunlaşacaktır.
5- Doğal ve kültürel miras üzerine etkiler: Eski uygarlıkların ya da doğal, görsel ve dini yapıların akarsular boyunca yer almaları nedeniyle, bunların su altında kalmaları kaçınılmaz görünmektedir. Tarihi Hasankeyf yapıları gibi…
6- Çevre kirliliğine ilişkin diğer etkiler: GAP çok sektörlü bir yapıdır. Örneğin, tarım ve tarıma dayalı sanayilerle birlikte toprak ve su kirliliği büyük boyutlara varabilir. Özellikle gübrelemeye bağlı oluşacak kirliliğin yüzey suları ile akarsulara ulaşması ve fosforun yaratabileceği ötrifikasyon sorunu ile tarımda kullanılan pestisidlerin olumsuz etkileri ortaya çıkacaktır. Ayrıca enerji sanayi ile birlikte gıda, sağlık, tekstil ve inşaat sanayilerinin işleyişi ile birlikte toprak kirliliği, su kirliliği, hava kirliliği, gürültü kirliliğinin yanı sıra tehlikeli atıklar ortaya çıkacaktır. Bu arada çeşitli kazalar ya da sabotajlar nedeniyle olası bazı çevresel etkilerin ortaya çıkması mümkündür.

Sonuç olarak yukarıda sunulduğu gibi, GAP'ın işletme ve sonraki süreçlerinde önemli çevresel sorunlara yol açabileceği öngörülerek gerekli önlemler alınmalıdır. Bunun için yapılması gerekli olan çalışmalar da şunlardır: 1- Bölgenin bir bütün olarak mevcut durumunu ortaya koymak üzere **arazi kullanım potansiyeli haritaları** hazırlanmalıdır. 2- GAP' ın çok sektörlü yapısı ve oluşacak sorunların birbirini etkileyip tetikleyeceği de gözetilerek projenin çevre boyutu **'Bütünsel (Entegre) Çevre Yönetimi'** çerçevesinde ele alınmalıdır. Ayrıca, GAP'ın kazanımları **sürdürülebilir bir yaşam** esas alınarak değerlendirilmelidir.

GÜNEYDOĞU ANADOLU PROJESİ'NİN (GAP'IN) TARİHÇESİ

Ülkenin her alanda değişim ve gelişim çabası içinde bulunduğu yıllarda, özellikle elektrik enerjisi gereksinimi en belirgin ve öncelikli bir gereksinim olarak ortaya çıkmıştır. Böylece yurdun boşa akıp giden su kaynaklarından elektrik enerjisi elde edilmesi için Atatürk'ün emri ile 1936 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) kurulmuştur.

EİEİ, " Keban Projesi " ile incelemelere başlamış, Fırat Nehrinin her açıdan incelenmesi ve sonuçlarının belirlenmesi için rasat istasyonları kurulmuştur. 1938 yılında Keban barajı ile ilgili jeolojik incelemeler başlatılmıştır. 1950- 1960 yılları arasında gerek Fırat ve gerekse Dicle üzerinde EİEİ tarafından sondaj çalışmalarına ağırlık verilmiştir.

Yeni gereksinimlerin ortaya çıkması üzerine 1954 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü kurulmuştur. Böylece havza çalışmaları çerçevesinde Türkiye, 26 havzaya ayrılarak, DSİ Genel Müdürlüğünce yeniden inceleme ve planlama çalışmalarına başlanmıştır. 1961 yılında Diyarbakır'da kurulan Fırat Planlama Amirliği tarafından yapılan çalışmalar sonunda 1964 yılında Fırat Havzası'nın sulama ve enerji potansiyelini belirleyen "Fırat Havzası Gelişme Raporu" hazırlanmıştır. Bu

rapora ek olarak 1966 yılında "Aşağı Fırat Gelişme Raporu" hazırlanmıştır. Dicle Havzası için, aynı yönde çalışmalar DSİ Diyarbakır Bölge Müdürlüğü'nce sürdürülmüştür.

Böylece Aşağı Fırat Havzası ve Dicle Havzası'ndan nasıl yararlanılabileceği açıklık kazanmış ve 1977 yılında bu iki havza projesinin "Güneydoğu Anadolu Projesi" (GAP) şeklinde adlandırılması benimsenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin bölgesel planlama çerçevesinde ele alınması, yürütülmekte olan faaliyetlerin koordinasyonun sağlanması ve yönlendirilmesi görevi 1986 yılında Devlet Planlama Teşkilatı'na verilmiştir.

Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP), Bölge Kalkınma İdaresi Teşkilatı, 6 Kasım 1989 tarih ve 20334 sayılı resmî gazetede yayınlanan 388 sayılı kanun hükmünde kararname ile kurulmuştur. **GAP yüksek kurulu**, Başbakan ya da görevlendireceği bir Devlet Bakanı'nın başkanlığında, GAP'tan sorumlu Devlet Bakanı, DPT Müsteşarlığı'nın bağlı olduğu Devlet Bakanı ile Bayındırlık ve İskân Bakanı'ndan oluşturulmuştu.

GAP, 1990'lı yıllardan itibaren çevre sorunları ile yüzleşmiş ve bu sorunlara çözüm getirmek üzere 2000'li yılların başından itibaren GAP Master Planı hazırlanmış ve TC Kalkınma Bakanlığı tarafından çeşitli eylem planları oluşturulmuştur. Örneğin, Toprağın Tuzlulaşması (TC Kalkınma Bakanlığı, 2011), GAP ve Enerji (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012a), Kültürel Mirasın Kalkınmaya Katkısı (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012b), Sanat (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012c), GAP'ta Kırsal Kalkınma Deneyimi (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012d), Sulama ve sulama Yöntemlerinin Projelendirilmesi (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012e) gibi konular ele alınmıştır. Ele alınan bu konular gözetildiğinde, GAP'ın artık çok sektörlü yapısı da ortaya çıkmıştır.

GAP'IN TÜRKİYE'DEKİ VE ORTADOĞU'DAKİ YERİ VE ÖNEMİ

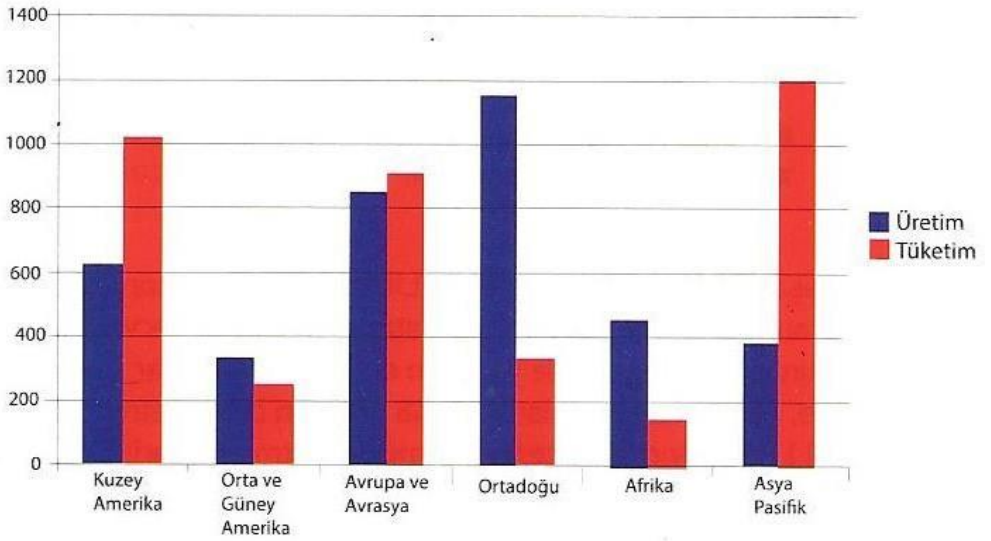
GAP, ülkenin ve bölgenin en önemli projelerinden biridir. Projenin ülkedeki ve Ortadoğu'daki yeri ve önemi gözardı edilemez. Örneğin, GAP'a özgü temel özelliklere bakıldığında aşağıdaki hususların tümü dikkat çekicidir (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012a):

1- Ülkemizde, ham petrolde üretilebilir rezervin %95'i Güneydoğu Anadolu, %5'i Marmara bölgesindedir. Doğal gazda ise %52'si Güneydoğu Anadolu, %32'i Trakya, %11'i Batı Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır.
2- Ülke genelinde hidroelektrik enerji üretim potansiyelinin %38'i GAP bölgesinden sağlanmaktadır. GAP' ta tamamlanan hidroelektriksantrallerde 20 milyar kWh enerji üretilmektedir. İnşa halinde olan ve planlaması devam eden projelerin tamamlanması ile 15.9 milyar kWh enerji daha üretileceği bildirilmektedir.
3- GAP'ta kurulu HES gücü Türkiye'nin toplam HES gücünün %39.5'ine eşittir.
4- Güneydoğu Anadolu Bölgesi, ekonomik ve kültürel zenginliğe sahip, dünya tarihi açısından önemi olan birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış bir coğrafyadır.
5- Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santralleri (KÖHES)'nin işleyişi basittir. Mevcut akarsudan alınan su, akarsuya paralel ve eğimi çok az bir kanal ile taşınmakta ve uygun düşünün sağlanabileceği bir yerde tesis kurulmaktadır.

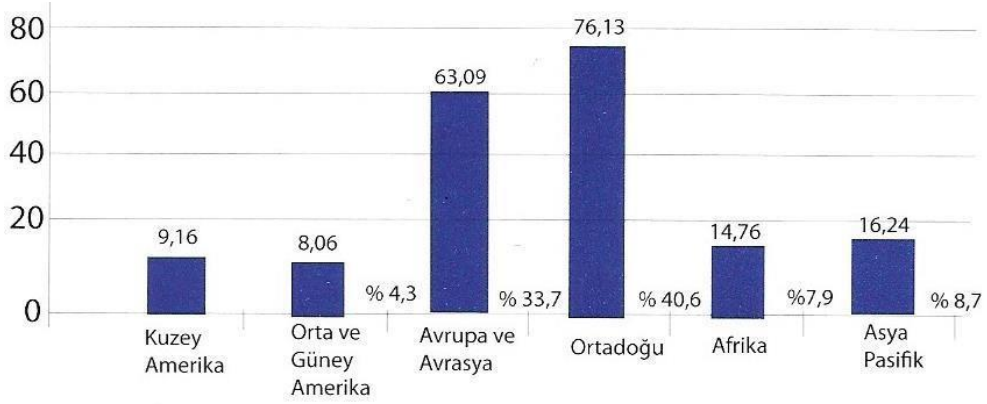
GAP kapsamında, 2011 yılı itibarı ile 10 adet hidroelektrik santrali tamamlanmıştır. Karakaya, Atatürk, Batman, Kralkızı, Dicle, Birecik ve Karkamış hidroelektrik santralleri, işletmeye başlamalarından günümüze kadar ülkenin ekonomisine doğrudan katkı sağlamışlardır.

Ortadoğu, Dünya'nın önemli enerji kaynaklarını bağrında taşımaktadır. Şekil 1, 2 ve 3 irdelendiğinde, Ortadoğu'nun petrol ve doğal gaz enerji kaynakları açısından potansiyeli ile üretim ve tüketim ilişkileri yönü ile Dünya'daki emsalsiz yeri açıkça görülmektedir. Zaten Ortadoğu'da devam eden savaşların nedeni de bu kaynakların emperyal güçler tarafından paylaşımından ibarettir.

GAP'ın, Ortadoğu'nun enerji kaynaklarının kolaylıkla sağlanabileceği, çeşitli emperyal çıkarların çatıştığı bir coğrafyada olduğu gerçeğine göre yapılandırılması gerekmektedir. Enerji kaynaklarının kolaylıkla sağlanması, projenin olumlu yönde gelişmesine katkı sağlayacaktır. Örneğin daha ucuz enerjinin sağlanması bile bölgedeki üreticiyi olumlu yönde etkileyecektir. Yani, sağlanabilir bazı kolaylıklarala, GAP'ın hayal edildiğinden daha ileri bir aşamaya ulaşması ve tüm Ortadoğu'yu besleyecek bir yapıya kavuşturulması mümkündür. Bunun için gerekli olan altyapıya dair bilgiler de vardır. Örneğin bölgenin toprak haritaları hazırlanmış ve toprak türlerinin en verimli şekilde işlenmesi için gerekli olan teknik ve yasal çerçeve oturtulmuştur. Ne var ki, mevcut durumu ileriye taşıyabilecek köklü politikalar ve yönetme iradesi eksiktir.



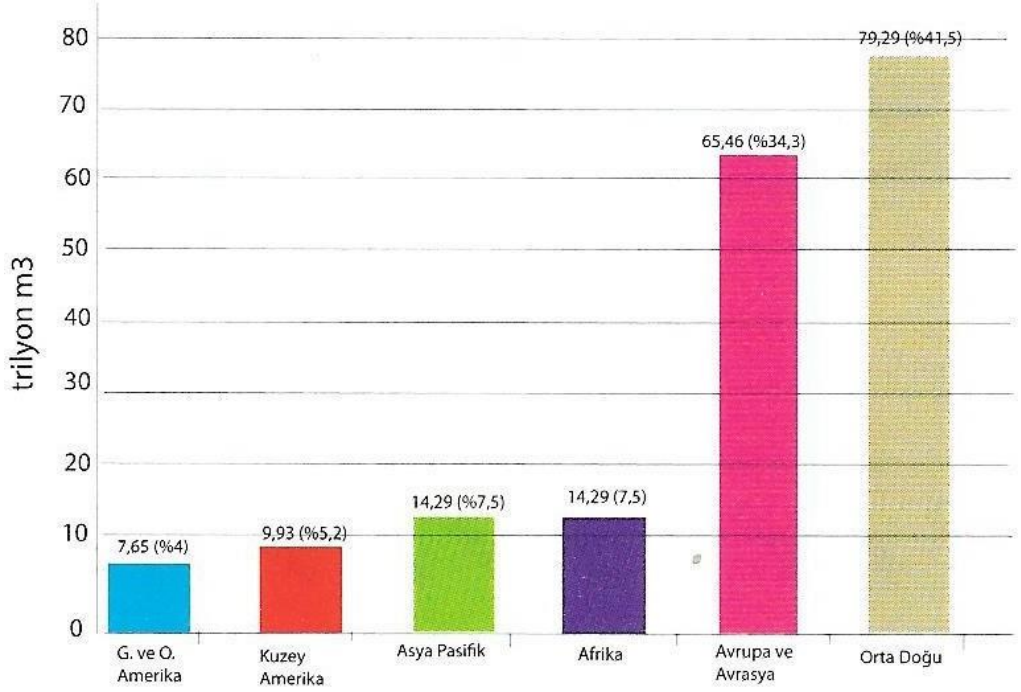
Şekil 1. 2009 yılı Dünya Petrol üretimi ve tüketimi (Milyon Ton) (BP, 2010).



Şekil 2. 2009 sonu Dünya doğal gaz rezervleri (Trilyon m^3) (BP, 2010).

GAP'ı ve tüm Ortadoğu'yu etkileyen en büyük sorun ise, bölgede devam eden emperyal çıkar çatışmalarıdır. Binlerce kilometre öteden gelip, bölgeye huzur getireceğini iddia eden emperyal güçlerin bölge halklarına verebileceği hiçbir şey yoktur. Dolayısıyla, etnik ve dini farklılıkları kaşıyarak sadece Ortadoğu'nun doğal kaynaklarına çökmüş bu emperyal güçlere, bölge halklarının ortak bir direnişle karşı koyması zorunludur. Ancak, böyle bir irade henüz filizlenmiş değildir. Ne var ki, böyle bir irade ortaya çıkıp egemen olmadıkça, Ortadoğu halkları, Dünya'nın en zengin kaynakları üzerinde

sersefil yaşamaya devam edeceklerdir. Ayrıca GAP ve benzeri büyük projelerin sadece kapitali büyütmesi bir çözüm değildir. Ortaya çıkan kapitalin bölge insanının yaşamında yapacağı olumlu katkı daha önemlidir.



Şekil 3. 2011 yılı bölgeler itibarıyla bilinen Dünya doğal gaz rezervi (TPAO, 2011).

GAP'IN AMAÇLARI VE YARARLARI

GAP Güneydoğu Anadolu'nun su kaynaklarını kapsamlı bir şekilde değerlendirerek bölgenin kalkınmasına katkıda bulunma ve ülkenin bölgesel gelişmişlik düzeyleri arasındaki farkı giderme amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ülkenin genel olarak kalkınması ve bütünleşmesi diğer önemli bir hedeftir. Proje alanı, Fırat ve Dicle havzaları ile yukarı Mezopotamya ovalarında yer alan 9 ili kapsamaktadır. Bunlar sıra ile Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak' tır. Proje sulama, hidroelektrik, enerji, tarım, kırsal ve kentsel altyapı, ormancılık, eğitim ve sağlık gibi sektörleri kapsamaktadır. Projeye ilişkin çeşitli aşamaların gerçekleştirilmesi halinde beklenen yararlar aşağıda sunulmuştur (Kırımhan, 1993):

1. Elektrik enerjisi üretimi ile ülke genelinde elektrik enerjisi açığı büyük bir oranda azaltılabilecek, özellikle sanayimizin gereksinim duyduğu enerji sağlanacaktır. GAP ile ülkenin enerji ihtiyacının %25'inin karşılanması öngörülmektedir (Boşgelmez ve diğerleri, 2001).
2. Enerji yeterliliğine bağlı olarak yöresel ve tarıma dayalı sanayi kolları kolayca gelişebilecektir.
3. Yeterli sulama suyunun sağlanmasıyla geniş bir arazi sulamaya açılacak tarımsal üretimde çeşitlilik ve önemli miktarda ürün artışı sağlanacaktır.
4. Tarımsal ve sanayi alanlardaki gelişmeler önemli oranda yeni iş alanları yaratacaktır.
5. Toplumda gelir düzeyinin artışına bağlı olarak, sosyal ve kültürel alanlarda önemli gelişmeler olacak, toplumun eğitim ve sağlık düzeyi yükselecektir.
6. Diğer taraftan, baraj gölleri su ürünleri yönünden önemli potansiyele sahip olduğundan, tarımsal alanlardaki bitkisel üretimin artışına koşut olarak, su ürünlerindeki artış yöre insanlarının gereksinim duyduğu hayvansal protein sağlayacaktır.

7. Ardışık barajlar sistemi içerisinde, önceki bir baraj gölü, bir sonraki baraj gölüne daha kaliteli su verebileceğinden Fırat Nehri üzerinde Keban Barajı'ndan başlamak üzere baraj göllerinde su kalitesi gittikçe gelişecek, bu su kaynaklarının içme suyu olarak kullanılması ve baraj çevrelerinin dinlenme alanı olarak değerlendirilmesi olanağı doğacaktır.
8. Su yüzeylerinin gelişmesi ile yöresel olarak havanın göreceli olarak nem oranındaki artış, sulanması mümkün olmayan yamaçlarda da doğal bitki örtüsünün gelişmesini sağlayacaktır.
9. Yörenin ekonomik açıdan ilgi çekici hale gelmesi, ulusal ve uluslararası yatırımcıların bu yörede yatırım yapmasını sağlayacak, buna bağlı olarak yörenin ticaret potansiyeli ve hareketliliği gittikçe artacaktır.
10. Tarımsal ürün artışının yanı sıra, tarıma dayalı sanayinin gelişmesi ile ülke genelinde ihracat artacak ve dış satımlarda yıllık önemli artışlar olacaktır.

GAP MASTER PLANININ ÇEVRE YAKLAŞIMI

GAP'a yönelik kapsamlı bir ÇED çalışması yapılmamıştır. Ancak, toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesiyle başlayacak olan değişimin boyutlarını belirlemek ve diğer sektörlerle ilişkilerini ve etkileşimini gözeterek GAP Master Planı hazırlanmıştır. Bu plan, bölgenin 2005 yılına kadar uzanan dönem içinde kalkınmasının amaçlarını, temel stratejilerini ve hedeflerini belirlemek ve gerekli önlemleri almayı amaçlamıştır. Master planının çevre konusuna yaklaşımı aşağıda özetlenmiştir:

I. Sert doğa koşulları ve teknik yetersizlikler nedeni ile çevrenin düzgün bir şekilde yönetilemediği herhangi bir bölgede hızlı ekonomik büyüme sürecinin devam ettirilemeyeceği yaygın olarak kabul görmektedir. Bu noktada asıl sorun, ekonomik kalkınmayla çevre korunması arasında bir çelişki değil, sürekli ekonomik büyümeyi sağlayacak bir çevre yönetiminin belirlenmesidir.
II. Büyük ölçekli ve çok sektörlü bir proje olan GAP'ın çevre üzerinde önemli etkileri olacaktır. Özellikle büyük su havzaları ve havzalar arası su aktarımı gibi yöntemlerle geniş bir alanda sulamaya başlanması, bölgede toprak ve su rejimlerini önemli ölçüde değiştirecektir. Bu da hem bitki örtüsünü ve hayvan türlerini, hem de insanların yaşamını etkileyecektir.
III. Meydana gelecek değişiklikler, tıpkı GAP'ın uygulanmasının sosyoekonomik etkileri gibi, oldukça temel nitelikte ve kalıcı olacaktır. Bu nedenle, projenin çevre boyutunda da GAP, bölgesel kalkınmanın bir parçası olarak ele alınmalı ve sosyoekonomik gelişme için alınan diğer önlemlerle uyum içinde kapsamlı bir yaklaşım belirlenmelidir.

GAP Master Planı doğrultusunda bölgenin mevcut kaynakları ve darboğazlarının analizi, ulusal ekonomi ve ulusal amaçları gözeterek, Bölgesel Kalkınma Stratejileri de aşağıdaki gibi saptanmıştır:

1. Kentsel ve sanayi kollarındaki gereksinimler de gözetilerek toprak ve su kaynaklarını geliştirmek ve yönetmek.
2. Daha iyi tarımsal işletme yöntemi, tarımsal uygulamalar ve bitki desenleri uygulayarak arazi kullanım biçimlerini geliştirmek.
3. Sanayiyi özendirmek.
4. Yöre insanlarının gereksinimlerine yanıt verecek, teknik ve yönetici personelin bölgede kalmasını da özendirecek biçimde sosyal hizmetleri sağlamak.

Sonuç olarak, GAP Master Planı çerçevesinde böyle bir noktaya gelmek sevindiricidir.

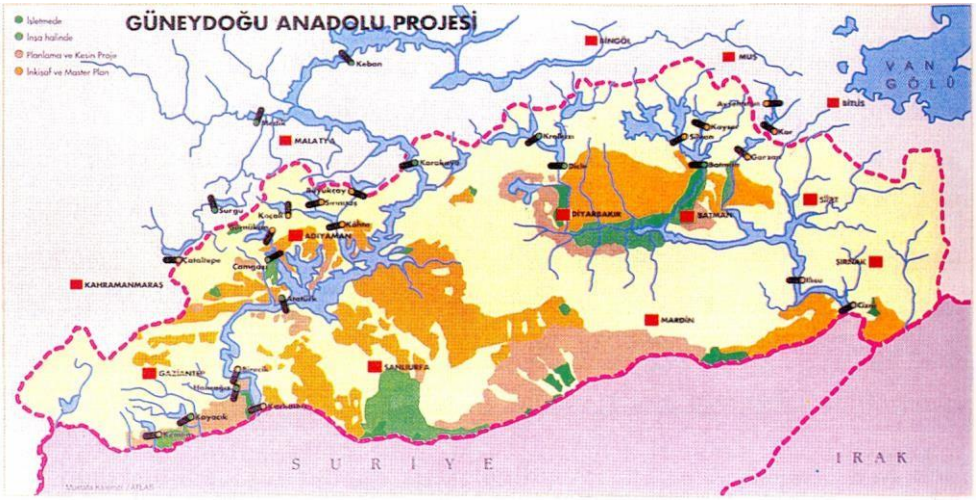
GAP BÖLGESİNDE MEVCUT ÇEVRE SORUNLARI

GAP'ın omurgasını barajlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla barajların yer seçimi ve planlanmasından sonra baraj yapımına karar verilen yere ilişkin mevcut durumu belirlemek üzere yoğun bir çabanın gösterilmesi gerekmektedir. Canter (1977) barajların yapımından önce mevcut durumu ortaya koymanın zorunluluğuna işaret etmektedir. Çünkü, mevcut durum değerlendirmesi yapılmadan bir projenin etkileri nesnel olarak tanımlanamaz. Ülkemizde de barajların ÇED çalışmalarında özel bir format öngörülmektedir.

GAP'ın boyutları gözetildiğinde projenin planlama ve hazırlık (kuruluş) , inşaat ve işletme evrelerinde yoğun bir biçimde çeşitli çevresel etkiler yaratabileceği öngörülmektedir. Bu etkilerin en azından yukarıda belirtilen özel format ışığında ele alınmasında yarar vardır. GAP benzeri projelerde yaşanmış olan deneyimlerden de yararlanmak gerekir. Örneğin Mısır'da Assuan Barajı elektrik ve sulama amacıyla ve Rusya Federasyonu'nda Aral Gölü'nde sulama amacıyla yapılan çalışmaların çevre üzerindeki olumsuz etkileri ayrıntılı irdelenmelidir. Yaşanmış olan örneklerden öğrenilecek çok önemli bilgiler vardır. Öte yandan GAP sadece barajlardan ibaret bir proje değildir. Çok sektörlü ve bütünsel (entegre) bir projede yaşanması olası etkileri önceden kestirebilecek ayrıntılı ÇED çalışmaları sınırlı olduğundan, konuya ayrıca özen göstermek zorunludur.

GAP bölgesi geniş bir alanı kapsamaktadır (Şekil 4). Proje alanı, Yukarı Mezopotamya ovalarında yer alan 9 ili kapsamaktadır. Bunlar sıra ile Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak' tır. Atatürk barajı rezervuarı ve barajın etkileyeceği alanlar ise Şekil 5'te görülmektedir. Bu haritalardan da anlaşılabileceği gibi, bölgenin halen sulu tarım yapılan ve gelecekte tarım için planlanan alanları gözetildiğinde söz konusu projenin Çukurova'dan çok daha büyük bir alan olduğu ve böylesi bir projenin işleyişi ile çok daha büyük sorunlarla karşı karşıya kalınabileceği açıkça görülmektedir.

Bölgede halen yaşanmakta olan, çevre sorunları aşağıda sıralanmıştır: Bunlar sıra ile kentleşme ve sanayileşme sonucu oluşan su, hava, ve toprak kirliliği; ortaya çıkan kirli suların su ve toprak canlılarına etkileri ve su akışındaki değişimler; kirlenmiş sularla yapılan tarımsal sulamanın toprağın niteliğini bozması; sağlıksız kentleşme ve sanayileşmenin doğal flora ve fauna üzerine yaptığı olumsuz etkiler ve topraktaki kirleticilerin bitkilere geçmesi ve bitki bünyesindeki kirleticilerin insan ve hayvan sağlığı üzerine etkileri biçiminde sayılabilir. Bu sorunların büyük bir bölümü GAP'a yönelik olarak tamamlanmış olan tesislerin planlama ve inşaat evrelerinde ortaya çıkmış olan sorunlardır. Söz konusu tesislerin boyutları (Şekil, 6, 7 ve 8) ve yaratabileceği çevresel etkiler gözetildiğinde önemli çevresel sorunların ortaya çıkması da doğaldır. Dolayısıyla geçmişte yaşanan sorunları da gözeterek bir değerlendirme yapmakta yarar vardır.

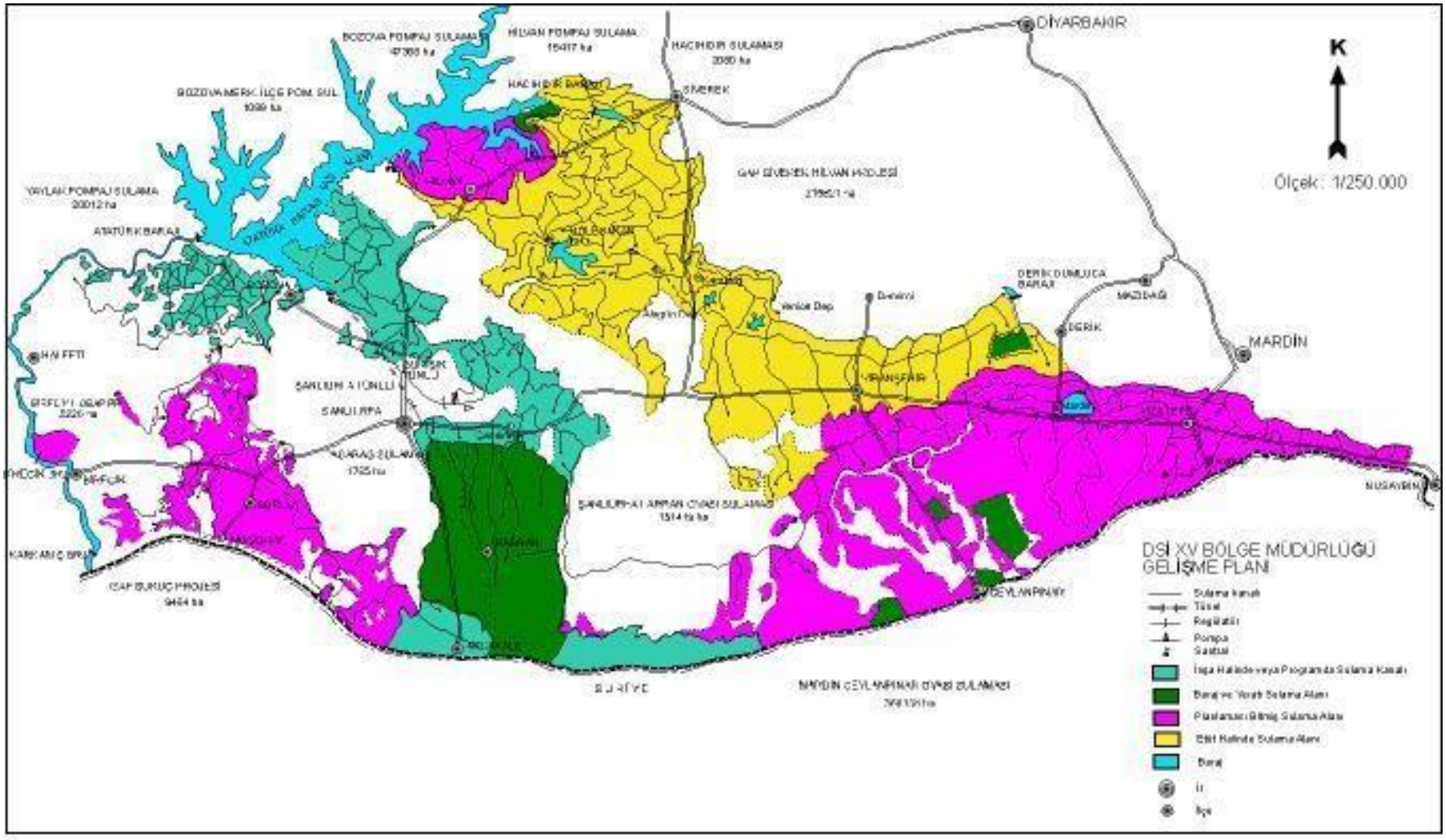


Şekil 4. GAP Proje alanı (Tayfur ve Biber, 1995).

Su kirliliği

GAP Bölgesi'nde su kirliliğine neden olan kaynaklar aşağıda sıralanmıştır (Gümgüm, 1999): **1 -** Nüfus artışı, **2 –** Kentleşme, **3 -** Gübre ve tarım ilaçlarının kullanımı, **4 -** Sanayileşme

Türkiye'nin toplam su potansiyelinin yaklaşık üçte birine ve toplam havza alanının dörtte birine sahip olan GAP'ta su kalitesi gözlemleri yapılmaktadır.

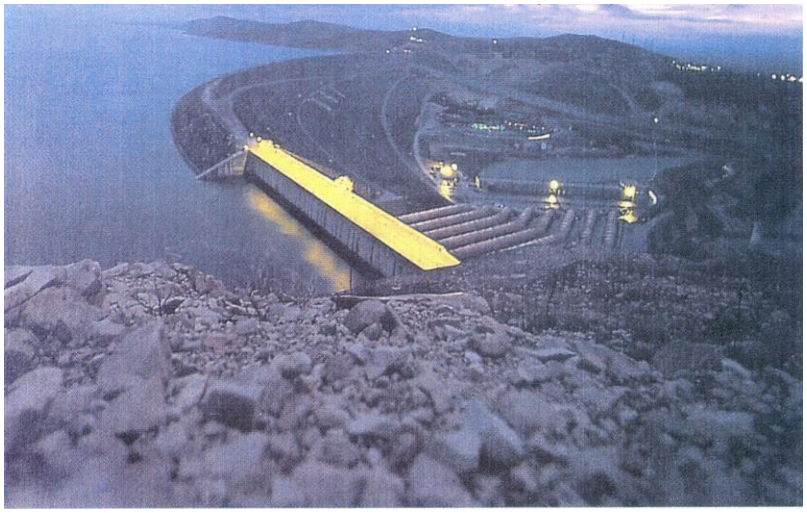


Şekil 5. Atatürk barajının coğrafik konumu ve ilgili projeler (www.gap.gov.tr)

Genellikle nüfus yoğunluğunun ülke ortalamasının altında olduğu, sanayileşmenin henüz yaygınlaşmadığı, sert iklim koşulları nedeniyle birkaç verimli ova dışında yoğun tarımın yapılmadığı, akarsuların büyük debileri nedeniyle yüksek bir seyrelme potansiyeline sahip olan bölgede, bugün için önemli bir su kirliliğinin olmayacağı bir gerçektir. Ancak Türkiye'nin tarihinde gerçekleştirilen en kapsamlı teknolojik uygulama olan GAP Projesinin, bölgedeki üretimi önemli ölçüde artıracağı, projenin gerçekleştirilmesiyle birlikte çevresel bozulmaların başlayacağı söylenebilir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalara su kalitesi açısından bir başlangıç oluşturacak ölçümlerin ve gözlemlerin yapılmasında büyük yarar vardır.

Ayrıca, Atatürk Barajı'nın çok kapsamlı ve büyük bir baraj olduğu (Şekil 6), bu büyük barajların planlama ve inşaat evrelerinde oluşan etkilerin dikkate alınmadığı ortada kalan atıklardan da anlaşılmaktadır (Şekil 7 ve 8). Çeşitli dönemlerde Atatürk Barajı'ndaki su düzeyi değişimi ve baraj gölünden görüntüler ise Şekil 9'da görülmektedir.

Şekil 6. Atatürk barajının genel görünümü.



Şekil 7. Atatürk barajı inşaat atıklarında genel bir görünüm (Boşgelmez ve diğerleri, 2001).

Şekil 8. Sulama kanallarından ve ortaya çıkan atıklardan bir görünüm (Boşgelmez ve diğerleri, 2001).

Şekil 9. Atatürk Barajı'ndan su düzeyi değişimi ve baraj gölünden çeşitli görüntüler (www.gap.gov.tr).

Hava kirliliği

GAP Bölgesi'nde hava kirliliği yaratan etmenler aşağıda sıralanmıştır (Gümgüm,1999): 1**-** Konutların ısıtılması (yüksek kükürt oranlı yakıt kullanımı, yakıt israfı, bina ısı kaybı, yakma bilgisi eksikliği, topografya, meteorolojik olaylar, kent dokusu, yeşil alan yetersizliği gibi faktörler) sonucu ortaya çıkan emisyonlar, 2**-** Motorlu taşıtlar, 3**-** Sanayi tesisleri.

Hava kirliliğinin en büyük nedeni, ısınma amacıyla yakılan fosil kökenli yakıtlardır. Diyarbakır'ın enerji altyapısında, genellikle konutlarda küçük kapasiteli, düşük ve orta kalitede yakıtlarla çalıştırılan soba ve kazanlar çoğunluktadır. Genellikle kok ve taş kömürü için geliştirilmiş bu yakma sistemlerinde asfaltit ve linyit yakılmaktadır. Bu tür yakma sistemlerinde hava kirliliği denetimi güçleşmekte, temiz yakıt kullanımı başlıca çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

Hava kirliliğini etkileyen diğer faktör, yakıtın kirletme özelliği olup bu da yakıtın yapısal olarak içerdiği kirletici maddelerin oranlarına bağlıdır. Toz yakıtın kül oranına, SO_2 emisyonu ise kükürt oranını bağlıdır. Ülkemizde ilk kez, 1984 yılından itibaren hava kirletici değişkenlerden sadece atmosferdeki kükürt dioksit ve partikkül (duman) miktarları il merkezlerinde ölçülmeye başlanmış ve 1991 yılından beri 67 il merkezi ile 4 ilçe merkezinde ölçümlere devam edilmektedir. Ancak, söz konusu ölçümlerin düzenli olarak yapılmaması ve diğer hava kirletici değişkenler olarak bilinen karbon monoksit, karbondioksit ve hidrokarbon miktarlarının hiç ölçülmemiş olması önemli bir eksikliktir.

Yapılan ölçümlerden anlaşıldığı üzere Türkiye'de 1989- 1990 kış sezonunda kükürt dioksit kirliliğinde, Diyarbakır en kirli kentimiz olarak 1. sırada yer alırken 1990- 1991 kış sezonunda ise 5. kirli kentimiz konumuna gelmiştir. 1989- 1990 kış sezonunda partikkül madde kirliliğinde Türkiye'de Diyarbakır yine en kirli kentimiz olarak 1. sırayı korurken 1990- 1991 kış sezonunda 3. sıraya yerleşmiştir. Bu kentimizin hava kirliliğinde her ne kadar bir düşüş gözlenmiş olsa da Diyarbakır, Türkiye'de yoğun hava kirliliğine açık illerimiz arasında yer almaktadır. Ancak son yıllarda bazı yerleşim birimlerinde doğal gazın devreye girmesi ve kaliteli kömürlerin kullanılması hususunda çaba gösterilmesi hava kirliliğinin denetimini kolaylaştırmıştır.

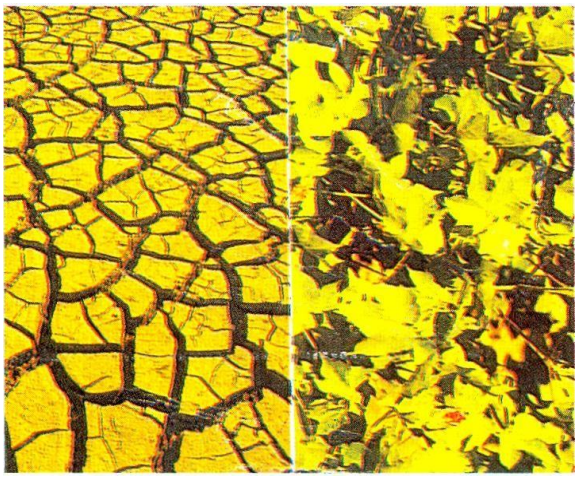
Bölgede hızla artan nüfus ve konut sayısı ısınma kaynaklı hava kirliliğinin, artan taşıt sayısı ise trafik kökenli hava kirliliğinin yoğunlaşmasına yol açmaktadır. Bölgede, Gaziantep ve Batman'da, sanayiden kaynaklanan hava kirliliği görülmektedir. Kentsel kaynaklı hava kirliliğinin en yaygın olduğu kentleri Diyarbakır, Gaziantep, Şanlıurfa ve Batman olarak sıralayabiliriz.

Sonuç olarak, bölgede kimi zaman ciddi hava kirliliği ile ilgili tespitler olmakla birlikte hava kirliliğinin boyutlarını ve yayılımıyla zaman içinde değişimini gösteren haritalara ilişkin eksiklikler devam etmektedir.

Toprak kirliliği

GAP alanını uygulanmasından önceki ve sonraki görüntüleri (Şekil 10) kıyaslandığında ve günümüzde devam eden çalışmalar (Şekil 11) geleceğe yönelik umutları artırmaktadır. Ancak bölgede toprak kullanımını azaltan ve kirlilik yaratan etmenleri de dikkate almak gerekmektedir. Bunlar sıra ile 1**–** Yapılaşma sonucu kaya ve toprakların aşınıp taşınması (erozyon), 2**-** Toprakların tarım dışı amaçlarla kullanımı ve 3**-** Kirliliğin yol açtığı arazi kayıpları biçiminde sıralanabilir (Gümgüm, 1999). Bu arazi kayıpları da atık sulardan kaynaklanabileceği gibi tarımsal ilaçlar ve gübrelerden ya da çöp ve katı atıkların sızıntı sularından da kaynaklanabilir.

GAP Bölgesi'nde karşılaşılan toprak kirliliğinin nedenleri olarak tarım ilaçlarının ve gübrenin yaygın şekilde ve bilinçsizce kullanımını gösterebiliriz. Tarımsal etkinlikler kimi zaman flora ve faunayı geriye dönüşü olmayan bir biçimde etkilenmektedir.



Şekil 10. Harran'da sulama öncesi ve sonrasına ait genel bir görünüm (DSİ, 1996).

Şekil 11. Harran ovasında sebze ve meyve deneme ekimi (Boşgelmez ve diğerleri, 2001).

Tarım ilaçları ve aşırı gübre kullanımının etkileri öz olarak aşağıda sunulmuştur:

- Tarım ilaçları ile kirlenmiş topraklarda yetişen bitkiler, pestisit kalıntılarını kökleriyle topraktan alım ve bu kalıntıları içeren ürünleri tüketen insan ve hayvanlara besin zinciri yoluyla geçer.
- Topraktaki mikroorganizmalar, tarım ilaçlarından zarar görebilmektedir.
- Toprağın verimliliğini arttıran kimi canlılar, pestisidlerden önemli ölçüde zarar görürler.
- Toprakta yer alan tarım ilaçları, topraktan süzülerek yeraltı sularına ya da buharlaşarak atmosfere karışmaktadırlar.

Toprağı etkileyen önemli sorunlardan biri de toprağın tuzlulaşmasıdır. ***Tuzlulaşma,*** bitki kökünün büyüyebileceği derinlikte, bitkinin gelişmesine zarar verecek oranda tuz birikimine denir. Tuzlu topraklar için halk arasında 'çorak toprak' da denilmektedir (TC Kalkınma Bakanlığı, 2011).

Tuzlulaşmanın doğal oluşumunda yağışın az olması, morfolojik yapı (özellikle çukur alanlar), yüksek taban suyunun ve yüksek buharlaşmanın varlığı belirleyicidir. Ancak, tuzlulaşmanın oluşumunda bilinçsiz sulama ve akaçlama olanaklarının sınırlı olması da önemlidir.

Öte yandan, ürün deseni, su tüketimi ve su bütçesi arasındaki ilişkiler bilinmektedir. Dolayısıyla su kullanımı ile tuzluluk yönetimi arasındaki bağlar kurulabilir. En azından su kaynakları, sulama suyunun özellikleri çerçevesinde uygun sulama yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Özellikle çiftçilerimizin tuzlulaşmaya ve sulama tekniklerine dair konularda bilgilendirilmesinde yarar vardır. Söz konusu bilgilendirme, üreticilerin kendi kooperatiflerini kurup, emeklerine sahip çıkmasını da içermelidir.

GAP İLE GELECEKTE OLUŞMASI BEKLENEN ÇEVRE SORUNLARI

Proje alanında GAP'ın gerçekleşmesi ile çevre kirliliğinin gelecekte katlanarak büyüyeceği tahmin edilmektedir. Tasarlanan tüm faaliyetlerin planlama ve hazırlık (kuruluş) , inşaat ve işletme evrelerinde çeşitli çevresel etkiler ortaya çıkacaktır. Planlama ve hazırlık evresinde sınırlı olarak görüntü kirliliği, inşaat evresinde ağırlıklı olarak hava, su ve toprak kirliliğinin yanı sıra gürültü kirliliği; projenin bir bütün olarak işletme ve sonrasındaki evrelerinde ise aşağıda sunulan etkiler ve sorunlar yoğun olarak yaşanacaktır:

İklimde ve hava kirliliğinde beklenen sorunlar

Küresel ve yerel iklim değişiklikleri beklenmektedir. Küresel iklim değişiklikleri senaryolarına göre (IPCC, 1995; Kadıoğlu, 2007) yakın bir gelecekte sıcaklık 2-3 ^{0}C artacak, yağış ise % 10 oranında azalacaktır. Ancak, baraj göllerinin yakın dolayında günümüzdeki iklime göre daha ılıman bir iklimin de oluşması mümkündür. Öte yandan Keban Barajı örneğinden biliyoruz ki yapay baraj göllerinin yakın dolayında sıcaklık kışın artmakta, yazın ise azalmakta, nemdeki artışa karşın yağışta azalma olmaktadır (Yalçın, 1986). İklimdeki değişim, akarsuların debilerine yansıyabileceği gibi, nemin artması da yol açar, bu da mikroorganizmaların dağılımını ve sayısını değiştirir. Böylece mikroorganizmalara ve parazitlerle ilgili hastalıklar artabilir.

İklimi etkileyecek sorunlardan biri de hava kirliliğini yaratan unsurlardır. Çünkü bu unsurlar atmosferin bileşimini de etkilemektedir. Hava kirliliği, havada asılı olan bazı maddelerin insan sağlığına, canlı yaşamına zararlı olabilecek oranda ve sürede havada bulunmasıdır. Başlıca hava kirleticiler, başlıca askıda partikküller ve karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_X), hidrokarbonlar (HC) ile kükürt oksitler (SO_X)'den oluşan gazlardır.

Kükürt Oksitler (SO_X): SO_2 ve SO_3 başta olmak üzere altı farklı kükürt oksidinin toplamı olarak ifade edilir. Kükürt bileşikleri insanlar tarafından yaratılan kirliliği oluşmakta ve bunların miktarları bulunulan yere bağlıdır. Atmosferdeki kükürt bileşiklerinin en önemli kaynağı, fosil yakıtların kullanılmasıdır.

Azot Oksitleri (NO_X): Başlıca NO ve NO_2 olmak üzere altı farklı azot oksidinin toplamı olarak ifade edilir. Azot oksitler hem kimi bacalardan hem de ulaşım araçlarından kaynaklanmaktadır.

Hidrokarbonlar (HC) ve fotokimyasal oksidanlar: Gaz halinde atmosfere karışan çok sayıdaki bileşiklerin toplamıdır.

Karbon monoksit (CO): Derişimi milyonda bir ile 100 arasında değişen önemli bir kirleticidir. CO' in çoğu taşıtlardan ve bacalardan kaynaklanmaktadır.

Partiküller: Tek molekül boyutundan büyük, 500 mμ (milimikron)' dan küçük katı ve sıvı çeşitli taneciklerdir.

Hava kirletici kaynaklar ise aşağıda sunulmuştur:

Yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliği: Güneydoğu'da hava kirliliğinin temel nedeni, kömür, petrol ve petrol kökenli katı fosil yakıtlar, yani asfaltitlerdir. Bu yakıtların Türkiye enerji dengesindeki kullanım payları düşük olmasına karşın bölgedeki kullanım payları yüksektir. % 45'e

varan kül yüzdesi, içerdiği nadir ve zararlı metaller, kökeninin petrol olması, yüksek kükürt içeriği gibi özellikleri ile çok sakıncalı bir hava kirleticidir.

Taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği: Genel olarak hava kirliliğinin yaklaşık yarısı, ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır. Havadaki toplam HC' un % 53'nün, CO' in % 74'nün, NO_X'in % 50'sinin, SO_X'in % 3.3'ünün ve katı taneciklerin de % 2,3'ünün taşıtlardan kaynaklandığı kabul edilmektedir. Bölgede, Diyarbakır ve Gaziantep il merkezlerinde taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği oldukça yüksek düzeydedir.

Meteorolojik koşullar: Hava kirliliğinin oluşumunda kalitesiz yakıt kullanımı dışında en önemli faktör, atmosferik olaylardır.

Nüfus ve yapılaşmadan kaynaklanan hava kirliliği: Kent merkezlerinde hızla artan nüfus ve konut sayısı, kış aylarında ısınma kaynaklı hava kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca artabilecek taşıt trafiğinin yol açacağı hava kirliliği de kent merkezlerinde etkili olacaktır.

Sanayi kuruluşlarından kaynaklanan hava kirliliği: Güneydoğu'da sanayi gelişmemiş olmakla beraber, var olanlar da hava kirliliği, su kirliliği, tehlikeli katı atık ve gürültü gibi çevre sorunları yaratmaktadır. Ergani, Ömerli ve Kurtalan ilçelerindeki üç adet çimento fabrikası, başta partikkül maddeler olmak üzere havayı olumsuz etkilemektedir. Batman ilinde TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) Bölge Müdürlüğü ve alanı, TÜPRAŞ (Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Ortaklığı) Rafinerisi ve tesisleri, BOTAŞ (Boru Hatları Petrol Taşıma Anonim Şirketi) tanklarının kapladığı alan ve boru hatları, İPRAGAZ Dolum Tesisleri, Petrol Ofisi depoları, birinci derecede hava kirliliğine neden olan kuruluşlardır.

Pestisidler ve hava kirliliği: GAP ile birlikte tarımsal ilaçların uçaklarla kullanımı oldukça artabilecek ve havada büyük boyutlu pestisid kirliliklerine neden olacaktır. Tarımsal ilaçların bir bölümü taşınarak büyük yerleşim birimlerinde kitlesel sağlık sorunları yaratabilir. 30 gün kadar atmosferde kalabildikleri bilinen pestisidlerin kullanımında yeterince dikkatli olunmadığında, başta kuşlar olmak üzere, diğer yabani hayvanların akut ölümleri görülebilir ve hatta bazı türler yok olabilir.

GAP ile birlikte Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çok ciddi boyutta pestisid kirliliği ve buna bağlı çevre sorunları beklenmektedir.

Hava ortamında var olan kirliliklerden biri de gürültüdür. Gürültü, insanların beden ve ruh sağlığını ve çalışma güçlerini tehdit eden önemli bir çevre sorunudur. GAP'ın devreye girmesiyle bu yörede var olan gürültünün boyutlarının daha da artacağının işaretleri mevcuttur. Her faaliyetin inşaat ve işletme evrelerinde ortaya çıkacak olan gürültünün özellikle çalışanlar üzerinde ve diğer fauna üzerinde olumsuz etkileri olacaktır. Trafik artışı ile gürültü de artacaktır. Dicle Üniversitesi'nce bölge illerinde bazı gürültü ölçümleri yapılmıştır. Buna göre, Diyarbakır ve Gaziantep il merkezlerinde şimdiden önlem alınması gereken yerler vardır.

Su kaynaklarında beklenen sorunlar

GAP bölgesinde tüm faaliyetlerin yüzey sularının yanı sıra yeraltı sularını (YAS) etkilemesi, barajların yapımı nedeniyle YAS düzeyinde yükselmeye ya da yeraltı su kaçaklarının meydana gelmesi kaçınılmazdır. Kullanılmış suların alıcı ortama arıtılmadan verilmesi, ileride denetlenmesi mümkün olmayan bir su kirliliği yaratabilir. GAP bölgesinde akifer konumunda olan karbonatlar yaygındır ve birbiri ile temas halindedir. Dolayısıyla bu akiferin korunması zorunludur.

Su kirliliği; suyun fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi ve dolaylı olarak biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, kısaca kullanılma amacına bağlı olarak, su kalitesinde düşme ve kullanımının engellenmesi olarak tanımlanabilir.

Su kirletici unsurlar toplam dokuz bölüme ayrılarak incelenebilir (Gümgüm, 1999):

1- Oksijen tüketen (gerektiren) atıklar, **2-** Hastalıklara neden olan maddeler-mikroorganizmalar, **3-** Besi maddeleri (nutrientler), **4-** Sentetik organik bileşikler, **5-** Petrol türevleri-yağ ve gres, **6-** Anorganik bileşikler, **7-** Askıda katı maddeler-çökeller, **8-** Radyoaktif maddeler, **9-** Sıcaklık değişimleri.

Başlıca su kirletici unsurların-maddelerin, toplam dört kaynaktan oluştuğu kabul edilmektedir. Bunlar; **1-** Evsel atıklar, **2-** Sanayi tesisleri ve atıklar, **3-** Tarımsal faaliyetler, **4-** Diğer faaliyetler şeklinde sınıflandırılabilir.

Halk sağlığını doğrudan ilgilendiren içme suyu ve atık su sorunları, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin büyük oranda çözümlenmemiş durumdadır. Ancak il ve ilçe merkezlerinin atık su ve kanalizasyon sorunlarını çözecek projeler hazırlanmıştır.

Bölgenin can damarlarından ***Dicle Nehri'ne başta ağır metal bileşikleri*** olmak üzere, kirletici birçok madde katılmakta ve suyun rengi, kokusu, tadı değişmiş bulunmaktadır. ***Maden'deki Etibank Bakır İşletmesi Tesisleri***, 1995 yılında yaklaşık 50 personelin çalıştırıldığı bir özel kuruluşa devredilmiş ise de nehrin kirlenmesi süreci devam etmektedir. Fırat Nehri üzerinde, şimdilik ciddi kirlilik yaratan bir tesis yoktur.

Dicle Üniversitesi'nde, Dicle Nehri boyunca değişik yerlerden alınan su, çökel (çamur-kum), balık ve tarımsal arazilerden alınan, buğday ve mantar örnekleri ağır metal kirlilikleri yönüyle incelenmiştir. Dicle ve Fırat nehirleri özellikle Dicle Nehri üzerindeki Deve Geçidi Barajı balıklarındaki bakır, çinko ve diğer ağır metal derişimleri irdelendiğinde, Dicle Nehri balıklarındaki değerlerin oldukça yüksek (Fırat Nehri' nin yaklaşık 100 katı) olduğu saptanmıştır.

GAP ile birlikte pestisid ve gübre kullanımındaki artıştan kaynaklanabilecek su kirliliği ve buna bağlı değişik çevre sorunları giderek büyüyecektir. Bu soruna yönelik olarak başlı başına ***'Su Kaynakları Yönetimi'*** acilen yapılandırılmalıdır.

Ekolojik (flora ve fauna da oluşacak) sorunlar

Ekolojik etkiler: Dağ yamaçlarında erozyon ve baraj göllerinde çökelme (Sedimantasyon) ile birlikte deprem potansiyeli olan diri faylar, sel ve taşkınlar gelişebilir. Örneğin, yeraltı su tablasının yükseldiği baraj göllerinin yamaçlarında heyelanların tetiklenmesi mümkündür. Bu doğal süreçler ekosistemlere de yansır. Ayrıca, değişen iklime koşut olarak bitki örtüsünde de önemli değişimler beklenmektedir. Bazı türler oluşan kirlilik nedeniyle yok olabileceği gibi, bazı yeni türler de ortaya çıkabilir. Ülkenin endemik türlerinin % 34'ünün bu bölgede olduğu unutulmamalıdır. Bu türlerin bir bölümü baraj göllerinin suları altında kalacaktır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde GAP ile birlikte ***sulak alanların çoğalmasıyla*** havadaki nem oranının artması beklenmektedir. Şimdiye dek kurak olan ekolojik ortamın değişmesiyle, bu ortama uyumlu olan bazı bitkilerin (İran-Turan Bölgesi step bitkileri) ve hayvan türlerinin ortadan kalkmaları, ***bunların yerine neme daha uyumlu bazı türlerin*** (olasılıkla Akdeniz Bölgesi ***maki bitkileri ve sivrisinek türleri gibi) bölgeye yerleşmeye başlamaları beklenebilir***. İklimin yumuşamasıyla birlikte kış aylarında don olayı görülen günlerin sayısı da azalabilir. Bu da maki örneklerinin gelişimini hızlandırabilir. Ayrıca hava koşullarının değişimi, kuş göçlerini etkileyebilmektedir. Yağışların ve havadaki nem oranının artmasının bir sonucu da, bulutlu gün sayısının artması ve havadaki su buharının yeryüzüne inen ışığı azaltması ile buna uygun bitki ve hayvan türlerinin gelişmeleri olabilir.

Son yıllarda havadaki ***nem oranının*** GAP ve çevresinde, yaz aylarında bile hissedilir bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Bunun en büyük nedeni Güneydoğu Anadolu Bölgesi içinde ve çevresinde bulunan doğal ve yapay göl alanlarının son yıllarda oldukça büyük rakamlara ulaşmasıdır. Halen var olan doğal ve yapay göllerin yüzölçümlerinin toplamı (Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin dışında kalmakla birlikte, etkilediği için Keban Baraj Gölü ve Hazar Gölü de dahil), 1.950 km^2'dir. Bu alana henüz yapılmamış barajlar dahil değildir. Bu alan Akdeniz'in Göller Bölgesi'ndeki göl yüzölçümlerinden (1.908 km^2) daha fazladır. Böylece, Göller Bölgesi'ndeki yağışlı ortamın bir benzerinin, GAP yöresinde gelişmesi mümkün hale gelebilir.

Güneydoğu'da, bölgenin yağış getiren rüzgârların batı, kuzeybatı ve kuzey yönlü oldukları düşünülürse, özellikle Atatürk, Karakaya, Keban Baraj gölleri ile Hazar Gölü'nün ne kadar önemli oldukları ortaya çıkmaktadır.

Çevre Bakanlığı ve GAP İdaresi Başkanlığı'nın desteklediği projeler ile Diyarbakır, Mardin, Siirt, Batman ve Şırnak ile Şanlıurfa, Adıyaman ve Gaziantep illerinin flora ve faunası ile ilgili envanter çalışmaları Dicle Üniversitesi'nce yapılmıştır. Bu envanter çalışmalarında ***türler, bağlı bulundukları ordo ve familyalar ile birlikte ortaya koyulmuştur.*** Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki endemik türde bitki sayısı 240 dolayındadır. GAP' a özgü endemik ***tür sayısı ise 59'dur.***

Ekolojik ortamın en önemli bileşenlerinden biri de ***toprak***tır. Su ve hava kirletici olarak bilinen maddelerin çoğu toprağa geçerek kirlilik yaratır. GAP ile birlikte fazla miktarlarda pestisid ve gübre kullanımından kaynaklanan önemli çevre sorunları oluşabilecek ve toprakta ciddi boyutlarda ***pestisid kirliliği ile karşılaşılabilir***. Doğada fazla kalamayan (yarılanma süresi kısa), çabuk parçalanarak zararsız hale gelen pestisidler kullanılmalıdır.

Sulamalarda uygun olmayan teknikler ya da fazla su kullanımından kaynaklanabilecek tuzlanma sorunu için zamanında gerekli önlemler alınmalıdır. GAP ile bölge topraklarının ciddi boyutlarda, tuzlanma ve pestisid kirliliği sorunları ile karşı karşıya kalabileceği düşünülmektedir.

Sosyoekonomik sorunlar

Nüfus yoğunluğunun değişimi, göç olayları, yeni yaşam biçimleri, yeni iş olanakları, gelir düzeylerinin değişmesi kaçınılmazdır. Nüfus artışı ile birlikte toprak, su, hava, gürültü kirlilikleri ve evsel katı atıkların yaratacağı görsel kirlilik baş gösterecektir. Bu arada akarsu vadileri boyunca yer alan verimli toprakların baraj göllerinin altında kalması sosyoekonomik açıdan yeni tartışmalara yol açabilir.

Sosyoekonomik açıdan yukarıda belirtilen çoğu parametrelerin değişime uğradığı açıktır. Ne var ki elimizde bu konuda yeterli istatistiksel veriler yoktur. Sosyoekonomik açıdan en önemli husus, GAP'ın gerçekleşmesiyle ortaya çıkan artı değerin ne ölçüde halka yansıyacağıdır. Dünyanın en zengin yatakları üzerinde yaşayan sersefil insanlar vardır. Yani zengin kaynaklara sahip olmak yetmez. Önemli olan bu kaynakların yönetimi ve bu yönetimin ne ölçüde hakça bir paylaşımı gerçekleştirdiğidir. GAP ile ortaya çıkacak kazanımlar eğitime, sağlığa ve turizme yansımadıkça bölgede kalıcı olumlu gelişmeler beklenemez.

Doğal ve kültürel miras ile ilgili sorunlar

Eski uygarlıkların ya da doğal, görsel ve dini yapıların akarsular boyunca yer almaları nedeniyle, bunların su altında kalmaları mümkündür. Tarihi Hasankeyf yapıları gibi… Bölgenin doğal ve kültürel değerleri için sağlıklı bir envanter çalışması gereklidir. Bu çalışma, Yukarı Mezopotamya'nın en eski uygarlıkların beşiği olduğu ve halen bakir olan doğal güzelliklere sahip olduğu gözetilerek gerçekleştirilmelidir. Yapılmasında yarar görülen çaba, bölgenin sanat açısından önemini anlama konusunda katkı sağlar. Böyle bir envanter ve çaba ortaya koymadan GAP'ın bu kültürel yapılar üzerindeki olumlu etkileri görülemez.

GAP alanında, tarihi ve arkeolojik eserler, kültür turizmi potansiyelinin temelini oluşturmaktadır. Kültür turizminin yanı sıra, bölgenin birçok dine hitap eden kaynakları, inanç turizmine de kaynaklık eder. Ayrıca sağlık turizmi, eko turizm alanları, doğa turizmi bölgenin doğal diğer turizm seçeneklerini de oluşturmaktadır. Yukarıda belirtilen envanter, söz konusu turizm türlerinin verimli bir yapıda örgütlenmesine de yol açabilir.

Çevre kirliliğinde katı atıklarla ilgili sorunlar

GAP çok sektörlü bir yapıdır. Örneğin, tarım ve tarıma dayalı sanayilerle birlikte toprak ve su kirliliği büyük boyutlara varabilir. Özellikle gübrelemeye bağlı oluşacak kirliliğin yüzey suları ile akarsulara ulaşması ve fosforun yaratabileceği ötrifikasyon sorunu ile tarımda kullanılan pestisidlerin

olumsuz etkileri ortaya çıkacaktır. Ayrıca enerji sanayi ile birlikte gıda, sağlık, tekstil ve inşaat sanayilerinin işleyişi ile birlikte toprak kirliliği, su kirliliği, hava kirliliği, gürültü kirliliğinin yanı sıra tehlikeli atıklar ortaya çıkacaktır. Bu arada çeşitli kazalar ya da sabotajlar nedeniyle olası bazı çevresel etkilerin ortaya çıkması mümkündür.

Hammaddenin, belirli işlemler uygulandıktan ve istenilen ürünlere dönüştürüldükten sonra, geriye kalan ve pratikte işe yaramayan ve çevre kirliliğine neden olan kısmı olarak tanımlanabilen katı atık sorunu, son yıllarda ülkemizde kendini iyice hissettirmiştir. Katı atıkların doğada zararsız hale getirilmesi gerekir. Bu da genellikle düzenli depolama, yakma ve kompostlama diye adlandırılan üç klasik yöntemle olur. Günümüzde uygulanan katı atıklardan enerji sağlanması ve devamında oldukça azalmış atıkların yok edilmesi gibi yöntemler ülkemizde de yaygınlaştırılmalıdır.

Yerleşim birimlerinden kaynaklanan katı atıkların neden olduğu çevre sorunları, şimdiden önlem alınmadığında GAP ile birlikte bölgede ciddi boyutlara ulaşacaktır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde katı atık sorunları ile ilgili herhangi bir önlem alınmamıştır. Hızlı kentleşme nedeniyle altyapı yetersizliğine bağlı olarak su ve kanalizasyon sorunları, yerleşim alanlarından kaynaklanan atık suların tasfiye edilmemesi halinde meydana gelebilecek çevre kirliliği artacaktır.

Kalkınma ve gelişme ile birlikte oluşabilecek çevre sorunları, bilinçli şekilde alınacak önlemlerle en alt düzeye indirilebilir. Çevre değerlerini koruma, mevcut çevre sorunlarını giderme ve yeni sorunların oluşmasını engelleme son derece önemlidir. Çevre sorunları denildiğinde öncelikle hatırlanan ***hava, su, toprak ve gürültü kirlilikleri yanı sıra toprak aşınması (erozyonu), nüfus artışı, iklim değişiklikleri, sanayi atıkları, evsel katı atıklar (çöpler), ekolojik değişiklikler, tarımsal ilaçlarla (pestisidler) beraber aşırı düzeyde gübre ve su kullanımının çevrede yaratabileceği sorunlar*** akla gelmektedir. Bu sorunlar hakkında halk eğitilmelidir. Çevre sorunları yaratabilecek her tesis için ÇED raporları hazırlanmadan, faaliyetlerine izin verilmemelidir.

DENETİME YÖNELİK ÖNERİLER

Güneydoğu Anadolu Projesi, insan odaklı, sürdürülebilir, kapsamlı bölgesel kalkınma projesidir. Bu projenin ***itici gücü tarım ve sulama ile enerji üretimidir.*** Bölgede tamamlanmış, inşa halinde ya da planlama aşamasında olan 22 baraj ve 19 hidroelektrik santralın inşası ve yaklaşık olarak 2,2 milyon hektar (ha) alanın sulanması ile buna bağlı olarak ekonomik büyümenin gerçekleşmesi sağlanmış olacaktır. GAP hedeflenen amaçlara ulaşırsa ve iyi yönetilirse yalnız bölgeyi değil, tüm ülkemizi ve hatta Ortadoğu' yu refaha ulaştıran bir kalkınma projesi olarak tarihe geçecektir.

GAP, ülkemizin yüzölçümünün % 10'una sahip oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu alan, iki alt bölgeye ayrılır. İki alt bölge arasında da yıllık yağış, buharlaşma ve aylık ortalama sıcaklık değerleri büyük farklılıklar göstermektedir.

GD Anadolu' da 3,2 milyon ha bitkisel üretim, 1,2 milyon ha orman ve 2,4 milyon ha çayır-mera arazisi bulunmaktadır. Kuru tarım alanlarında genel olarak buğday, arpa ve mercimek üretimi, sulu tarım alanlarında ise yoğun olarak pamuk, buğday ve sebze tarımı yapılmaktadır. Meşe, ardıç ve çam türleri yaygındır.

Tarım alanlarının yarısından fazlasının sulamaya açılması ile projelerden beklenen yararların sağlanması yanında, bazı olumlu ve olumsuz çevre etkileri kaçınılmaz olarak ortaya çıkacaktır. Kalıcı çevre sorunlarının bazıları aşağıda sunulmuştur:

- Mansabtaki akarsu debilerine ilişkin akımların azalması ve su kalitesinin bozulması,
- Memba tarafında ekoloji ve kültürel miras alanlarının su altında kalması,
- Ekolojide ve nehir morfolojisinde bazı olumsuz değişimlerin gerçekleşmesi,

Kötü bir yönetim ile idare edilen sulama şebekeleri yeraltı suyu, çevre sağlığı ve ekoloji gibi alanlarda ciddi çevresel sorunlar yaratabilir. Sulama sistemlerinin sahip olduğu potansiyel iyi bir biçimde değerlendirilmelidir. Böylelikle aşağıdaki hususlar gerçekleşebilir:

- İnşa edilen bir sulama sisteminin olduğu gibi kullanılabileceği ya da bu sistemin neden olacağı olumsuz etkileri azaltmak için bazı değişikliklerin yapılması gerektiğinde, bu kararları gecikmeden alabilme olanağı sağlanmalıdır.
- Önlemleri, daha başlangıç evresinde uygulanma olanağı yaratılmalıdır.
- Havza yönetimi, kaynak yönetimi, şehir planlaması ve çevre sağlığı planlaması konularını içeren kapsamlı bir bölge planlaması hazırlanmalıdır. Büyük boyutlu toprak ve su kaynakları geliştirme projelerinde barajların inşaatları ve nehir akımlarının yeniden düzenlenmesi nedeniyle, çevresel etkilerden bazıları kalıcı olacaktır.

Bütünsel bir çevre yaklaşımı olmadan zaman içinde oluşacak olumsuz çevresel etkilerinin belirlenmesinde geç kalınabilir. Dolayısıyla alınması gereken önlemleri alma olanağı belki de bulunmayabilir. Çevresel etki değerlendirmesi çalışmaları, çevreye en az zararı verecek, kalkınmanın sürekliliğini sağlayacak ve sorunları zamanında belirlemek üzere gereken önlemler ödünsüz uygulanmalıdır.

Su kirliliği

GAP Bölgesi illerinin tümünde içme suyu sorunu vardır. Hem illerin hem de ilçelerin su projeleri GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı'nca hazırlatılmıştır. Projeler gerçekleşinceye kadar kullanılan sular uygun yöntemlerle dezenfekte edilmelidir. Ayrıca aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

1. Kanalizasyon ve atık sularıyla, ilgili projeler hazırlanmalıdır. Belediye kanalizasyonlarının, Dicle ve Fırat Nehri kollarına doğrudan akıtılmasından en kısa zamanda vazgeçilmelidir.
2. Bölgedeki tüm metalik, sanayi ve enerji hammaddelerine ait işletmelerden, ÇED raporu koşullarının sağlanması istenmeli ve ÇED'in hazırlanamaması durumunda, bir yıl içinde tümüyle kapatılmalıdır. Daha önce işletme izni almış olan Fosfat, Asfaltit, Kömür-Linyit, Krom, Demir, Manyezit, Bakır, Mermer-Yapıtaşı, Jeotermal kaynaklara ait işletmelerden güncelleştirilmiş olan ÇED raporları istenmelidir.
3. Büyük illerdeki ***arıtma sistemlerinin*** denetlenerek, tehlikeli ve zararlı bileşiklerin yüzey ve yeraltı sularına karışması engellenmelidir. Kullanılmış olan suların arıtılmasından sonra alıcı ortama verilmesi sağlanmalıdır.
4. Diyarbakır Mahalli Çevre Kurulu tarafından, petrol üretim sahalarında ÇED koşullarının sağlanmadığı belirlenmiş ve Türkiye Petrolleri ve ilgili diğer özel bazı özel kuruluşlar uyarılmış ve süre verilmiştir. Benzer çalışmalar tüm bölgede yaygınlaştırılmalıdır.
5. Bölge akarsu, göl-gölet ve baraj göllerini kirletebilecek yeni tesisler için ÇED araştırmaları titizlikle uygulanmalıdır.
6. Verimli toprakların aşınıp taşınmasına (erozyona) karşı önlemler alınarak, toprak kayıpları ile baraj göllerinin dolarak devre dışı kalması önlenmelidir. Bu amaçla, doğal bitki örtüsünün gelişmesini engelleyen ya da yok edebilen faaliyetlere izin verilmelidir. Nehir ve baraj yatakları çevresi başta olmak üzere, ağaçlandırma çalışmaları özendirilmelidir.
7. GAP Bölgesi baraj göllerinde pestisid birikimlerine ve su kirliliğine fırsat verilmemelidir.
8. Göl-gölet ve baraj dolaylarında gübre kullanımlarında dikkatli olunmalıdır. Özellikle fazla gübre kullanılması mutlaka engellenmelidir.
9. Yerleşim birimlerine ait kanalizasyon atıklarının baraj göllerine karışması mutlaka engellenmeli ve benzer durumlara izin verilmemelidir.

Hava kirliliği

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, genel ve sürekli bir hava kirliliği sorunu şimdilik görülmemektedir. Ancak mevsimlere bağlı ve yerel kirlilikler söz konusu olabilmektedir.

1. ***Asfaltitlerin*** kış aylarında ***yakıt olarak kullanılması***, çok ciddi hava ve çevre kirliliklerine neden olmaktadır. Bunlardan, başta hidrokarbonlar olmak üzere; partikküller, kükürt oksitler, azot oksitler ve ağır metal oksitler bol miktarda atmosfere karışmaktadır. Asfaltitlerden kaynaklanan sorunlardan kurtulmanın tek yolu, bunların doğal halleriyle yakıt olarak kullanılmasından vazgeçmekle mümkündür. Ancak, mahalli çevre kurulları ***kentlere kaliteli kömür girişini*** sağlayabildikleri takdirde bu sorun giderilmiş olacaktır.
2. Ülkemizde en çok güneş alan yer olmasına rağmen GAP yöresinde Güneş enerjisinden pek yararlanılmamaktadır. ***Yenilenebilir ve çevresel etkileri denetlenebilir alternatif bir enerji kaynağı olması nedeniyle Güneş enerjisi sağlayan tesislerin kurulması özendirilmelidir.***
3. Her tür yapı ve sanayi tesisi için, meteorolojik koşulların göz önüne alınması sağlanmalıdır. ÇED Yönetmeliği'nde de önemi belirtilen yer seçimi hususu üzerinde, özellikle durulmalıdır.
4. Araç egzoz gazları ile ilgili ölçümlerin yapılması sağlanarak, ciddi kirlilikler yaratan eski ya da sorunlu araçların trafiğe çıkışı engellenmelidir.
5. Çimento fabrikaları başta olmak üzere, sanayi kuruluşlarının, Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği'ne uygun bir statüye getirilmeleri için gerekli önemler alınmalı ve yeni kurulacak tesisler için ÇED uygulamalarına özen gösterilmelidir.
6. GAP ile birlikte doğada kısa zamanda parçalanarak zararsız hale gelebilecek pestisidlerin kullanılması sağlanmalıdır.
7. Göç yoluyla nüfus artışının yarattığı çevre kirliliklerinin önlenmesi için, gerekli eğitsel-kültürel önlemler alınarak, büyük boyutlu çevre sorunlarının oluşumu engellenmelidir.

Ekolojik ortam ve toprak kirliliği

Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerinin ekolojisi tipiktir. GAP bölgesinin tüm fauna ve florasına ilişkin kayıtlar gözden geçirilmeli ve özellikle endemik türlerin dağılımı ve yoğunluğu güncelleştirilmelidir. Günümüzdeki ekolojik durumu ortaya koymadan GAP'ın bundan yapabileceği etkileri izleme olanağı yoktur. Bu çerçevede nehirlerdeki balık türlerinin, türleri tükenme noktasına gelmiş karacaları, yaban keçileri ve parsların yanı sıra endemik bitki türlerinin korunması için çaba gösterilmelidir.

Halk sağlığını tehdit eden asbestin (yerel adıyla beyaz toprağın) olduğu doğal jeolojik ortamlar tanımlanmalı ve asbest ile ilgili kanserojen olayların denetimi sağlanmalıdır. Bu çerçevede yörede tıbbi Jeolojik çalışmalar teşvik edilmelidir.

1. GAP yöresinde, topraktaki yüzey tuzu oranının artışına neden olabilecek uygulamalar, mutlaka engellenmelidir. Bu hususta, mahalli çevre kurulları gerekli önlemleri almalıdır.
2. Sanayi artıkları, ağır metal ya da genel olarak belirli değerleri sağlayamayan suların, sulamada kullanılmasına izin verilmemelidir.
3. Petrol üretimi yapılan sahalarda toprak kirlilikleri engellenmeli, bu çalışmaların ÇED koşullarına uymaları sağlanmalıdır.
4. Gübrenin fazlasından mutlaka kaçınılmalıdır. Gübrenin ana girdisi fosfattır. Mazıdağı fosfat tesisleri bu açıdan çevre boyutu da gözetilerek yeniden yapılandırılmalıdır. Başlangıçta böyle bir uygulamanın doğrudan maddi zarar, sonrasında da değişik çevre sorunları oluşturacağı göz önüne alınmalıdır.
5. Verimli toprakların yapılaşmaya ve diğer kullanım biçimlerine açılmasından kaçınmak gerekir. Çünkü bu toprakların yeniden tarıma kazandırılması mümkün değildir. Böyle bir uygulamadan geri dönüş mümkün değildir. Ülkenin güney sınırındaki verimli arazilerin tarıma yönlendirilmesi teşvik edilmelidir. Çağdaş anlamda bir toprak reformuna ihtiyaç vardır.

Katı atıklar

1. Şimdiden büyük sorun olmaya başlayan kentsel katı atık sorunları GAP ile birlikte daha yüksek düzeylere ulaşacaktır. Çöp deponi alanlarının yer seçimi ÇED Yönetmeliği'ne uygun biçimde

yapılmalı ve belediyelere ait katı atıklardan başta enerji olmak üzere ***geri dönüşümle*** ve ***geri kazanımla***, yararlanma yolları özendirilmelidir.

2. Endüstriyel-tehlikeli ve zararlı atıklar için ilgili yönetmeliklerin gereği mutlaka yerine getirilmelidir. Özellikle baraj göllerine yakın yerlerde katı atık alanları oluşturulmamalı ve katı atık sızıntı sularının temiz su kaynaklarına karışması mutlaka önlenmelidir.

Gürültü

Bölgede şimdilik ciddi bir gürültü sorunu olmamakla beraber, GAP'taki gelişmelerle beraber bu sorun da daha belirgin bir hale gelecektir. Yani yapılaşma, yeni tesislerin işletilmesi ve araç sayılarında olası hızlı artış başlıca gürültü kaynakları olarak karşımıza çıkacaktır. Özellikle gürültü yaratan faaliyetlerde çalışanların korunması için gerekli önlemler alınmalıdır. Gerek gürültü, gerekse ısı kaybını önlemek için konutlarda ve tesislerde izolasyona gidilmeli ve yapılarda çift cam sistemlerine geçilmesi özendirilmelidir.

Sosyoekonomik ortam

Sosyoekonomik ortamı karakterize eden en önemli bileşenlerden göç hareketlerinin köyden kente doğru olacağı, bu çerçevede konut gereksinimi ve eğitime kadar uzanan birçok değişimin olacağı gözetilmelidir. Bu değişim iyi bir planlama ile olumlu bir düzeye çıkarılmalıdır.

Yukarıda sunulduğu gibi, GAP'ın işletme ve sonraki süreçlerinde önemli çevresel sorunlara yol açabileceği öngörülerek gerekli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler yeni geniş otoyollar, hava alanları, enerji dağıtım hatları ve petrol boru hatları gibi yeni büyük faaliyetleri de tetikleyeceği gözetilerek alınmalıdır. Bunun için yapılması gerekli olan diğer çalışmalar da şunlardır:

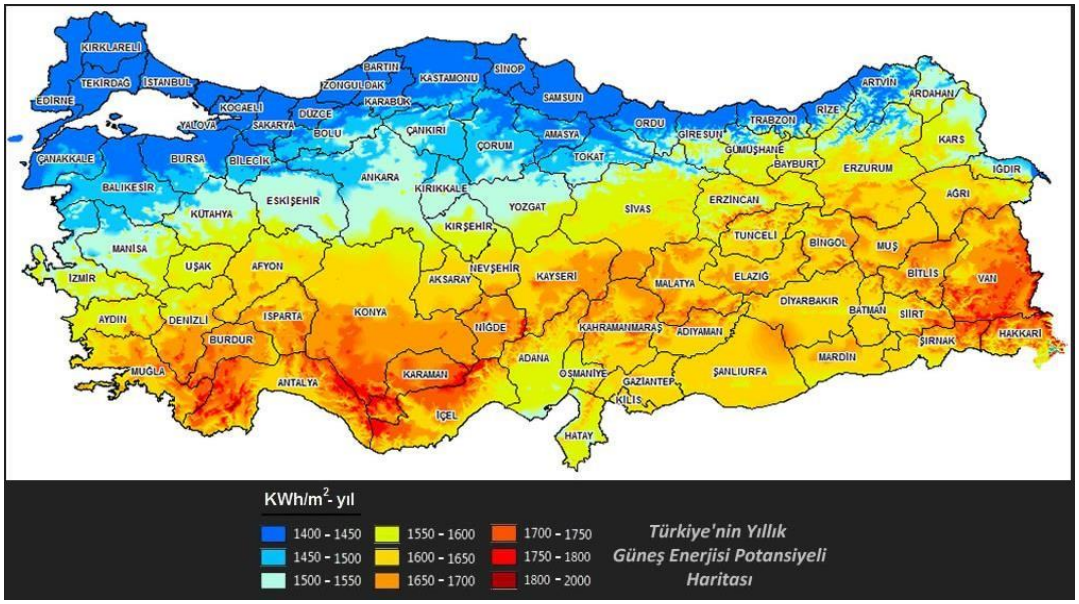
1- Bölgenin bir bütün olarak mevcut durumunu ortaya koymak üzere güncelleştirilmiş ***toprak sınıflarını ve arazi kullanım potansiyelini içeren haritaları*** hazırlanmalıdır. Bu haritalar, toprak haritalarının üzerine doğal risklerin ve jeolojik birimlere ait mühendislik parametrelerinin de eklendiği kapsamlı haritalardır. Söz konusu haritalar iyi hazırlanırsa önemli tesislerin geleceğe yönelik yer seçimi ve planlaması daha bilinçli yapılabilir.

2-GAP'ın çok sektörlü yapısı ve oluşacak sorunların birbirini etkileyip tetikleyeceği de gözetilerek çevre boyutu ***'Bütünsel (Entegre) Çevre Yönetimi'*** (BÇY) çerçevesinde ele alınmalıdır. BÇY iyi uygulanırsa çoğu çevre sorunları daha başlangıç evresinde fark edilebilir ve gerekli müdahaleler yapılabilir.

3- Önemli olan, bu kaynakların yönetimi ve bu yönetimin yanı sıra söz konusu kaynakların nasıl değerlendirildiği ve ne ölçüde hakça bir paylaşımın gerçekleştiğidir. GAP ile ortaya çıkacak kazanımlar eğitime, sağlığa ve kültürel turizme yansımadıkça bölgede kalıcı olumlu gelişmeler beklenemez. Her türlü israfın önlendiği ve ***sürdürülebilir bir yaşamı hedefleyen bir kalkınma anlayışı*** egemen kılınmalıdır. Bir tarafta milyonlarca ekmeğin çöpe atıldığı, diğer tarafta açlıktan insanların öldüğü bir dünyada, hiçbir zaman huzurlu bir düzen yaratılamaz. Böyle bir düzen adil de olamaz. GAP ile ortaya çıkacak olan kazanımların mutlaka sıradan halka ulaşması, yani eğitime, sağlığa ve turizme yansıtılması gerekmektedir.

4- GAP'ın sağlıklı sürdürülebilmesi için elbette enerji kaynaklarına gereksinim vardır. GAP ile üretilecek enerjinin yanı sıra, Ortadoğu'nun fosil yakıtları ve Rüzgâr ve Güneş Enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların bir arada değerlendirilebileceği seçenekleri de üretmek gerekmektedir. GAP bölgesi, özellikle Güneş Enerjisi gibi kaynakların da yaratılabileceği bir konuma da sahiptir. Şekil 12'de sunulan Türkiye'nin Yıllık Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası irdelendiğinde bölgenin Güneş Enerjisi açısından önemi daha iyi anlaşılır. Özetle, GAP için öngörülen tüm sektörlerin enerji gereksinimini karşılamak üzere, ***çevre duyarlılığı da gözetilerek bir planlamanın yapılmasında*** yarar vardır.

GAP iyi yönetilemezse ne olur? Sovyetler Birliği döneminde yaşanan Aral Gölü faciası, Mısır'da yaşanan Assuan Barajı sorunları birer örnek olarak iyi değerlendirilmelidir. Dimyata pirince giderken evdeki bulgurdan olmak her zaman mümkündür.



Şekil 12. Türkiye'nin yıllık Güneş enerjisi potansiyeli haritası (https://www.enerjimgunesten.com/gunes-enerjisi-haritasi-turkiye.html 30 Ağustos 2018, Saat 10.00).

GAP, sadece bir enerji üretim projesi değildir. GAP, enerjinin yanı sıra çok sektörlü bir projedir. Enerji ise, insanın yaşamında açıkça bir önceliğe sahiptir. Günlük yaşamın her alanında enerji kullanma zorunluluğu bulunmaktadır. Dolayısıyla, enerji yatırımlarının çevreye olan olumsuz etkilerini asgariye indirmek ve enerji projelerini, yerli üretimin sağlamak üzere ulusal ve kamu çıkarlarına dayalı strateji, politika ve programlar çerçevesinde tasarlamak ve uygulamak gerekmektedir.

GAP alanında Kırsal Kalkınma yaklaşımları benimsenmiştir. Bu çerçevede 'GAP Kırsal Kalkınma Projeleri Destekleme Programı' 2010-2011 yıllarında uygulanmıştır (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012d). Bu destek programları, göstermelik programlar olmaktan çıkarıp GAP'a entegre tüm projelere yönlendirilmelidir. Ayrıca GAP bölgesinde ki toprak mülkiyetinin adaletsiz ve feodal yapısı herkesin bilgisi dahilindedir. Yüz yıllık Cumhuriyet'in başaramadığı toprak reformu, GAP'ın amaçları ve kamu yararları gözetilerek mutlaka gerçekleştirilmelidir.

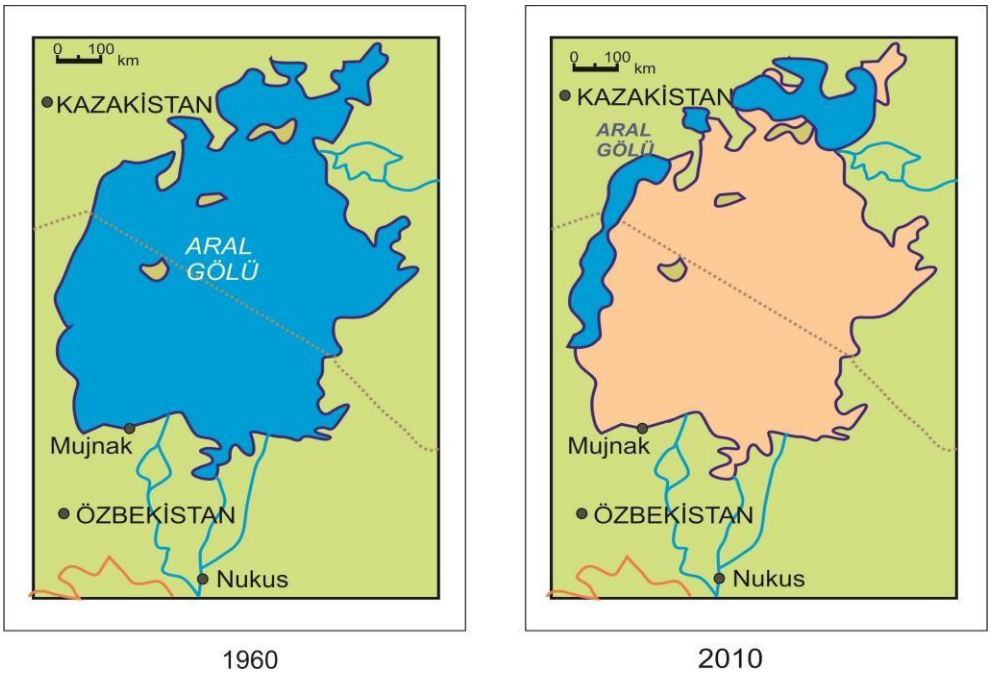
SONUÇLAR

GAP'ın mevcut durumu, gelecekte beklenen sorunlar ve olası sorunların denetimi ile ilgili öneriler bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Projenin izlenmesi ve denetimi hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir. Aksi halde, çok iyi niyetlerle tasarlanıp uygulanmakta olan bu proje dolayısıyla, 'Dimyata giderken evdeki bulgurdan olmak' mümkündür. Özellikle Yukarı Fırat Havzası'nda yapılmakta olan ve planlanan sulama ve enerji amaçlı projelerin GAP'a etkileri mutlaka görülecektir.

Böylesine büyük projelerin derdi de büyük olacaktır. Benzer iyi niyetle gerçekleştirilen ve büyük bir facia ile sonuçlanan ***'Aral Gölü Faciası'***nı hatırlatmakta yarar görülmektedir. Aral Gölü Havzası, Tanrı dağları ve Pamir dağlarından doğan Ceyhun ve Seyhun olmak üzere iki ana nehir ve bu nehirlerin havzası içerisinde yer almaktadır. Bu havza, 6 Orta Asya ülkesinin topraklarından oluşan (Kazakistan, Kırgızistan, Tacikistan, Türkmenistan, Özbekistan, Afganistan) geniş bir alanı kapsamaktadır (Şekil 13). Jeolojik dönemlerden Kuvaterner'in başlarında Aral Gölü'nün su düzeyi çok daha yüksekte olup güneyden Hazar Denizi ile bağlantılıydı. Ayrıca, Aral Gölü, Seyhun ve Ceyhun nehirlerinden beslenmekte idi.

Şekil 13. Aral Gölü'nün coğrafi konumu (Yıldız, 2011'den kısmen değiştirilerek).

Ancak, Sovyetler Birliği döneminde, yetkililer tarafından 1960-1990 yılları arasında alınan ***'Orta Asya'da pamuk üretimini artırma kararı',*** sonun başlangıcı oldu. Bu karardan sonra, işin gereği yapılan barajlar ve geleceğe dair planlama sonucunda su tüketimi 3 kat, sulamaya açık alanlar ise 3 kattan daha fazla artarak 8,11 milyon hektara ulaştı. Göle ulaşan suyun azalması sonucu gölün su düzeyi yılda yaklaşık 1,5-2 m düşmeye başladı. Aral Gölü'nün su hacmi son 50 yılda 1083 km^3'den 115 km^3'e düşerken, gölün su düzeyi ise 53,4 m'den 30,72 m'ye indi. Ayrıca, bulunduğu coğrafya nedeniyle, buharlaşan su miktarı, yağış ve yer altı su kaynaklarından gelen su miktarlarından daha fazla idi. Bu nehirlerden sağlanan su miktarındaki düşüşle birlikte gölün suları, o kadar hızlı bir şekilde çekildi ki Aral Gölü, 1990 yılında Kuzey Aral ve Güney Aral olmak üzere ikiye ayrıldı. Şekil 14'de ise Aral Gölü'nün 1960 ve 2010 yıllarındaki görüntüleri izlenmektedir (Yıldız, 2011).



Şekil 14. Aral Gölü'nün 1960 ve 2010 yıllarındaki görünümü, (Yıldız, 2011'den kısmen değiştirilerek).

Günümüzde ise, mevcut çevre krizine çare aramaktan başka bir yol görülmemektedir. Artık, bu gölün eski haline gelmesi mümkün değildir. Çünkü göl su ile doldurulsa bile, eski özgün dönemdeki ekosistemi oluşturma olanağı yoktur. Geri dönüşü mümkün olmayan bir durum ortaya çıkmış bulunmaktadır. Dimyata pirince giderken, evdeki bulgurdan olmak bu olsa gerek. Aral Gölü krizini tekçe bir olgu olarak görmemek gerekir. Mısır'da, Nil Nehri'nin üst havzalarında inşa edilen Assuan Barajı'nın da yıllar sonra ortaya çıkan çevresel etkileri de unutulmadı.

Ve ne yazık ki, GAP projesi de ne sulamanın planlanması ne de altyapı açısından özlenen düzeye erişemedi.

Sonuç olarak, GAP'ın yönetimi çerçevesinde, mevcut durumu ve sorunları son derece dikkatle ve özenle izlemek ve geri dönüşü mümkün olmayan daha büyük sorunlar ortaya çıkmadan, gerekli önlemleri alacak şekilde, kapsamlı bir planlamanın yapılması gerektiği açıktır. Kapsamlı bir toprak reformu, GAP'ın amaçları ve kamu yararları gözetilerek mutlaka gerçekleştirilmelidir

KAYNAKLAR

Apaydın, A., Aktaş, S. D. ve Kaya, S., 2008. Orta Anadolu Bölgesi' inde kuraklıkla mücadele de alternatif öneri: Yeraltı Barajları: Kuraklık ve su yönetimi toplantısı bildiri kitabı, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, Ankara, s.184-198.

Aral, F., 1992. Mühendislik Jeolojisi Ders Notları; C.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, 72 s.

Aydın, Ü. Y., 2000. GAP' ın Çevre Üzerine Etkileri: CÜ Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Sivas, 65s.

Boşgelmez, A, Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, s., ve Paslı, N., 2001. 'GAP ve Çevre Sorunları' Ekoloji I ve II, Toprak: Başkent Klişe Matbaacılık, Bayındır sok. no 30/E, Kızılay-Ankara, s. 801-871..

BP, 2010. BP Statistical Review of Word Enerji, June 2010 (Enerji ve tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan).

Canter, L.W., 1977. Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.

DSİ, 1994. Deriner Barajı ve HES Projesi Çevresel Etki Değerlendirme Raporu, TC Bayındırlık Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

DSİ, 1996. Southeastern Anatolian Project (GAP). Devlet Su İşleri (DSİ) Teknoloji Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şübe Müdürlüğü, Ankara.

Erguvanlı, K., 1995. Mühendislik Jeolojisi; Dördüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, Cemal Nadir Sok. Akşam İş hanı, 13/1, 34410, Cağaloğlu, İstanbul, 590 s.

Gümgüm, B., 1999. GAP Yöresindeki Çevre Sorunları ve ÇED: GAP Yöresinde ÇED Eğitimi, Türkiye Çevre Vakfı Yayını No:140, Ankara, s:69-76

Haktanır, K., 1995. 'Toprak' Türkiye' nin Çevre Sorunları. Türkiye Çevre Vakfı yayını, Ankara, s. 303-363.

IPCC, 1995. Climate Change: The Science of Climate Change; J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Haris, A. Kattenberg and K. Maskell (Eds); (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) Cambridge University Pres), Cambridge.

Kadıoğlu, M., 1993. GAP bölgesinde beklenen iklim değişiklikleri. TMMOB GAP'ta Teknik Hizmetler Sempozyomu, 10-12 Kasım 1993, Ankara, s. 327-343.

Kadıoğlu, M., 2007. Küresel İklim Değişimi ve Türkiye. Güncel Yayıncılık:110, İstanbul, 382s.

Kırımhan, S., 1993, 'Türkiye'de GAP'ın çevre yönü ile ilgili çalışmalara genel bakış' GAP ve Çevre. Türkiye Çevre Vakfı yayını, Ankara, 29- 44.

Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957. Principles of Engineering Geology and Geotechnics; Mc.Graw-Hill Comp. Inc., NewYork, USA, 730 s.

Özaydın, K., 2000. Zemin Mekaniği; Birsen Yayınevi, İstanbul, 261 s.

Sav, M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli

https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcut-potansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022
Tayfur, K. ve Biber, M., 1995, Güneydoğu Anadolu Projesi, Sudaki Ateş ve Bereket. Atlas Dergisi, 26, 22- 36.
TC Kalkınma Bakanlığı, 2011. Toprağın Tuzlulaşması (Hazırlayan: Mehmet Ali Çullu), Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.
TC Kalkınma Bakanlığı, 2012a. GAP ve Enerji, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 94 s.
TC Kalkınma Bakanlığı, 2012b. Kültürel Mirasın Kalkınmaya Katkısı, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.
TC Kalkınma Bakanlığı, 2012c. En Eskiden En Yeniye GAP Bölgesinde Sanat, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.
TC Kalkınma Bakanlığı, 2012d. GAP'ta Kırsal Kalkınma Deneyimi, 'GAP Kırsal Kalkınma Projelerini Destekleme Program' Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.
TC Kalkınma Bakanlığı, 2012e. Sulama ve Sulama Yöntemlerinin Projelendirilmesi, Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.
TÇV, 1993. GAP ve ÇEVRE, Türkiye Çevre Vakfı yayını, Ankara, 160s.
TÇV, 1997. GAP'ın Ekolojiye ve Tarıma Etkileri, Türkiye Çevre Vakfı (TÇV) Yayın No: 125, Ankara, s.16-23.
www.gap.gov.tr
www.dsi.gov.tr
Yalçın, D., 1986. Keban Baraj Gölü'nün Elazığ iklimine etkisi. Fırat Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü, Lisans tezi, Elazığ, 76s.
Yıldız, D., 2012, Aral Gölü Geri Dönecek mi? Cumhuriyet Bilim Teknoloji Dergisi,31 Ağustos 2012, Sayı 1328, sayfa: 14- 15.
Yılmaz, A., 2008. Çevre Jeolojisi: Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yayını, no. 107, Sivas, 379 s.
Yılmaz, A., 2009. Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yayını, no. 116, Sivas, 276 s.
Yılmaz, I., 2000. Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.

KAYNAKLAR

ABD Tarım Bakanlığı, 1998. Production Supply and Distribution, Washington DC.

Abramowitz, J.N., 1997. Doğal Hizmetlerin Değerini Bilmek, TEMA Dünyanın Durumu Raporu, Çev. Hakan Gülseven, İstanbul.

Abrol, I.P., Yadav, J.S.P. ve Messoud, F.I., 1988. Salt affected soils and their management. FAO Soils Bulletin, 39.

Acar, B. B., 2019, Radyoaktif atık bertaraf tesisleri için saha seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 271-279.

AÇD, 2008. Atık Çerçeve Direktifi 2008-98-EC.

Adair, M.J., 1979. Geologic evaluation of a site for nuclear power plant, Reviews in Engineering Geology, vol. IV, Geology Society of America.

AFAD, 2015. Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması, Çığ Temel Klavuz. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 130s.

AFAD, 2022, Deprem anı ülke tatbikatı (https://bit.ly/deprem-ani; https://www.afad.gov.tr/afadem/deprem) Erişim: 12 Kasım 2022).

AGI, 1980, Glossary of Geology, RL Bates ve JA Jackson (Eds), American Geological Institute (AGI), 2. Baskı, Virginia, USA, 751 s.

Akalan, İ., 1987. Toprak Bilgisi (Ders Kitabı), Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları no, 1058, Ankara, s. 309-346.

Akoğlu, A., 2011, Nükleer Santraller ve Güvenlik. Tubitak Bilim ve Teknik, 521, 32-36.

Akpınar, K., 1999. Su Kuyularının Açılması ve İşletilmesi, Sorunlar ve Çözümleri: Mapek Makine ve Sanayi Ltd. Şti., Ankara, 696 s.

Akpınar, K., 2008, Yer altı sularımızın sorunları, ülkemizin geleceği için önemi ve yeni bir yeraltı suyu yasası neler içermelidir: Kuraklık ve su yönetimi toplantısı bildiri kitabı, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, Ankara, s.81-90.

Alfors, J. T., Burnett, J. L., and Gay, T. E., Jr., 1973, Urban Geology Master Plan for California. California Division of Mines and Geology Bull. 198. 112 pp.

Aller, L., 1976. Atoms, Stars and Nebulas. Mir, Moscow, 352 pp

Alpaslan, M. N., 2005. Katı Atıkların Yönetimi. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir.

Alptekin, Ö., 1973. Focal Mechanism of Earthquakes in Western Turkey and Their Tectonic Implications ; Inst. Mining Tech., Doktora tezi, Soccoro,New Mexico.

Altınlı, İ.E., 1982. Saha Jeolojisi Derlemesi, İstanbul Üniv., Yerbilimleri Fakültesi, İstanbul, 600 s.

Ampferer, O., 1928. Beitrage zur Auflösung der Mechanik der Alpen. Jahrb. Geol. Bundesanstalt, Band 78, Heft 3-4, Wien.

Anaçali, İ. ve Şirin, A., 2015, Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Jeolojik Hizmetler Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 42 s.

Anar, A., 2017a.Termik Santrallerde Proses Güvenliği. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 321-337. https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyede-termik-santraller-2017-oda-raporu

Anar, A., 2017b.Termik Santrallerde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 339-364. https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyede-termik-santraller-2017-oda-raporu

Ancey, C. ve diğerleri, 1996. Guide Neige et Avalanches: connaissances, pratiques, securite. Anea, Grenable, France.

Anderson, B.A., 1971. Calcium-carbonate hardness of public water supplies in the conterminous, In Environmental geochemistry in health and disease, edited by H.L. Cannon and H.C. Hopps, USA, 151-53.

Anderson, E.M., 1955. The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain, 3rd ed., Edinburg: Oliver and Boyd.

Ankara BB, 2006, 2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı, 1/25.000 ölçekli Plan açıklama Raporu, Ankara, 714 s.

Ankara BB, 2017. 2038 Ankara Çevre Düzeni Planı Raporu Açıklaması, Ankara Büyükşehir Belediyesi, İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, Ankara, 828 s.

Anonim, 1963, Rock Color Chart, Geological Society of America, USA.

Anonim, 1976, Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation. The UNESCO Press, 79s.

Anonim, 2000. Erozyonla Mücadele, TEMA Eğitim Seminerleri, TEMA Yayını No:26, İsatanbul.

Apaydın, A., 2001, Jeolojik Zaman Cetveli, Doğuşu ve Gelişimi: Mavi Gezegen, Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Popüler Yerbilim Dergisi, s, 8-15.

Apaydın, A., Aktaş, S. D. ve Kaya, S., 2008, Orta Anadolu Bölgesi' inde kuraklıkla mücadele de alternatif öneri: Yeraltı Barajları: Kuraklık ve su yönetimi toplantısı bildiri kitabı, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü V. Bölge Müdürlüğü, Ankara, s.184-198.

Aral, F., 1992, Mühendislik Jeolojisi Ders Notları; C.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, 72 s.

Arık, M. Sultansoy, S., Çetiner, M. A., Çalışkan, A., Bilgin, P. S., 2012. Yeşil Nükleer Enerji Proton Hızlandırıcıya Dayalı Toryum Yakıtlı Enerji Sistemi, Bilim ve Teknik, https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/KtbxLzfhdDqVrkBMMXqmdCPBdHLsgQNrLV (17 Eylül 2020, saat 21.00).

Arıkan, Y., Demirer, G.N., Duran, M., Dündar, A.K., Dündar, C., Erdem, M., Güngör, K., ve Torunoğlu, E., 1999. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminin Çevresel Etkileri Üzerine Ön Rapor, 10s.

ASTM, 1984, Annual book of ASTM standards. Gaseous Fuels; Coal and Coke: 1916 Race Street, Philadelphia, USA.

Atakan, Y., 2016. Radyasyon güvenliği yüksek bir nükleer santral kurulabilmesi için neler yapılmalı? Nükleer Bilimler Kongresi, 13 Ekim 2016, Kuşadası/ İzmir.
https://www.radyasyonyatakan.com/yazi/radyasyon-guvenligi-yuksek-bir-nukleer-santral-kurulabilmesi-icin-neler-yapilmali (01 Şubat 2023).

Atalay, İ., 1989. Toprak Coğrafyası. 2.baskı, Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.8, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir, 444s.

Ateş, Ş. ve Aktimur, T. 2019. Arazi Kullanım Planlaması Yerbilim Verileri ve Araştırma Yöntemleri: Bursa Örneği. 27. Dönem, 1. Çevre Jeolojisi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Eğitim Semineri, JMO Konferans Salonu, Ankara.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Attenborough, D., 1979. Life on Earth. Oxford University Press, London, 399 pp.

Atwater, B., 1979. Land-use controls arising from erosion of seacliffl, landsliding, and fault movement, In U.S. Geological Survey Professional Paper 950.

Avcı, S., 2005, Türkiye'de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri, Coğrafya Dergisi, Sayı 13, s. 1-27.

Ayçiçek, K. ve Katısöz, Ö., 2019, kömür yatırımları ve hidrojeolojik sistemin karşılıklı etkileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 141-166.

Ayday, C., 2019, Termik santral planlamasında gerekli ÇED raporunun CBS ile hazırlanabilirliği:

Eskişehir-Alpu örneği, 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 167-175.

Ayday, C., 2019 a, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Açık Kaynak Kodlu CBS'nin Genel Çerçevesi. 27. Dönem, 1. Çevre Jeolojisi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Eğitim Semineri, JMO Konferans Salonu, Ankara.

Ayday, C., 2019 b, Açık Kaynak Kodlu CBS ile Çevre Sorunlarının Çözümlenmesi ve Denetlenmesi. 27. Dönem, 1. Çevre Jeolojisi ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Eğitim Semineri, JMO Konferans Salonu, Ankara.

Aydeniz, A., 1985. Toprak Amenajmanı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi yayınları: 928, Ders Kitabı no.263, 554s.

Aydın, A., 2007, Ahlakın Kökeni ve Evrimsel Etik, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 2007/2 s.40-43.

Aydın, Ü. Y., 2000, GAP' ın Çevre Üzerine Etkileri: CÜ Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Sivas, 65s.

Aytaç, O., 2017, Türkiye'de termik santrallerde yaygın arızalar ve uzun duruşların nedenleri, sonuçları. Türkiye'de Termik Santraller, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Oda Raporu, Yayın no. 668, Ankara, 233-242.

Aytaç, O. 2018, Türkiye'nin Enerji Görünümü, TMMOB MMO, Sayı 691, Ankara, 263 s.

Baba, A., Metintaş, M., Örgün, Y., Toksoy, F. K. ve Alan, R., 2017. Çevre jeolojisi ve halk sağlığı: Tıbbi jeoloji'nin koruyucu halk sağlığındaki yeri, önemi ve yaşanmakta olan sorunlar. 1. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu (Ed. Ali Yılmaz). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No:133, Ankara, s. 151-175.

Badgley, P.C., 1965. Structural and tectonics principles. Harper and Row, New York: John Weatherhill, Tokyo.

Baker, E. J. 1974. Attitudes toward hurricane hazards on the Gulf Coast. In Natural hazards: local, national, global ed. G. F. White, pp. 30-36. New York: Oxford University Press.

Baker, E. J., ve McPhee, J. G., 1975, Land Use Management and Regulation in HazardousAreas. Univ. Colorado Inst. Behavioral Sciences, Boulder, Colorado. 122 pp.

Bakkenes, M., Alkemade, J. R. M., Ihle, F., Leemans, R., Latour, J. B. 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. Global Change Biology, 8 (4), s. 390-407.

Barth, T.F.W., 1962. Theoritical Petrology, 2d. Ed. Wiley New York.

Barton, N., Lien, R, ve Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mechanics, 6, 189-236.

Başaran, M., 2013. Türkiye'de Kömürlü Termik Santrallar, ODTÜ Mezunlar Derneği, Enerji Grubu Cumartesi Söyleşileri, 23.02.2013, ODTÜ Vişnelik Tesisleri, Ankara.

Başaran, M. 2017, Türkiye'de Termik Santraller. TMMOB MMO, Ankara, 267 s.

Başaran, M., 2019, Türkiye'de kömürlü termik santrallar ve çevre teknolojileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 125-135.

Bayramgil, O., 1959. Petrografi, T.C. İstanbul Üniversitesi, sayı 819, Fen Fakültesi, no.23, İstanbul, 367s.

Behe, M. 1996, Darwin's Black Box, The Free Pres, Newyork, USA.

Bekişoğlu, Ş., 2013, Balık Geçitleri. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 311- 320.

Benioff, H., 1954, Orogenesis and deep crustal structure: additional evidence from seismology: Geol. Society of America Bull., 65, 385-400.

Berry, A., 2001, Bilim ve Teknik, TUBİTAK Aylık popüler bilim dergisi (Çev. Ayşe Turak), Sayı ? ,s.46-52.

Brandl, H., 1995a, Kombinationsdichtungen im Deponiebau. In: Romanian SSMFE (ed) Proc. 10th Danube-Europen Conf. On SM&FE, Mamaia, 1995, Vol.4. Techn.Univ. of C.E., Bulcharest, s. 1057-1071.

Brandl, H., 1995b, Standsicherheit von Deponien. In: Romanian SSMFE (ed) Proc. 10th Danube-Europen Conf. On SM&FE, Mamaia, 1995, Vol.4. Techn.Univ. of CE., Bulcharest, s. 1043-1056.

Bartelli, L.J., Klingebiel, A.A., Baird, J.V. ve Heddleson, M.R., 1966. Soil Survey and Land Use Planning, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

Brinkmann, R., 1966, Abriss der Geologie, Band 2-Historische Geologie F. Enke, Stuttgart.

Bartelli, L.S., Klingebiel, A.A., Baird, J.V., Hedd-Leson, M.R., 1966. Soil Survey and Land Use Planning, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

Barth, T.F.W., 1962. Theoritical Petrology, 2d. ed. Wiley New York.

Bates, T. F., 1979, Transferring Earth Science Information to the Decision Makers, U.S. Geol.Survey Circ. 813. 30 pp.

Baumann, D. D., ve Sims, j. H. 1974. Human response to the hurricane. In Natural hazards: local, national, global, ed. G. F. White, pp. 25-30. New York: Oxford University Press.

Bayramgil, O., 1959. Petrografi, T.C. İstanbul Üniversitesi, sayı 819, Fen Fakültesi, no.23, İstanbul, 367s.

Behe, M. 1996, Darwin's Black Box, The Free Pres, Newyork, USA.

Bektur Y., 2006. Site Selection Methodology in Turkey. The Fourt Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application, 2006, Baku.

Bektur, Y., 2019. Enerji, nükleer santrallerin uyum kriterleri ve yer seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s.185-232.

Benioff, H., 1954. Orogenesis and deep crustal structure: additional evidence from seismology: Geol. Soc. of America Bull., 65, 385-400.

Benson, R.C., ve La Fountain, L., 1984. Evaluation of subsidence or collapse potential due to subsurface cavities, in B.F. Beck, ed., Proceedings of the First Multidisciplinary Conference on Sinkholes, Rotterdam/Boston, A. Balkema, Publishers, Orlando, Florida, s. 201-215.

Benson, R.C., Turner, M., Turner, P., ve Vogelsan, W., 1988. In-situ time-series measurements for long-term ground-water monitoring, in A.G. Collins, and A.I. Johnson, eds., Ground Water Contamination: Field Methods, American Society for Testing and Materials, ASTM STP-963, Philadelphia, s. 58-72.

Benson, R.C., ve Yuhr, L.M., 1993. Application of Surface Geophysics to Site Characterization (Short Course Notes), Tapma, FL: Ohio Environmental Education Enterprises, 715 s.

Berner, R.A., ve Lasage, A.C, 1989. Modelling the Geochemical Carbon Cycle, Scientific American, 260 (3), 74-81.

Berry, A., 2001, Bilim ve Teknik, TUBİTAK Aylık popüler bilim dergisi (Çev. Ayşe Turak), s.46-52.

Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classification. Mc Graw Hill, New York, 237s.

Billings, M.P., 1954. Structural Geology, Second Edition, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, Inc., USA, 514 s.

Birchfiel, B.C., Foster, E.A., Keller, E.A., Melhorn, W.N., Brookins, D.G., Mintz, L.W., ve Thurman, H.V., 1982. Physical Geology: The Structures and Processes of the Earth, Charles E. Merrill, Columbus, Ohio.

Birkan, İ., 2014, Bilimsel anlamda kuraklık, Cumhuriyet Bilim Teknoloji, Sayı,1406; s.20.

Birkeland, P.W., 1999. Soils and geomorphology, 3rd edition. Oxford University Press, Oxford.

Bodygley, P.C., 1965, Structural and tectonics principles. Harper and Row, New York: John Weatherhill, Tokyo.

Bolles, E. B., 2004, Galileo's Commandment – An Anthology of Great Science Writting (Galileo'nun Buyruğu: Bilim Yazılarından Bir Derleme, Çev. Nermin Arık). TUBİTAK Popüler Bilim Kitapları 137, Ankara, 549s.

Bolt, B. A., 2008, Depremler, Çeviri: Ülkü Tansel, TÜBİTAK Popüler Bilim kitapları, Ankara, 485 sayfa.

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S. ve Paslı, N., 2001. Ekoloji-II, Toprak: Başkent Klişe Matbaacılık, Bayındır Sok. No.30/E, Kızılay-Ankara, 1054

Boşgelmez, A, Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, s., ve Paslı, N., 2001. 'GAP ve Çevre Sorunları' Ekoloji I ve II, Toprak: Başkent Klişe Matbaacılık, Bayındır sok. no 30/E, Kızılay-Ankara, s. 801-871..

Bot, M. P. H., 1982. The interior of the Earth: its structure, constitution and evolution (2. baskı), Eward Arnold Ltd, London.

Botkin, D.B. ve Keller, E.A., 1995. Enviromental Science, Earth As a Living Planet: Chapter 27, Waste Management, John Willey and Sons Inc., Newyork, s.550-571, 627s.

Bowen, N.L., 1922. The Reaction Principles in Petrogenesis. J. Geol., 30, 177-198.

Bowles, J.E., 1988, Foundation analysis and design. Mc Graw Hill Book Comp., Singapore, 1004 s.

Bozkurt, E., 2001, Neotectonics or Turkey-a synthesis. Geodinamica Acta, 14, 3-30.

BP, 2010. BP Statistical Review of Word Enerji, June 2010 (Enerji ve tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan).

Brabb, E.E. ve Harrod, B.L. eds., 1989. Landslides: Extent and economic significance. Preceedings of the 28th International Congress Symposium on Landslides: Washington D.C., 17 July, Rotherdam, Balkema, 339s.

Brady, N.C., 1990. The Nature and properties of soils. Tenth edition. Macmillan Publishing Company, New York, 621s.

Brady, N.C. ve Weil, R.R. (2002) The nature and properties of soil, 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Brandy, N.C., 1990. The Nature and properties of soils. Tenth edition. Macmillan Publishing Company, New York, 621s.

BREF, 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, AB Komisyonu, s. 338-344.
(https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/LCP/JRC_107769_LCPBref_2017.pdf, Erişim tarihi: 30.10.2019).

Brinkmann, R., 1966, Abriss der Geologie, Band 2-Historische Geologie F. Enke, Stuttgart.

Brown, G.P., 1995. Arable Land Loos in Rural China, Asien Survey.

Brown, L.R. ve Wolf, E.C., 1997. Dünya Ekonomisinde Sessiz Kriz: Toprak Erozyonu (Çeviren: B.G. Kocabıyıkoğlu), TUBİTAK-TEMA, yayın no 2, ikinci basım, Ankara.

Brown, R. D., Jr., and Kockelman, W. J., 1983, Geologic Principles for Prudent Land Use. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 946. 97 pp.

Brownlow, A. 1979, Geochemistry, Prentice-Hall, Inc. USA.

Buğdaycı, İ., 1999. Depremin dili: Sismoloji: Bilim ve Teknik, TÜBİTAK aylık popüler bilim dergisi, 382, 26-29.

Burt, T.P., Heathwaite, A.L. ve Trudgill, S.T., 1993. Nitrate: Process, patterns and management. John Wiley & Sons, Chichester.

Burton, Ian, Kates, R. W., and White, G. F., 1978, The Environment as Hazard. Oxford University Pres, London. 240 pp.

Busbey, A.B., Coenroads, R.R., Roots, D. ve Wills, P., 1996, Rocks and fossils: How geology affects us: Collins Publ., UK, 288 s.

Büyükhatipoğlu, H. ve UÇAR, İ., 2017, Termik santral yapım sürecinde edinilen deneyimler ışığında dikkat edilmesi gerekenler. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 367-372.

Byer, J. W., ve Pıpkın, B. W., 1973, Engineering properties and distribution of the Portuguege Tuff near Lunada Bay, Palos Verdes Hills, California, in D. E. Moran et al., eds., Geology, Seismicity, and Environmentallmpact, s. 213-27. University Publishers, LosAngeles, Calif.

Campbell, R. H., 1975, Soil Slips, Debris Flow, and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California. U.S. GeoI. Survey Prof. Paper 851. 51s.

Canıtez, N., 1983. Levha Tektoniği, TUBİTAK-İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji-Jeofizik Lisansüstü Yazokulu, İstanbul, 798s.

Cannon, H.L. ve Hopps, H.C., 1970. Geochemical environment in relation to health and disease, Geological Society of America Special Paper, 140.

Cannon, H.L. ve Hopps, H.C., 1971. Environmental geochemistry in health and disease, Geological Society of America Memoir, 123.

Canter, L.W., 1977, Environmental Impact Assessment; McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 331s.

Cappabianca, F., Barbolini, M., Natale, L., 2008. Snow avalanche risk assessment and mapping: A new Method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform. Cold Regions Science and Technology, 54, 193-205.

Carr, J. E., Chase, E. B., Paulsun, R. W., ve Moody, D. W., 1990, National water summary, 1987-Hydrologic events and water supply and use:US Geological Survey Water- Supply paper 2350, 553s.

CBT, 2015, Türkiye' de nükleer enerjiye temel itirazlar. Cumhuriyet Bilim Teknoloji, sayı 1474, s. 18,

Ceyhan, M., 2015. Nükleer Güvenlik ve Nükleer Düzenleyici Sistem. Enerji ve Diplomasi Dergisi, 1, 4, 140-153.

CFR, 1990, Code of Federal Regulations No-40, Appendix IX: Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, Part 264, s. 302-308.

Chapman, P. J., 2008, Soil and the environment. In: Holden, J. (ed.), An Introduction Geography and the Environment, School of Geography, University of Leeds, 762s., 143-174. www.pearsoned.co.uk/holden.

Chumakov, N. M.,2001. General tendency of the Earth's climate changes during the past 3 billion years. Reports of the Russian Academy of Sciences, 381 (5), 652-655.

Chumakov,N. M., 2004. Glacial and interglacial climate in Precambrian. In:Climate during Global Biosphere Changes. Nauka, Moscow, 299 pp.

Cihangir, C. ve Poyraz, D., 1998. Land Degration in Thrace, International Symposium on Arid Region Soil, Menemen.

Coates, D. R., ed. 1973. Coastal geomorphology. Binghamton, New York: Publications in

Geomorphology, State University of New York.
Coch, N.K., ve Ludman, A., 1991, Physical Geology, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 678 s.
Cografyaharita.com, 2014, http://cografyaharita.com/haritalarim/4eturkiye-komur-santraller-haritasi.png
Colten, C.C., 1991. The Illinois Sanborn Geographic Information System, Proceedings, 34th Annual Meeting, Association of Engineering Geologists, Chicago, s. 287-295.
COM, 2002. Towards a thematic strategy for soil protection. Commission of the European Communities, Brussels.
Cox, C.B., 1985. The Buried Threat, California Senate Office of Research, No. 115-5, USA.
Cresser, M.S., Kilhma, K. ve Edwards, A.C., 1993. Soil chemistry and its applications. Cambridge University Press, Cambridge
Cumhuriyet Bilim Teknik, 2005, Tsunami: Cumhuriyet gazetesi Bilim ve Teknik dergisi, Sayı, 962, s.6.
Çakır, Ç., Yalçın, M., Özkan, Ö., Özdemir, L.B. ve Dölek E., 2013, Ulaşım Sektöründe Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulamaları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 341-349.
Çakmak, M., 2013, Termik santrallerde bilimsel destekli çevresel etki belirleme ve değerlendirmeler. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 279- 286.
Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (eds).
ÇED Yönetmeliği, 2008, 17 Temmuz 2008 tarih ve 26939 sayılı Resmî Gazete, Ankara.
ÇED Yönetmeliği, 2014, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği, 25.11.2014 tarihli ve 29186 Sayılı Resmî Gazete, ayrıca, 2016, 2017 ve 2019 tarihlerinde kısmen güncellenmiş hali.
ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
Çepel, N., 1997. Toprak Kirliliği, Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar, TEMA Vakfı Yayın No:14, İstanbul.
Çepel, N., 2000. Toprak ile Söyleyişi, TEMA Vakfı Yayın No:31, İstanbul.
Çepel, N., 2003. Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 180, Ankara.
Çevre ve Mühendis Dergisi,1999. Deprem Özel Sayısı , TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını, Ankara ,12s.
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı http://www.havaizleme.gov.tr/Services/AirQuality
Çığ grubu, 1999. Çığ el kitabı, TC. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara,117s.
Çoğulu, E., 1973. Petrografi ve Petroloji, Cilt, 1, Magmatizma, İTÜ, Müh.-Mim. Fak. yayın no.94.
ÇŞB, 2014. Ankara ili 2014 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 245 s.
ÇŞB, 2016. Ankara ili 2015 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 255 s.
ÇŞB, 2017. Ankara ili 2016 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Ankara, 160 s.
ÇŞB, 2017. Nükleer yakıt tesisleri. Çevresel etkiler ve alınacak önlemler kılavuzu – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 72 s.
ÇŞB, 2018. Türkiye Çevre sorunları ve öncelikleri değerlendirme raporu (2016 yılı verileriyle). Ankara, 139 s.
ÇŞB, 2019, Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatı. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 80 s.
ÇŞB, 2021, Zemin ve Temel Etüdü Uygulama Esasları ve Rapor Formatına Dair Tebliğde Değişiklik

Yapılmasına Dair Tebliğ de 17 Şubat 2021 tarihli 31 398 sayılı Resmî Gazete'

ÇŞB, 2017. ÇED alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi, Termik Santraller. https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiAj437xNDlAhUoxcQBHaZ8Cx8QFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwebdosya.csb.gov.tr%2Fdb%2Fced%2Ficerikler%2Ftermik-santraller-20180418123658.docx&usg=AOv-Vaw1Ajv1-sIrDFF_ye-LXL5Cd, (Erişim tarihi: 30.10.2019).

Davidson, J.P., Reed, W. E ve Davis, P.M., 1997, Exploring Earth: A introduction to Physical Geology, Prantice-Hall, Inc. New Jersey, USA, 477s.

Dede, N. Ö., 2006, Evrim Kuramı'nda sona doğru büyük adımlar: Cumhuriyet Bilim Teknik, 997, 12-15.

Deere, D.U ve Deere, D.W., 1988, The Rock Quality Designation (RQD) index in practice, In Rock Classification Systems for Engineering Purposes, L. Kirlaldie (ed) ASTM Publication STP 984, Philadel phia, 91-101

DEI ve BPC, 2002, Study of Potential Sites For the Deployment of New Nuclear Plants For the United States. Dominion Energy Inc (DEI) and Bechtel Power Corparation (BPC), USA

DEK TMK, 2010, Temiz Kömür Teknolojileri, DEK TMK (Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi) Mart 2010 Yayınları.

De Long, S.E., Dewey, J.F. ve Fox, P.S., 1977. Displacement history of oceanic fructure zones: Geology, 5, 199-202

Delwiche, C.C. ve Likens, G.E., 1977. Biological Response to Fossil Fuel Combustion Products, Stockholm, s. 73-88.

Demirbağ, N. Ş., 2019. İklim değişimi ve tarım. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Küresel İklim Değişikliğinin Yerküre'ye ve Ülkemize Etkileri Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 315-323.

Demirci, A. 2008, Öğretmenler için CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi): Fatih Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İstanbul, 379 s.

Demirel, N., 2011, Denizler arası yapay kanallar ve ekosistem. Bilim ve Gelecek, 88, 26-30.

Demirsoy, A. 1999, 4,5 milyar yıl önceden günümüze canlıların evrimi ve evrimi yönlendiren mekanizmalar. Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 375, 34-45.

Demirtaş, R., 1999. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi, Mavi Gezegen, Sayı1, sayfa 16-26,

Demirtaş, R., 2018, Değerli Meslektaşlar, Facebook mesajı, 24.03.2018.

Demirtaş, R. ve Erkmen, C., 2000, Deprem ve jeoloji: TMMOB jeoloji mühendisleri odası yayınları, no.52, Ankara, 390 s.

Detwyler, T.R., 1971. Man's Impact on Environment: McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 731 s.

Dewey J. F., Pitman, W. C., Ryan, W. B. F. ve Bonin, J., 1973. Plate Tectonics and Evolution of the Alpine System : Geol.Soc.of Amer. Bull. ,84, 3137- 3180.

Dewey, J.F. ve Kidd, W.S.F., 1977. Geometry of plate accretion: Geol. Soc. America Bull., 88, 960-968.

Dewey, J.F., 1972. Plate tectonics: Scientific American, 226, 56-66.

Dewey, J.F., 1975. Finite plate evolution: some implications for the evolution of rock masses at plate margins: Amer. Jour. Sci., 275-A, 260-284.

Dietz, R.S. ve Holden, J.C., 1970. The break up of Pangea, Sci. American Bull.

Dikmen, A. Ç., 2017. Kömür yakıtlı termik santrallerin çevreye olumsuz etkileri ve bu etkilerin bertarafı. Türkiye'de Termik Santraller 2017'de, TMMOB makine mühendisleri Odası, Oda raporu, yayın no: MMO/668 (470 s.), Ankara, 263-276.

https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyede-termik-santraller-2017-oda-raporu

Dirican, M., 1999. Deprem, Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, 382, 18-2.

Dizer, M., 1964. Astronomi (Liseler için), Milli Eğitim Bakanlığı Basımevi, Ankara.

Dokay, 2013, Kemah Barajı ve HES I ve II Projesi Nihai ÇED Raporu. Dokay ÇED Çevre Mühendisliği LTD. Şti., Ankara, 254s. (www.dokay.info.tr).

Dolan, R. 1973. Barrier islands: natural and controlled. In Coastal geomorphology, ed. D R. Coates, pp. 263-78. Binghampton, New York: Publications in Geomorphology, State University of New York.

Dott, R. H. ve Batten, R.L., 1971, Evolution of the Earth: Mc Graw-Hill Comp.,

Dönmez, H. ve Ercan, N., 2019, Kömür santralleri ve çevresel etkileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santraller Çalışma Grubu Oturumu, Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 89-123.

DSİ, 1994. Deriner Barajı ve HES Projesi Çevresel Etki Değerlendirme Raporu, TC Bayındırlık Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.

DSİ, 1996. Southeastern Anatolian Project (GAP). Devlet Su İşleri (DSİ) Teknoloji Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şübe Müdürlüğü, Ankara.

Dutton, C. E., 1889, On some of the greater problems of physical geology: Philos. Soc. Washington Bull.,11, 51-64.

Edelen, G. W., Ruggles, F.H. ve Cross, W. P., 1964, Floods at Zanesville, Ohio:US Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA- 46.

Ehlers, J., Gibbard, P.L. ve Hughes, P.D. 2011. Quaternary glaciations-Extent and Chronology, A Closer Look. In: Jaap, J.M., (Ed.), Developments in Quaternary Science, Vol. 15, Elsevier, Amsterdam, 1108 pp.

Ekmekçi, M. ve Yazıcıgil, H., 2016, Türkiye' de hidrojeolojik amaçlı sondaj kuyularından sağlıklı veri elde etme sorunu. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016-ODTÜ KKM, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s. 41-42.

El-ashry, M. T. 1971. Causes of recent increased erosion along United States shorelines. Geological Society of America Bulletin 82: 2033-38.

Emre, Ö., Özalp, S., Kondo, H., Kürçer, A. ve Elmacı, H., 2012, Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin orta ve doğu bölümünün paleosismolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 11569, Ankara, 66 s.

Englewood, C. NJ. ve Krauskopf, K. B., 1979, Introduction to Geochemistry, McGraw- Hill, Inc. New York, USA.

EPA, 1983. Interim Report on Data and Methods for Assessment of 2, 3, 7, 8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin Risk to Aquatic Life and Associated Wildlife, Duluth, Minn.: US Environmental Protection Agency (EPA), Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development.

EPA, 2015. Waste Classification, List of Waste and Determining if waste is Hazardous or Non-Hazardous, Valid from 1st June 2015, Environmental Protection Agency (EPA), USA, 55 s.

Ergene, A., 1987. Toprak Biliminin Esasları. 4.baskı, Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi yayınları no.635, Ziraat Fakültesi yayınları no.289, Ders Kitapları Serisi no.47, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 370s.

Erguvanlı, K., 1995, Mühendislik Jeolojisi; Dördüncü Baskı, Seç Yayın Dağıtım, Cemal Nadir Sok. Akşam İş hanı, 13/1, 34410, Cağaloğlu, İstanbul, 590 s.

Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., 1973. Yeraltısuları Jeolojisi: İTÜ, Sayı, 967; Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 340 s.

Erinç, S. 1952. Glacial evidences of the climatic variations in Turkey: Geografiska Annaler, 34, 89-¬98.

Erkan, Y., 1998. Magmatik Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, yayın no 28, Ankara, 2004s.

Erkan, Y., 1998. Metamorfik Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, yayın no 40, Ankara, 183s.

Erkan, Y., 1998. Sedimanter Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, yayın no 44, Ankara, 135s.

Ersoy, D., 2003, Volkanik Felaketler: Mavi Gezegen, Sayı 7, s.24-27.

Etter, H.J., 1998. Avalanche basics, determination of avalanche risks, (Çığ riskinin belirlenmesi ve çığdan kurtarma, ilkyardım semineri), Palandöken, Erzurum.

Feder, G.L., 1985. Environmental influence of selenium in waters of the western United States, US Geological Survey Annual Report, 5-8.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. Engineering Geology, 102, 3-4, 85-98.

Fenner, T.J., ve Vendi, M.A., 1992. Ground penetrating radar for hazardous waste site investigations, University of Edinburgh, Proceedings: Polluted and Marginal Lands Conference, UK, s. 107-114.

Fevzioğlu, Y., 2000, Doğal Felaketler, Pencere Yayınları, İstanbul, 144s.

Foley, D., McKenzie, G.D ve Utgard, R.O., 1993. Investigations in Environmental Geology, Macmillan Publishing Company, Newyork, USA, 304 s.

Foley, D., McKenzie, G.D ve Utgard, R.O., 1993. Investigations in Environmental Geology, Macmillan Publishing Company, Newyork, USA, 304 s.

Folk, L.R., 1968. Petrology of Sedimantary Rocks, Univ. of Texas, Department of Geology, 370K, USA, 383.

Forelich, A.J., Garnaas, A.D. ve Van Driel, J.N., 1979. Planning a new community in an urban setting: Lehigh, In U.S. Geological Survey Professional Paper 950, ss.69-68.

Gacal, F. 2019, Türkiye'de kömürlü termik santrallerin hava kirliliği emisyonları ve sağlık etkileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No; 142, Ankara, s. 136-140.

Galimov, E. M., 2001. The Phenomenon of Life: Between Equiiibrium and Linearity. Origin and Princıpies of Evolution. URSS Editorial, Moscow, 256 pp.

Gamlin, L., 1999, Evrim-Eyewitness Science Evolution: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 116, Başvuru Kitaplığı 3, (Çev. Aksu Bora), Ankara, 645.

Garczynski, B. J., Horgan, B., Kah, L. C., Balci, N., Gunes, Y., Williford, K. H., & Cloutis, E. A. (2020). Investigating the Origin of Carbonate Deposits in Jezero Crater: Mineralogy of a Fluviolacustrine Analog at Lake Salda, Turkey. 51st Lunar and Planetary Science Conference.

Gardner, G., 1996. Tarım Kaynaklarının Korunması, Dünyanın Durumu Raporu, TÜBİTAK-TEMA Yayını, Ankara.

Gautier, C., 2005, Petrol, Su ve İklim, TÜBİTAK, Ankara, 32 s.
http://www.epa.gov/climatechange/effects/downloads /potential_effects.pdf

Gedney. D. S., ve Weber, W. G., JR., 1978, Design and Construction of soit slopes, in R. L. Schuster and R. L. Krizek. eds.. Landslides-Analysis and Control, s. 155-172. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Geological Society Engineening Group Working Party, 1972, The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Q. J., Eng. Geol., 5(4), 295-381.

Gerhard, L. C., Harrison, W. E., and Handon, B. M., 2001. Introduction and overview. In: L. C. Gerhard, W. E. Harrison, and B. M. Hanson (Eds). Geo logical Perspective of Global Ciimate Change. AAPG Studies in Geology, 47, 3-15.

Ghazifard, A., Nikoobakht, S., Azarafza, M. 2018, Municipal Waste Landfill Site Selection based on Environmental, Geological and Geotechnical Multi-criteria: A Case Study. Iranian Journal of Environmental Technology 2/3, 49-67.

Gilluly-Waters-Woodford, 1968, Principles of Geology, 3th edition, Freeman.

Glaessner, M. F. 1971, Geographic distribution and time range of the Ediacara-Precambrian fauna. Geol. Soc. Amer. Bull. 82,

Godfrey, P. J. ve Godfrey, M. M. 1973. Comparasion of ecological and geomorphic interactions between altered and unaltered barrier island system in North Carolina. In Coastal geomorphology, ed. D. R. Coates, pp. 239-58. Binghampton, New York: Publications in Geomorphology, State University of New York.

Gore, A., 1993. Küresel Denge, Ekoloji ve İnsan Ruhu. Promat Basın ve Yayın San. Ve Tic. A.Ş., Sabah Yayınları, İstanbul, 368s.

Gowing, G., 2003. Salinisation – one of our biggest environmental problems: http://www.amonline.net.au/factsheets/ salinisation.htm

Greenpeace, 2020, Afşin-Elbistan kömürlü termik santrallerinin Ekim-Kasım 2020 tarihli hava kalitesi ölçüm raporu. Greenpeace Akdeniz ve Barem Çevre Laboratuvarı, Şişli-İstanbul, 26 s.

Gökeri, G., 2019. Nükleer santraller için yer seçiminde acil durum planlarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 233-240.

Gökmen, İ., 1969. Astronomi (Liseler için), 4.Baskı, Kurtuluş Matbaası, Ankara.

Görçelioğlu, E., 2003. Sel ve Çığ Kontrolü: İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın no 4415 / 473, İstanbul, 384s.

Gören, A., 2001, Yaşamın kökeni hakkında yeni bir yaklaşım: Bilinçli Tasarım: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 408, 44-45.

Greschik, G. ve Galos, M., 1998, Environmental Geotechnics-An Overview : Environmental Geology, 35(1), 28-36.

Gretsky, P., Barbour, R. ve Asimenios, G.S., 1990. Geophysics, pit surveys reduce uncertainty: Pollution Enginering, vol. 22, s. 102-108.

Grimstad, E. ve Barton, N., 1993, Updating the Q System for NMT. Proc.Int. Symp. On Sprayed Concrete Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, Kompen, Opsahl and Berg (eds). Vorwegian Concrete Assoc., Oslo.

Gros, D.L., 1970. Geology for planning in De Kalb Country, Environmental Geology Notes, no.33, Illinois State Geological Survey, Illinois.

Güleç, E. ve Kaya, F., 2007, 'İnsan' Nasıl 'İnsan' Oldu? TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 2007/2, s.62-75.

Güler, Ç., 2002. İklim değişikliği ve sağlık, Hacettepe Tıp Dergisi, 33/1, 34-39.

Güler, Ç., 2019. İklim değişikliği ve sağlık. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Küresel İklim Değişikliğinin Yerküre'ye ve Ülkemize Etkileri Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 325-339.

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1999, Çevre Sağlığı Boyutlarıyla Habitat II ve Kent Çevresi: Sağlık Bakanlığı, Çevre Sağlığı Temel Kaynaklar Dizisi No:42, Ankara, 97s.

Gümgüm, B., 1999, GAP Yöresindeki Çevre Sorunları ve ÇED: GAP Yöresinde ÇED Eğitimi, Türkiye Çevre Vakfı Yayını No:140, Ankara, s:69-76 İnternet

Günce, 2004, Türkiye Bilimler Akademisi, Nisan 2004, Sayı 29'un kapağından, Ankara.

Gündoğdu, O., 2020., Yeniden 17 Ağustos depremini anımsarken. Bir gün Pazar eki, 16 Ağustos 2020 PAZAR, no 701, s. 8 (https://www.birgun.net/haber/yeniden-17-agustos-depremini-animsarken-312119).

Gürdilek, R., 2001, Evrim tartışmaları; Evrim rastlantı değil ki. Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 408, 42-43.

Güven, M. S., 2013, Çevresel etki değerlendirmesinde CBS'nin yeri ve örnek uygulamalar. Uluslararası ÇED Kongresi, Bildiriler Kitabı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 8-10 Kasım 2013, İstanbul Kongre Merkezi, s. 455-464.

Hacaloğlu, M., 2018. Sürdürülebilir, adil ve ulaşılabilir ulusal bir gıda politikası için düşünceler. BİRGÜN PAZAR Eki, s.607, s.8-9.

Haktanır, K., 1995. 'Toprak' Türkiye' nin Çevre Sorunları. Türkiye Çevre Vakfı yayını, Ankara, s. 303-363.

Hamblin, W.K., 1982, The Earth Dynamic Systems, third edition, Burgass Publishing Company, Minesota, USA, 529 s.

Hansen, J.E. ve Sato, M., 2012. Paleoclimate implications for human-made climate change. In Climate change (pp. 21-47). Springer, Vienna.

Hasan, S.E., 1994. Use of soil survey reports in geotecnical projects: Bulletin of the Association of Enginering Geologists, vol. 32, no. 2, s. 367-376.

Hasan, S.E., 1996. Geology and Hazardous Waste Management, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 387 s.

Hasan, S.E., Moberly, R.L. ve Caoile, J.A., 1988. Geology of Greater Kansas City, Missouri and Kansas, United States of America: Bulletion of the Associaation of Engineering Geologists, vol. 25, no. 3, s. 322-323.

Hatheway, A.W., 1992. Perspectives Number 13, Don't Forget the Sanborn Maps, carefully and artfully-compiled historic plat maps of America's cities, 1867-1992: AEG News, v. 35, no. 4, s. 25-27.

Hausman, MR., 1990, Engineering principles of ground modification. McGraw-Hill, New-York.

Hawking, S., 2005, A Breafer History of Time (Zamanın Daha Kısa Tarihi: Çev. Selma Öğünç): Doğan Kitapçılık A.Ş., Şişli-İstanbul, 125 s.

HEAL, 2015, "Ödenmeyen Sağlık Faturası", https://www.env-health.org/unpaid-health-bill-how-coal-powerplants-make-us-sick/

Heron, P., 2016, Plate tectonics: new findings fill out the 50-year-old theory that explains Earth's landmasses (https://theconversation.com/plate-tectonics-new-findings-fill-out-the-50-year-old-theory-that-explains-earths-landmasses-55424 (17 Ekim 2018, saat 16.10).

Hertsgaard, M, 2001. Yeryüzü Gezgini, Çevresel Geleceğimizin Peşinde Dünya Turu, TEMA Vakfı Yayın No:34, Çev. Emel Anıl, İstanbul.

Hess, H.H., History of Ocean Basins: Petrologic Studies: A volume to honor, A.F. Buddington, Geol. Soc. America, 599-620.

Higgins., R.A., 1976, Engineering Metallurgy: Hodder and Stoughton, Londra, 467 s.

Hills, E.S., 1963. Elements of Structura Geology. Methuen Co. Ltd. London.

Hoek, E. ve Brown, E.T., 1980, Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metellutgy, London, 527s.

Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P. ve Schrag, D.P. 1998. A Neoproterozoic Snowball Earth, Science, 281 (5381), 1342-1346.

Hohenemser, C., Kates, R. W., and Slovic, P., 1983, The nature of technological hazard:Science, v. 220, pp. 378-84.

Holland, H. D., 1984, The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans, Princeton University Pres, USA.

Holmes, A., 1965. Principles of Physical Geology. Thomas Nelson, London.

Hong, Ye, Zhang Wen-yu, Yu Zhi-shui ve Xia Qin, 1981. The seismicity and recent crustal movement in the Himalayan region, In proceedings of symposium on Qinghai-Xiang (Tibet) plateau, Academia Sinica, 65-80.

Horton R, 1996. The infected metropolis. Lancet 347:134-135.

http://80.251.40.59/ankara.edu.tr/v.isik/3_EarthSystemScience_Atmosfer_Biosfer_Hidrosfer_Jeosfer.pdf (07 Mart 2019, saat 11.00).
http://cografyaharita.com/haritalarim/4eturkiye-termik-santraller-haritasi.png: Erişim 24 Kasım 2020

http://geology.SO megs.com/geopro/volc1/volc1.html

http://sfk.gfzpotsdam.de/images/atmosphere.gif
http://v3.arkitera.com/
http:// volkanoes.usgs.gov/

http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex890?opendocument
http://www.anadolugazetesi.com/eskisehir-e-komurlu-termik-santral-gelmeden--kirliligi-geldi----108874.html

http://www.bugday.org/blog/hastalikli-bir-gezegende-saglikli-kalmak/ (Published on 12 Nisan 2020 under E-bulten).
http:// www.burtenshaws.co.uk/tim/geography/m 1.PDF

http://www.diken.com.tr/arka-bahcenizde-termik-santral-hayal-edin-catalagzina-hosgeldiniz/

http://www.eclipse2006.boun.edu.tr/eclipse99/Turpage/gunes.html (11 Aralık 2021).
http://www.habercizgi.com/index.php/2020/01/01/nukleer-enerji-nedir/ (15 Kasım 2020).
http://www.iha.com.tr/etiket-kati-atik, Erişim tarihi: 03.10.2017
http://www.mfa.gov.tr/tehlikeli-atiklar-ve-cevre.tr.mfa Erişim tarihi: 02.10.2017
http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/2012-yagisdegerlendirmesi).
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12619: Erişim 05 Eylül 2019

http://www.sakarya.bel.tr, Erişim tarihi: 03.10.2017
http://www.sustainable.doe.gov/freshstart/articles/ptipub.htm
http://www.tuik.gov.tr/ Erişim tarihi: 09.10.2017
http://www.usgbc.org/leed
https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf (03. 11. 2020). Advances In Small Modular Reactor Technology Developments, 2020 Edition, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), http://aris.iaea.org
https://evrimagaci.org/gunesin-evrimi-gunes-nasil-var-oldu-nasil-yok-olacak-8400 (21 Mart 2021, saat 19.05).
https://evrimagaci.org/elementlerin-resimli-periyodik-tablosu-2753 (04 Eylül 2022).

https://khosann.com/cernobil-nukleer-reaktoru-neden-patladi/ (14 Kasım 2020).

https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/QgrcJHsBmtGfBmfsKrtHclKljTrXTCTBTZb (06 Kasım 2020, 23.00).
https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm&ogbl#inbox/FMfcgxwKjTRzpTrzVzVFZbPGZbGBgplc (15 Kasım 2020).
https://odatv4.com/binlercesi-oldu-geriye-kalani-can-cekisiyor-23082011.html (23.08.2020 12:11).

https://onedio.com/haber/nasa-nin-mars-tan-yayinladigi-yeni-yuksek-cozunurluklu-fotograflar-mizahsorlerin-diline-dolandi-968484 (11 Aralık 2021).
https://t24.com.tr/yazarlar/gunec-kiyak/evrenin-kenarinda-kara-akim-gizemi,34102 (06 Şubat 2022).
https://tr.pinterest.com/pin/142918988164059913/ (Erişim: 03 Kasım 2020).

https://tr.pinterest.com/pin/21462535711457440/?utm_campaign=category_pp&e_t=2be46007f6c44f6a6fd86cc9f5bb870&utm_content=21462535711457440&utm_source=31&utm_term=5&utm_medium=2012(28 (28 Şubat 2019, saat 09.50).
https://tr.pinterest.com/pin/756252962419494176/ (06 Ekim 2020, saat 07)
https://tr.wikipedia.org/wiki/Halley_kuyruklu_y%C4%B1ld%C4%B1z%C4%B1 (25 Ocak 2023).
https://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrosfer (Erişim: 25 Ocak 2023).
https://www.ab.gov.tr/92.html (Erişim: 20.10.2017)
https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-56673648 (Erişim 8 Nisan 2021; saat 10.00).
https://www.bilgiustam.com/nukleer-santraller-nasil-calisir-problemleri-nelerdir/ (14 Kasım 2020)
https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/82-haberler/yazar-za/1539-su-ayak-izi-ve-surdurulebilirlik (22 Şubat, 2021).
https://www.cografyaci.gen.tr/wp-content/uploads/2018/10/Harita-1.5.25-T%C3%BCrkiye%E2%80%99de-ya%C4%9F%C4%B1%C5%9F-da%C4%9F%C4%B1l%C4%B1%C5%9F%C4%B1-www.mgm_.gov_.tr_.png
https://www.cografyabilimi.gen.tr/turkiyede-su-baskinlari-sel-taskinlar/(20 Temmuz 2029, saat 10.30).
https://www.cumhuriyet.com.tr/haber/nukleerde-skandal-sinopta-yapilacak-santral-icin-hazirlanan-ced-raporu-olmayan-sozlesmeye-dayandirildi-1791043 (15 Kasım 2020).
https://www.cumhuriyet.com.tr/yazarlar/olaylar-ve-gorusler/2021-rize-taskini-ve-alinmasi-gereken-onlemler-1854378 (22 Temmuz 2021 Perşembe).
https://www.facebook.com/100554662422908/photos/a.122843610194013/122843426860698/ (27 Kasım 2021).
https://www.facebook.com/groups/geologyandgeologists/?multi_permalinks=7065738560110693 (27 Kasım 2021).
https://www.dogadergisi.com/turkiye-uranyum-rezervleri/ (15 Kasım 2020).
https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/nukleer-8220;alternatif8221;-mi/4173#ad-image-0 (Erişim, 26 Mart 2019).
https://www.fikir.gen.tr/sel-ve-taskin-olaylari-turkiyeda-sel-ve-taskin-olaylari/(20 Temmuz 2019, saat 9.30).
https://www.gezegenikesfet.com/2019/10/mimar-sinanin-bas-yapiti-maglova-kemeri.html (27.05.2022 10.45).
https://www.haber7.com/teknoloji/haber/3030750-ingiltere-nukleer-fuzyonla-ilk-plazmayi-uretti/?detay=1 (05.11.2020 09:25).
https://www.haberler.com/haberler/canakkale-koprusu-kac-yil-isletilecek-canakkale-14826582-haberi/ Güncelleme tarihi: 28 Mart 2022 18:42
https://www.haberturk.com/afad-a-gore-deprem-cantasinda-bulundurulmasi-gerekenler-2525716 (27 Eylül 2019, saat 10.15)
https://www.haberturk.com/duzce-ve-eregli-felaketi-yasadi-2505607 (20 Temmuz 2019, saat 09.25).
https://www.haberturk.com/o-bolgede-sicakliklar-son-1000-yilin-en-ust-seviyesine-ulasti-557495?Page=4 (Erişim: 19.01.2023- 07:47).
https://www.hurriyet.com.tr/gundem/son-dakika-istanbul-havalimani-metrosu-aciliyor-cumhurbaskani-erdogandan-onemli-mesajlar-42208017 (Güncelleme Tarihi: Ocak 22, 2023 19:30).
https://www.hurriyet.com.tr/yerel-haberler/ankara/bugun-hizmete-acilacak-41812983 (18 Mayıs 2021, saat 14.15).
https://www.indyturk.com/node/360421/bi%CC%87li%CC%87m/%C3%A7inin-g%C3%BCne%C5%9Fe-do%C4%9Fru-yol-alan-uzay-arac%C4%B1-d%C3%BCnya-ve-ay%C4%B1n-%C3%BCrk%C3%BCt%C3%BCc%C3%BC-g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BCs%C3%BCn%C3%BC (17 Mayıs 2021 11:03).
https://www.internethaber.com/duzcede-son-durum-son-yillarin-en-buyuk-sel-felaketinden-dehset-goruntuler-foto-galerisi-2037606.htm (20 Temmuz 2019, saat 09.45).
https://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=15147&tipi=17&sube=0&fbclid=IwAR0tEwg8oOKzxG4trqr7miNaBP_RXI5p-moq0Yq1KElLXmY7_WCU6hAXLvI

https://www.milliyet.com.tr/galeri/duzcede-hamile-ve-engelli-kamu-calisanlari-izinli-mi-tatil-mi-valilikten-aciklama-6861501/1 (Son Güncelleme: 23 Kasım 2022- 01:02).

https://www.ntv.com.tr/galeri/dunya/cernobili-adim-adim-gezebilirsiniz,y4_FIV6o-Ea_SSiSU_tVlQ (14 Kasım 2020)

https://www.popularmechanics.com/science/a34431835/nuscale-small-modular-reactors-government-grant/ (21 Ekim 2020).

https://www.sciencealert.com/record-smashing-heatwaves-are-hitting-antarctica-and-the-arctic-at-the-same-time?utm_source=ScienceAlert+-+Daily+Email+Updates&utm_campaign=1b1737cb58-MAILCHIMP_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_fe5632fb09-1b1737cb58-366039650 (23 MARCH 2022).

https://www.sozcu.com.tr/2017/ekonomi/turkiyenin-nukleer-santral-haritasi-1928257/

https://www.structuremag.org/?p=8763#:~:text=The%20Earthquake%20Shaking%20Force%20is,for%20designing%20buildings%20and%20structures (08 Şubat 2023, 10.00).

https://www.suyapi.com.tr/tr/38044/Yusufeli-Baraji-ve-HES#:~:text (Erişim 22 Kasım 2022):

https://www.tarihistan.org/maglova-kemeri-nin-tum-ayaklari-ortaya-cikti/20682/ (27.05.10.50).

https://www.trthaber.com/haber/gundem/1915-canakkale-koprusu-dunya-basininda-yuksekligi-eyfeli-gecti-613901.html Güncelleme tarihi: Mart 18, 2022 18:02

https://www.webtekno.com/james-webb-teleskobu-jupiter-fotografi-h127123.html (30.08.2022 07:40)

https://www.youtube.com

https://yandex.com.tr

https://yesilgazete.org/gezegen-isindikca-volkanik-patlamalarda-artisa-hazir-olun/ (21 Aralık 2017).

https://yesilgazete.org/ipccnin-yeni-yayimlanan-iklim-degisikliginin-etkileri-uyum-ve-etkilenebilirlik-raporu-bize-neler-soyluyor/ (28 Mart 2022).

Hughes, P.D. ve Woodwards, J.C. 2008. Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage. Journal of Quaternary Science. 23, 575-588.

Hughes, P.D. ve Woodwards, J.C. 2008. Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage. Journal of Quaternary Science. 23, 575-588.

Hunt, R.E.,1984, Geotechnical Engineering Investigation Mannel. Mc Graw Hill Book Comp., USA,983s.

Hurlbut, Jr. C.s., 1970. Dana's Manual of Minerology, 18.Baskı, John Wiley and Sons, Inc., Tokyo, Japan.

Hyndman, D.W., 1972. Petrology of igneous and metamorphic rocks, McGraw-Hill Book Company, New York USA, 533s.

IAEA, 2002, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclaer Power Plants, International Atomic Energy Agency (IAEA).

IAEA, 2015, Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, International Atomic Energy Agency (IAEA), Specific Safety Guide, No. SSG-35.

IAEG-Comission on Engineering Mapping, 1981, Rocks and soil descriptions and classification for engineering mapping. Eng. Geol., 24, 235-274.

Ibrahim, S., 2020., Environmental Geology: Groundwater pollution and Wetlands. www.researchgate.com. Erişim: 17 Ocak 2023.

Ilaiwi, M., Abdelgawad, G. ve Jabour, E., 1992. Syria: human induced soil degradation. In: UNEP world atlas of desertification. Edward Arnold, London, 43–45.

Inhaber, Herbert, 1979, Risk with energy from conventional and nonconventional sources: Science, v. 203, pp. 718-23.

IPCC, 1995. Climate Change: The Science of Climate Change; J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A.

Callander, N. Haris, A. Kattenberg and K. Maskell (Eds); (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) Cambridge University Pres), Cambridge.
IPCC, 2011, IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. vonStechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp. (Chapter 5 & 9).
IPPC, 2022. Climate Change 2022 (IPPC-Intergovernmental Panel on Climate Change), Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers, Switzerland, 40s.
Islam, M. A. 1974. Tropical cyclones: coastal Bangladesh. In Natural hazards: local, national, global, ed. G. F. White, pp. 19-25. New York: Oxford University Press.
ISRM., 1981, Rock characterization testing and monitoring: I.S.R.M. suggested methods, editör: E. T. Brown. Pergamon Press, 211 s.
İBB, 1999. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, 1999. Deprem Zararlarından Korunmak İçin Yapabileceklerimiz, İstanbul, 8s.

İleri, S., 1978. Zeolitler: Türkiye Jeoloji Kurumu, Yeryuvarı ve İnsan, 3/1, Ankara, 40-44.

İlgüz, N., 1964. Tatbiki Optik Mineraloji, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi yayınları, Um. 100-Jeoloji.2, Kurtulmuş Matbaası, İstanbul, 194s.

İnan, N., 2006, İnsanın doğuşu: Şenlik ve Toplu yok olmalar: Konferans notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mavi Salon, Sivas.
İpek, N., 2006, Elektromanyetik Kirlilik, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 44/429, 46-49.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, 1999. Deprem Zararlarından Korunmak İçin Yapabileceklerimiz, İstanbul, 8s.

İTÜ, 2019. Kamuoyu açıklaması, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), 26.09.2019.
Jahns, R.H., 1978, Landslides, in National 'Research Council Geophysics Study Committee,

Geophysical Predictions, s. 58-65. National Academy of Sciences, Washington. D.C.

Jahns, R. H., ve Vonder, L, K., 1973, Space-time relationship of landsliding on the southerly side of the Palos Verdes HiIIs, California, in Douglas E. Moran et al., eds.,Geology, Seismicity, and Environmental Impact, s. 97-132. University Publishers, Los Angeles, Calif.

Jaszczur, M., Rosen, M. A., Sliwa, T., Dudek, M., ve Pieńkowski, L., 2015, Hydrogen Production Using High temperature Nuclear Reactors: Efficiency Analysis of A Combined Cycle. 6th International Conference on Hydrogen Production, May 3-6, 2015, UOIT—Oshawa, Ontario, Canada, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.11.190.
JMO, 2001, Jeolojik Zaman; Mavi Gezegen, Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Popüler Yerbilim Dergisi, Ankara, s, 80.
JMO, 2018, TMMOB Jeoloji mühendisleri Odası tarafından 14 Haziran 2018 tarihinde yapılan basın açıklanması, İzmir, 2 s.

JMO, 2018, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası uyardı: Hızlı tren güzergahındaki viyadük aktif fay hattı üzerine inşa ediliyor (http://sendika62.org/2018/10/tmmob-jeoloji-muhendisleri-odasi-uyardi-hizli-tren-guzergahindaki-viyaduk-aktif-fay-hatti-uzerine-insa-ediliyor-515466/)(28 Ekim 2018, saat 21.00).
JMO, 2019, II. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Yayın No; 142, Ankara, 354 s.
JMO, 2021, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Ankara, 17 s.
JMO, 2021, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile uyumlu SPT-N düzeltmesine ilişkin Hesap Cetveli Kullanım Kılavuzu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), Ankara, 17 s.
JMO, 2021. Basına ve kamuoyuna: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı eliyle ülkemiz her gün yeni bir çevre felaketi ile karşı karşıya bırakılıyor, Ankara, 6 s.

JMO, 2021a, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği -2018 İle Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi ve Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanal Deformasyon, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesap Cetveli Kullanım Klavuzu", Ankara, 38 s.
JMO, 2021b, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 ile Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi ve Sıvılaşma Sonrası Oturma, Yanal Deformasyon, Kayma Dayanımı Kaybı ve Kapak Tabakası Etkisi Hesap Cetveli (v 2-2021), Ankara, 2 s.
Johnson, E.D., 2001, Moon formed from older Earth?, Geotimes, October 2001, 6.
Kadıoğlu, M., 1993. GAP bölgesinde beklenen iklim değişiklikleri. TMMOB GAP'ta Teknik Hizmetler Sempozyomu, 10-12 Kasım 1993, Ankara, s. 327-343.

Kadıoğlu, M.,1998, Sel ve Meteorolojik Uyarılar: Meteoroloji Mühendisliği Dergisi, No 4.
Kadıoğlu, M., 2007. Küresel İklim Değişimi ve Türkiye. Güncel Yayıncılık:110, İstanbul, 382s.

Kakaç, S., 2005, Küresel Isınma ve Nükleer Enerji: Günce, Türkiye Bilimler Akademisi Yayını, 32, 11-13.
Karaesman, E. 2002, Türkiye Penceresinden Deprem Olayı: Türkiye Mütahitler Birliği Yayını, Ankara, 106 s.
Karagüzel, R., Mutlutürk, M., 2005, Katı Atık Depolamada Yer Seçimi: Isparta Örneği, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, s. 21 (19-33).
Karagüzel, R., Özçelik, H., Mutlutürk, M., Güldal, V., Tokgözlü, A., Beyhan, M., vd., 2003. Investigation report on site selection and environmental impact for solid waste of Manavgat–Antalya Municipality, Suleyman Demirel University, Turkey, unpublished report (pp 134).
Karaman, E., 2006, Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, 3. Baskı, Devran Matbaacılık, Necatibey Cad. 31/ D, Ankara.

Karaman, M.E., 1987. Temel Jeolojik Harita Bilgisi ve Uygulamaları, Şafak Matbaası, Ankara, 251 s.

Karancı, A.N., 2003, Depremlerle Başa Çıkmak ve Psikoloji: Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, 7, 4-7.

Karavayeva, N.A., Nefedova, T.G. ve Targulian, V.O., 1991. Historical land use changes and soil degradation on the Russian Plain.
Kasting, J.F., Toon, O.B ve Pollack, J.B, 1988. How Climate Evolved on the Terrestrial Planets, Scientific American, 258 (2), 90-97.
Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 05.04.2005 tarih ve 25777 sayılı Resmî Gazete, Ankara.
Kaya, O., 2003, Uygulamalı Stratigrafi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:72, Ankara, 150s.
Keefer, D. K., ve Johnson, A. M., 1983, Earth Flows: Morphology, Mobilization, and Movement. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1264. 56 s.

Keigwin, L. D., 1996. The little ice age and medieval warm period in the Sargasso Sea. Science, 274, 1504-1508.
Keller, E.A., 1979. Enviromental Geology, Second Edition: Charles E. Merril Publishing Company, A. Bell ve Howell Company, Glumbus, Ohio 43216, USA, s.548.
Kellermeyer, D. A., 1980, Climate and energy: a comparative assessment of the Satellite Power System (SPS) and alternative energy technologies. http://adsabs.harvard.edu/abs/1980STIN.8030914K; 1980 [accessed March 2009].
Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.
Ketin, İ. ve Canıtez, N.İ 1972. Yapısal Jeoloji, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 508 s.
Kırımhan, S., 1993, 'Türkiye'de GAP'ın çevre yönü ile ilgili çalışmalara genel bakış' GAP ve Çevre. Türkiye Çevre Vakfı yayını, Ankara, 29- 44.

Kırkayak, Y., 2021. Salda gölü Mars gezegenini keşfetme ve anlama görevinde ilham kaynağı oldu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, no 143, Ankara, 22 s.

Kidd, R.G.W., 1977. A model for the process of formation of the upper oceanic crust: Geophysics J.R. Astr. Soc., 50, 149-183.

King, H.C., 1966. Book of Astronomy. Collins, London and Glagow.
Kiper, A. B. ve Buldağ, T. Ö., 2016, Ulusal Sondaj Veri Tabanı Projesi. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016-ODTÜ, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s. 49-50.
Kmet, J. ve Mahboui, E., 1972, Esophageal Cancer inthe Caspian Littoral of İran, Science, vol. 175, s.846-853.
Knödel, K., Lange, G. Ve Voigt, H. J., 2007, Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies. Springer Berlin Heidelberg New York, USA, 1357s.

Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, Sh. and Kuloshvili, S., 2001, Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implications for transition from thrusting to strike-slip faulting: Geodinamica acta, 14, 177-195.

Kolymbas, D., 2005, Tunneling and Tunnel Mechanics, Springer, Germany, 437s.

Komar, P. D. 1976. Beach processes and sedimentation. New Jersey: Prentice-Hall.

Kormondy, E.J., 1966. Concepts of Ecology. Fourth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 559s.

Kömürün Gerçek Bedeli – Muğla Raporu, 2019, http://komurungercekbedeli.org/ Climate Action Network Europe ve paydaş organizasyonlar tarafından Temmuz 2019'da İstanbul'da yayınlandı.
Köroğlu, M. S., 2014. Toprak Oluşumu. http://www.cografya.biz/'den.

Krynine, D.P. ve Judd, W.R., 1957. Principles of Engineering Geology and Geotechnics. McGraw-Hill Comp. Inc., New York, USA, 730s.

Kusznir, N.J. ve Bot, M.H.P., 1976. A thermal study of oceanic crust: Geophysics J.R. Astr. Soc., 47, 83-95.

Laird, R. T., et al., 1979, Quantitative Land-Capability Analysis. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 945. 115 pp.
Lamb, H.H., 1972. The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. Climate: present, past and future. London: Methuen. p. 107.
Lambert, G., 1987. La Recherche: 18, s.782-783.
Larsen, J. I. 1973. Geology for planning in Lake Coumy Illinois. Illinois State Geological Survey Circular 481.

Le Pichon, X., 1968. Sea-floor spreading and continerntal drift: Jour.Geophysics Res., 73, 3661-3697.

Lean, G., 1995. Down to Earth, Centre for Our Commen Future, TEMA Vakfı Yayın No:9, İstanbul.

Leopold, L.B., 1969. Quntative comparison of some aesthetic factors among rivers. U.S. Geological Survey Circular, 620.

Lerman, A., 1990. Weathering and Erosional Controls of Geologic Cycles, Chenical Geology, 84, 13-14.
Lewin, R., 1998, Modern insanın kökeni (The origin of modern human 1993'den Çeviren Nazım Özüaydın) TUBİTAK popüler bilim kitapları dizisi, Ankara, 246s.
Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J. S. and Johnson, N.M., 1977. The Biogeochemistry of a Forested Ecosystem, Springer-Verlag, New York.
Linton, D.L., 1968. The assessment of scenery as a natural resource, Scottish Geographical Magazine 84, 219-38.
Liu, H-C., You, J-X., Chen, Y-Z., Fan, X-Z., 2014. Site selection in municipal solid waste management with extended Victor Method under fuzzy environment. Environ. Earth Sci., 72: 4179-4189.
Lovelock, J. 1987, Gaia: a New Look at Life on Earth, Oxford and New York, Oxford Universty Pres, USA.

Lowdermilk, W.C., 1994. Toprağın 7000 Yıllık Öyküsü, TEMA Vakfı Yayın No:22, Çev. A. Atay, İstanbul.

Lundgren, L., 1986. Environmental Geology: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, USA, 576 s.

Lyon, J.G., 1982. Use of aerial photograpy and remote sensing in the management of hazardous wastes, in T.L. Sweeney, H.G. Bhatt, R.M. Sykes, and O.J. Sproul, eds., Hazardous Waste Management for the 80s: Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science, s. 163-171.

Mason, B. ve Moore, C. B., 1982, Principles of Geochemistry, John Willey and Sons, New York, USA.

Mavi Gezegen, 2002. Jeoloji, Çevre ve Sağlık, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, sayı 6., Ankara.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1974. Jeoloji Haritaları İçin Teknik Standartlar, Yayın No.152, Ankara, 40 s.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1977. Büyük Dünya Atlası, MTA Yayını, 1. Baskı, Ankara, 267 s.

Maga, M. 1999, Dört ayaktan iki ayağa… İnsanın Evrimi: Bilim ve Teknik, Aylık popüler bilim dergisi, TÜBİTAK yayını, 375, 48-51.

Magar, K.,1998, Geoenvironmental protection today, A challange for engineering geology, 8. Uluslar arası AEG Kongresi, 1998, Kanada, 4, 2279-2285.

Mark, R. H., and Stuart-Alexander, D. E., 1977, Disaster as a necessary part of benefit-cost analysis: Science, v. 197, pp. 1160-62.

May, M. E., Dlala, M. ve Chenini, İ., 2010. Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning. Engineering Geology, 116/129–138.

Mc Cain, J. F., Hoxit, L. R., Maddox, R. A., Chappell, C. F., ve Caracena, F., 1979, Storm and flood of July 31- August 1, 1976, in Big Thompson River, Colorado, US Geological Survey Professional Paper 1115, s.1-85.

Mc Clung, D.M., Jamieson, B., Stethem, C., Schaere, P.A., 2002, "Guidelines and Standards For Avalanche Risk and Hazard Mapping For Canada", Canadian Avalanche Association, Revelstoke, B.C., National Search and Rescue Secretariat, Ottawa, Ontario.

Mc Kenzie, D. P., 1972. Active Tectonics of Mediterranean region, Geophys. J.Roy. Astr. Soc. ,30 ,109-185.

Mc Kenzie, D.P. ve Morgan, W.J., 1969. Evolution of triple junctions: Nature, 224, 125-133.

Mc Kenzie, D.P. ve Parker, R.L., 1967. The North Pacific: an example of tectonics on a sphere: Nature, 216, 1276-1280.

Mc Kinney, M.L., Schoch, R.M. ve Yonnavjak, L., 2007, Environmental Science, Systems and Solutions, Forth Edition, Jones and Bartlett Publishers, Boston, USA, 642 s.

Mekonnen, M. M. ve Hoekstra, A. Y., 2011, The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 1577–1600, doi:10.5194/hess-15-1577- 2011,

Melhorn, W.N., Keller, E.A. ve McBane, R.A., 1975. Landscape aesthetics numerically defined (land system): application to fluvial environments: Purdue University Water Resources Research Contel Technical Report, No.37.

Meydan-Larousse, 1969. "Toprak"

Meyen, S. V., 1971. The contemporary paleobotanics and the theory of evolution.Priroda, 2, 48-57.

Meyen, S. V., 1981. The Traces of Indian Grasses. Mysl', Moscow, 159 pp.

MISIR, 1984. Organisation and methods of the 1:250 000 Soil Survey of Scotland. The Macaulay Institute for Soil Research, Aberdeen.

Miller, S.,1959. Formation of organic compounds on the primitive Earth. In: The Origin of Life on Earth. Pergamon Press, London, pp. 123-135.

Mintz, L. W., 1972, Historical Geology; The science of a dynamic earth. Ch. E. Merill, Ohio, USA.

MMO, 2017, Türkiye'de Termik Santraller, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Oda Raporu, Yayın no, 668, Ankara, 470 s.

Molnar, P., Chen, W.P., Fitch, T.J., Topponier, P., Wars, W.E.K. and Wu, F.T., 1967. Structure and tectonics of the Himalayas: a brief summary of relevant geophysical observations, Coll. Int. CNRS, No.268, Ecol. et. Geol. de Himalaya: 269-294.

Montgomery, C.W., 1995. Environmental Geology, Medical Geology, Chapter 20, Printed in USA by Wm C. Brown Communications, Inc. USA, 496 s.

Moore, P., 2004, Gezegenler Klavuzu (New Guide to The Planets, 1993'ten Çeviri: Özlem Özbal, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 22), 14. Basım, Kalkan Matbaacılık, Ankara, 260s.

Morgan, R.P.C. (ed.), 1986. Soil erosion and conservation. Longman, Harlow.

Morgenstern, N. R., ve Sangrey, D. A. 1978, Methods of stability analysis, in R. L. Schuster and R. L. Krizek, eds., Landslides-Analysis and Control, s. 155-72, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Moylan, J.E., 1991. Site characterization data needs for effective RD and RA: Proceedings, Conference on Desing and Constuction Issues at Hazardous Waste Sites, TX: US EPA Report No. EPA/540/8-91/012, Dallas, s. 1103-1109.

MTA, 1974, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Haritaları İçin Teknik Standartlar, Yayın No. 152, Ankara, 40 s.

MTA, 1993. Büyük Dünya Atlası, (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) Yayını, 1. Baskı, Ankara, 267 s.

MTA, 1994, Mineraller, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara.

MTA, 2017, Dünya'da ve Türkiye'de Uranyum ve Toryum yatakları. Maden serisi, 3, Ankara, 35 s.

MTA, 2019., Türkiye'nin Diri Fay Haritası, MTA yayını, Ankara.

Murck, B.W., 1996. Environmental Geology, Study Guide, John Wiley and Sons, Inc. Newyork, USA, 154 s.

Nesis, K. N., 2001. When did the life appear in deep ocean?. Priroda, 4, 68-69.

Newman, E. B., Paradıs, A. R., ve Brabb, E. E., 1978, Feasibility and Cost of Using a Computer to Prepare Landslide Susceptibility Maps of the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Survey Bull. 1443. 27 s.

NGU, 2010. Method for the susceptibility mapping of snow avalanches in Norway. Technical Report, (Geological Survey of Norway (NGU), 14 p.

Nicosen, M., 1970. Man's use of the Earth: historic backround. In Man's impact on environment, ed. T.R. Detwyler, s.10-21, New York: McGraw-Hill.

Nielsen, O.J., Nicolaisen, F.M., Bacher, C., Hurley, M.D., Wallington, I. J., ve Shine, K. P., 2002, Infrared spectrum and global warming potentinal of SF_5CF_3, Atmospheric Environment, 36, 1237-1240.

Nilsen, T.H. ve Brabb, E.E., 1972, Preliminary photointerpretation and damage maps of Landslide and other surficial deposits in northeastern San Jose, Santa Clara County California: U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Survey Circular 1008, USA, 43s.

----, 1975, Landslides, in R. D. Borcherdt, ed., Studies for Seismic Zonation of the San Francisco Bay Region. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 941-A.

----, 1977, Slope-stability studies in the San Francisco Bay Area, California, in D. B.Coates, ed., Landslides, pp. 235-44. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, Vol. 3. 278 s.

Nılsen, T. H., ve Turner, B. L., 1975, Influence of Rainfall and Ancient Landslide Deposits on Recent Landslides (1950-1971): An Estimate of Economic Losses and Correlations with Slope, Rainfall, and Ancient Landslide Deposits. U.S. Geol. Survey Bull.1398. 21 s.

Nılsen, T. H., et al., 1979, Relative Slope Stability and Land-Use Planning in the San Francisco Bay Region, California. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 944. 96 s.

Norris, R. M. 1977. Erosion of sea cliffs. In Geologic hazards in San Diego, eds. P.L. Abbott and J. K. Victoris. San Diego Society of Natural History.
North Carolina Coastal Resources Commission, 1975. State guidelines for local planning in the coastal area under the Coastal Area Management Act of 1974, Raleigh, North Carolina.
NREL, 2012, National Renewable Energy Laboratory (NREL). http://www.nrel.gov.tr/ `den
Nurlu, M., 2004, Uydu görüntülerinin doğal afetlerde kullanımı: Örnek çalışma, 1995-2003 Türkiye depremleri ve çevre boyutları: Çevre 2004, 1. Ulusal Çevre Kongresi, CÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, s.35-44.
Nurlu, M., 2017, Planlama ve Yapılaşma Açısından Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi Klavuzu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 134, Ankara, 61 s.
Obermeiser, S. F., 1996, Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis: Engineering Geology, 44, 1-76.
Ocak, K., Özaydın, S. ve Saraçoğlu, E., 2013. Kömürlü Termik Santraller ve Çevresel Etkileri. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 331-339.
Oerlemans, J. 2005. Extracting a climate signal from 169 glacier records, Science, 308, 675-677.
Office of Emergency Preparedness. 1972. USA Disaster preparedness 1, 2.
Okan, N., 2003, Heyelan "Geliyorum" der!, Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, 7, 14,17.
Okay, A.C., 1967. Mineralbilim, Acar Matbaası, İstanbul, 342s.
Oksay, R., 2011, Japonya' nın Nükleer Felaketle İmtihanı, Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji, 25 Mart 2011, 1253, s. 6-7.
Oldeman, L.R., Wakkeling, R.T.A. ve Sombroek, W.G., 1991. World map of the status of human induced soil degradation. Volume 2: Global assessment of soil degradation. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen and UNEP, Nairobi.
Oldroyd, D., 2003, İnsan Düşüncesinde Yerküre; TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları (Çev. Ülkün Tansel), Ankara, 563s.
Oparin, A. I. (1957). The Origin of Life. Izd. AN SSSR, Moscow, 343 pp.
Oral, N., 2018. Çok uluslu şirketler yerel tohumları bitirmeye çalışıyor. BİRGÜN PAZAR Eki, s. 608, s. 11.
Oro, J. (1965). İnvestigation of organo-chemical evolution. In: Current Aspects of Exobiology. Pergamon Press, London, pp. 13-76.
Oro, J. (1966). Prebiological organic systems. In: The Origin of Prebiological Systems. Academic Press, NY, pp. 137-162.
Oruç, N., 2003. Problems of high fluoride waters in Turkey (Hydrogeology and Health Aspects) on Overview, the short course on Medical Geology, Health and Environment, Canberra, Australia.
Özaydın, K., 2000, Zemin Mekaniği; Birsen Yayınevi, İstanbul, 261 s.
Özbek, T., 1982. Hidroloji: Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara, 207 s.
Özel, S., 2017. Bir Deponi Alanı Sızıntı Sularının Çevresel Etkilerinin Jeofizik ve Su Kimyası Yöntemleriyle İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), s. 113-124.
Özsayın, S., 2013, Enerji alternatiflerinin çevre ile etkileşimi. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 287- 299.
Öztürk, H. T. ve Durmuş, A. 2008, Tünellere toplu bir bakış ve savunma tünellerinin Türkiye için önemi. Dünya İnşaat, Yıl:24 ve Sayı: 2008/06, s.90-95.
Öztürk, Z. A., 2013, "Açık kaynak kod nedir, size de gerekli mi?", Web: (https://www.chip.com.tr/haber/acik-kaynak-kod-nedir-size-de-gerekli-mi_38478.html.)
Palmer, D. ve Barret, P., 2010. Evolution: The story of Life (Evrim Atlası. Çeviri: Çağlar Sunay ve Muzaffer Özgüneş). Türkiye İş Bankası, Kültür Yayınları, İstanbul, 374 s.
Parr, R., 1983. Trace elements in human milk. International Atomic Energy Agency Bulletin, 25(2), 7-15.

Peck, RB., 1973, Verbal comment to Opening address. In: USRR NSSMFE (ed) Proc 8th ICSMFE, Vol.4.1, OC of 8th ICSMFE, Moscow, s. 156-159.
Peltier, L.C., 1950, The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. Annals of the Association of American Geographers, 40:214-36.

Perla, R.I., ve Martinelli, M.Jr., 1976. Avalanche Handbook. USDA Forest Service Agriculture Handbook 489, Fort Collins, Colorado.
Pier, S.M., ve Bang, K.M., 1980. The role of heavy metals in human health, Chapter 11, in Environment and health, edited by N.M. Trieff, Ann Arbor, Mich., Ann Arbor Science Publishers, 366-409.
Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P. et al., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, 267, 1117–1123.
Polat, A., 2013, İçimizdeki balık. Tiktaalik ve Entelognathus'tan insana uzanan 420 milyon yıllık bir evrim serüveni ve evrensel bağlantılar. Cumhuriyet Bilim Teknoloji (CBT), no: 1395 (13 Aralık 2013), s. 8-9.
Post, W.M., Peng, T., Emanual, W.R., King, A.W., Dale, V.H. ve De Angelis, D.L., 1990. The Global Carbon Cycle, American Scientist. 78, 310-26.
Plummer, C.C. ve Mc Geory, 1993, Physical Geology, NewYork, USA Pres, F.ve Siever, R., 1974, Earth, W.H. Freeman and Company, USA, 945 s.

Plummer, M.C. ve Mc Geary, 1988. Physical Geology. WM. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa.
Press, F. ve Siever, R., 1974. The Earth, W.H. Freemand and Company, San Francisco, USA, 945 s.
Price, N.J., 1966. Fault and joint development in brittle and semibrittle rocks. Pergamon press, Oxford.
Reeves, H., Lenoir, F., 2006, Yeryüzünün Acısı, YKY, İstanbul, s. 52.
Report to congress, Technical report EPA-230-050-89-050. Washington DC (USA).

Rennings, K. ve Smidt, W. 2010. A Lead Market Approach towards the Emergence and Diffusion of Coal-Fired Power Plant Technology.
https://www.researchgate.net/publication/46559067_A_Lead_Market_Approach_towards_the_Emergence_and_Diffusion_of_Coal-Fired_Power_Plant_Technology (Erişim tarihi:30.10.2019).

Rittman-Tazieff, 1963. Les Volcans et leur activite, Masson, Paris.

Robinson, G. D., and Spieker, A. M., eds., 1978, Nature to Be Commanded: Earth-Science Maps Applied to Land and Water Management. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 950. 96 pp.
Robinson, A. B., Baliunas, S. L., Soon, W., and Robinson, Z. W. (1998). Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide. 8 pp; info@oism.org; info@marshall.org.
Rodrigue, J.P, 2013. The Geography of Transport Systems, Routledge, New York, 271 s.
Roizman B., 1995. Infectious Diseases in an Age of Change; The Impact of Human Ecology and Behavior on Disease Transmission. Washington, DC: National Academy Press, USA
Rose, S. V., 2000, Volkanlar: TÜBİTAK Popüler Bilim kitapları,195, Başvuru kitapçığı 18 (Çev. Ülkün Tansel), Ankara, 64s.

Rowe, W. D., 1977, An anatomy of Risk. John Wiley&Sons, Inc., New York. 488 pp.
Rowntree, R. A. 1974. Coastal erosion: the meaning of a natural hazard in the cultural and ecological context. In Natural hazards: local, national, global, ed. G. F. White, pp. 70-79. New York: Oxford University Pres.
RSHM ve ATİT, 2000, Küresel Çevre Problemleri; Sera Etkisi, Ozon tabakasının parçalanması ve Ormanların tahribatı: Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi (RSHM) ve Alman Teknik İşbirliği Teşkilatı (ATİT) yayını, Ankara, 149s.
Rutten, M. G., 1971, The orgin life by natural causes. Elsevier, Amsterdam.

Saatçi, F., 1975. Toprak İlmi. 4.baskı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları no.214, Bornova-İzmir, 303 s.
Saigo, R.H. ve Saigo, B.W., 1983. Botany Principles and Applications

Sakınç, M., 2006, Yer'in evrimi, Jeolojik evrim ve biyolojik evrim iç içe: Bilim ve Gelecek, Aylık, bilim, kültür, politika dergisi, 26, 8-33.
Salıcı, İ., 2019, Termik santralların çevre sorunları ve yer seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 37-68.
Saraçoğlu, E. ve Keçeci, A., 2013, HES' lerin Türkiye'deki Gelişimi ve ÇED Sürecindeki Yeri. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 351- 357.
Sarıbal, O., 2018. 'Yerli ve milli' diyerek tarımı yabancılara teslim ettiler. 13 Mayıs 2018 tarihli BirGün Gazetesi. s.11.
Sarıkaya, M.A., 2011a. Türkiye'nin güncel buzulları Editör: Deniz Ekinci, Fiziksel Coğrafya Araştırmaları: Sistematik ve Bölgesel, Türkiye Coğrafya Kurumu Yayınları, 6, İstanbul, 527-544.
Sarıkaya, M.A., Çiner, A. ve Zreda, M. 2011b. Quaternary Glaciations of Turkey. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P.D. (Eds.), Quaternary Glaciations: Extent and Chronology, A Closer Look, Europe. Amsterdam, Elsevier, 15, 393-403.
Sarıkaya, M.A. 2012. Recession of the ice cap on Mount Ağrı (Ararat), Turkey, from 1976 to 2011 and its climatic significance. Journal of Asian Earth Science, 46, 190-194.
Sarıkaya, M. A., 2019, İklim değişikliğinin jeolojik tarihi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Küresel İklim Değişikliğinin Yerküre'ye ve Ülkemize Etkileri Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 305-312.
Sauer, H.I., ve Brand, F.R., 1971. Geographic patterns in the risk of dying. In Environmental geochemistry in health and disease, edited by H.L. Cannon and H.C. Hopps, Geological Society of America Memoir 123, 131-50.
Sav, M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin- mevcut-potansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022
Saveur, J. ve Grantz, W, 1997, Structural Design of Immersed Tunnels, Tunneling and Underground Space Technology, 12, 2, 93-109.
Scheer, L., 1971, Çelik Nedir (Çev. M. Sağışman): İstanbul, 139 s.
Schidlowski, M. 1971, Probleme der atmosphararischen evolution im Prekambrium. Geol. Rundschau, Bd. 60, Heff, 4, Stuttgart.
Schlesinger, W.H. 1992. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change, San Diego, Acaademic Press.
Schneider, W.J., 1970. Hydraulic Implications of Solid-Waste Disposal, US Geologial Survey Circular 601F, USA.
Schmidt-Thome, P., 1972. Lehrbuch der Allgemeinen Geologie, Band II, Tektonik, F.Enke Stutgart.
Schwarz, N., Bauer, A. ve Haase, D., 2011, Assessing climate impacts of planning policies- An estimation for the urban region of Leipzig (Germany). Environmental Impact Assessment Review 31, 97–111.
Seed, H. B., 1973, Landslides caused by soil liquefaction, in Committee on the Alaska Earthquake, The Great Alaska Earthquake of 1964, v. 7, pp. 73-119. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
Selinus, O., Alloway, B.J., Centeno; J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U., Smedley, P., 2005, Essentials of medical geology: Impacts of the natural environment on public health. Amsterdam, Boston: Elsevier Academic Press. ISBN: 0126363412. 812s.
Semikhatov, M. A., Raaben, M. E., Sergeev, V. N., Weis, A. F., and Artemova, 0. B., 1999. The biotic events and positive isotopic anomaly of carbonate's carbon 2.3-2.06 billion years ago. In: Stratigraphy. Geologic Correlation. Nedra, Leningrad, pp. 3-27.
Sert, M. Y., 1990, Kömür Yakıtlı Termik Santrallerde Başlıca Çevre Sorunları ve Önlemler, Elektrik Mühendisliği, Sayı 376, Ankara, 267 s.
Sezen, F., 2001, Genel Jeoloji Ders Notları, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas.
Shacklette, H.I., Sauer, H.I. ve Miesch, A.T., 1970. Geochemical environments and cardiovascular

mortality rates in Georgia, US Geological Survey Professional Paper, 547C.
Shopf, T., 1982. Paleo-oceanology. Mir, Moscow, 311 pp.
Shubin, N., 2008, Your İnner Fish. Pantheon Books, New York, 229s.
Shubin, N., 2013, The Universe Within. Pantheon Books, New York, 225s.
Sibbesen, E. ve Runge-Metzger, A., 1995. Phosphorus balance in European agriculture – status and policy options. In: Tiessen, H. (ed.), Phosphorus in the global environment. John Wiley & Sons, Chichester, 43–60.
Simms, J.J., 1975. A study of the bedrock valleys of the Kansas and Missouri Rivers in the vicinity of Kansas City: Unpublished M.S. thesis: Department of Geology, University of Kansas, Lawrence, Kansas, 78 s.
Simpson, R. H., 1973, Hurricane prediction: Progress and problem areas: Science, v. 181, pp. 899-907.
Simpson, R. H., and Riehl, Herbert, 1981, Hurricanes and Their impact. Louisiana State University Press, Baton Rouge. 398 pp.
SKHKKY, 2014, 03.09.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğini Kontrol Yönetmeliği ile 20.12.2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan ilgili yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Ek-2.
Smith, A. G. ve Briden, J. C., 1977. Mesozoic and Cenozoic Paleocontinental Maps. Cambridge University Press, London, 63 pp.
Smith, J.B. ve Tirpak, D.A., 1989, Potential effects of global climate change on the United States. Report to congress, Technical report EPA-230-050-89-050. Washington DC (USA). Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (eds). http://www.epa.gov/climatechange/effects/downloads /potential_effects.pdf.
Smithson, P., Briggs, D., Addison, K. ve Atkinson, K., 2002. Fundamentals of the physical environment, 3rd edition. Routledge, London
Sorokhtin, O. G., 1974. The Global Evolution of Earth. Nauka, Moscow, 184 pp.
Sorokhtin, O. G., St Sorokhtin, N. O., 2002. Origin and evolution of the Earth's atmosphere. Heraid Russian Acradeмy of Natural Sciences, 2 (3), 6-18.
Sorokhtin, O. G., and Ushakov, S. A., 1991. Global Evolution of Earth. Moscow University, Moscow, 446 pp.
Sorokhtin, O. G., and Ushakov, S. A., 2002. Development of Earth. Moscow University, Moscow, 559 pp.
Sorokhtin, O. G., Chilingar, G. V., and Khilyuk L. F., 2007. Global Warming and Global Cooling Evolution of Climate on Earth. Elsevier, Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands Linacre, Hause, Jordon Hill, Oxford OX2 8DP, UK.
Söderlund, R. ve Rosswall, T., 1982. The handbook of Enviromental Chemistry, Vol 1, Pt. B, New York.
Spiegel, R. ve Meadows, D., 1999, Gren Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
Stanners, D. ve Bourdeau, P. (eds), 1991. The DOBRIS Report: Europe's environment. Earthscan, London.
Stenestad, E. ve Sustrac, G., 1992. The role geoscience in planning and development, in geology and environment in Western Europe, ed. By G.I. Lumsden, by permission ofOxford University Pres, Oxford.
Stille, H., 1955. Recent deformation of the Earth crust in the light of those of earlier epochs: Geol. Soc. America Spec. Pub., 62, 171-191.
Storch, V.H., Zorita, E. ve Cubasch, U., 1992, Downscaling of global climate change to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime. Journal of Climate, American Meteorological Society; 6, 1161-1171.
Strahler, A.N., 1972. Planet Earth. Haper ve Row (İ.Ketin 1977'den alınmıştır).

Streckeisen, A., 1973. Classification and nomenclature of Igneous Rocks, Neues Jahrb. Mineral. Abland, 107, s.144-245.

Strum, C. 1993. US Suspends Dredging Permit for Newark Bay, New York Times, s.B1, B4.
---------- 1993, From Port to 17 Fathoms, Views on Dredging Differ, New York Times, s.23-27.
---------- 1993, Limited Dredging Allowed in Newark Bay, New York Times, s.24.
Suk, P., Klimanek, M., 2011. Creation of the snoe avalanche susceptibility map of the Krkonose Mountains using GIS. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendeliane Brunensis, 28, 237-246.
Sultansoy, S., Şahin, S. ve Ünal, S., 2015, Türkiye'de Toryum: Enerji, Ekonomi ve Siyasette Fırsatlar: TENAV (Türkiye Enerji Vakfı) Yayın no 2, Ankara, 18 s.
Şaylı, B.S., 2000. İnsan sağlığı ve bor mineralleri, AÜ Tıp Fakültesi, Eti Holding Araştırma Projesi, Ankara.
Şengör, A.M.C., 2000, Jeolojik Takvim. Cogito, Sayı: 22, (JMO adına ek olarak basılmıştır), Üç-Er Ofset, İstanbul, 47s.
Şengül, H., 2013, Ardışık Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerin Uzun Dönemli, Kümülatif Etkilerinin Aktör Temelli Modelleme ile Araştırılması- Solaklı Havzası Durum Çalışması Arkaplanı. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 501-512.
Şengüler, İ. ve Yılmaz, H., 1994. Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Gazın (Deponi Gazı) Çevresel Etkileri ve Ekonomik Potansiyeli. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s. 62-66.
Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz, O., Taşkın, N., Akdağ, C. T. ve Elçi, H., 2012, İzmir metropol alanı için çoklu parametre tekniği kullanılarak CBS destekli katı atık depolama alanı yer seçimi. 65.Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s.148-149.
Şimsek, C, Elci A, Gündüz O, Taşkın N., 2014, An improved landfill site screening procedure under NIMBY syndrome constraints, Landscape and Urban Planning 132 (2014)
Şimşek C, Gemici U., Filiz Ş 2008. An Assessment of Surficial Aquifer Vulnerability and Groundwater Pollution from a Hazardous Landfill Site, Torbali/Turkey, Geosciences Journal, 12; 69-82.
Şimşek, C., Karagüzel, R., Çelenk, A., Şener, Ş. ve Taşkın, N., 2017. Çevre Jeolojisi Çalıştayı, '3. Konu: Atık yönetiminde, deponi alanlarının yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri' çalışma grubu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, s. 87-117.
Şimsek, C., Kincal, C. and Gunduz, O., 2006, A solid waste disposal site selection procedure based on groundwater vulnerability mapping. Environmental Geology, 49, 620-633.
Şimşek C, Yavuz AB, Elçi H, Elçi A ve Gündüz O (2011). Waste disposal on karstic terrain: a case study from the ancient marble quarries in Iznik (Nicaea), Turkey, Geosciences Journal, Vol. 15, No. 3, p. 339 – 348,
Tamzok, N., 2017, Türkiye'de Termik Santraller, TMMOB MMO, Ankara, s. 77; 239 s.
Tarlacı, S., 2017. Mağaradan Mars'a. Destek yayınları, İstanbul, 416s.
Tayfur, K. ve Biber, M., 1995, Güneydoğu Anadolu Projesi, Sudaki Ateş ve Bereket. Atlas Dergisi, 26, 22- 36.
TBB, 2014. Düzenli Depolama Sahalarının Tasarımı, Yer Seçimi ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı. Türkiye Belediyeler Birliği Atık Komisyonu, Ankara, 12 s.
TC Kalkınma Bakanlığı, 2011. Toprağın Tuzlulaşması (Hazırlayan: Mehmet Ali Çullu), Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

TC Kalkınma Bakanlığı, 2012. Sulama ve Sulama Yöntemlerinin Projelendirilmesi, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

TC Kalkınma Bakanlığı, 2012a. GAP ve Enerji, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 94 s.

TC Kalkınma Bakanlığı, 2012b. Kültürel Mirasın Kalkınmaya Katkısı, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

TC Kalkınma Bakanlığı, 2012c. En Eskiden En Yeniye GAP Bölgesinde Sanat, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

TC Kalkınma Bakanlığı, 2012d. GAP'ta Kırsal Kalkınma Deneyimi, 'GAP Kırsal Kalkınma Projelerini Destekleme Program' Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

TC Kalkınma Bakanlığı, 2012e. Sulama ve Sulama Yöntemlerinin Projelendirilmesi, Güneydoğo Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Bilnet Matbaacılık, Biltur Basım Yayın ve Hizmet, A.Ş. www.bilnet.net.tr, Ankara, 96 s.

TÇV, 1993. GAP ve ÇEVRE, Türkiye Çevre Vakfı yayını, Ankara, 160s.

TÇV, 1997. GAP'ın Ekolojiye ve Tarıma Etkileri, Türkiye Çevre Vakfı (TÇV) Yayın No: 125, Ankara, s.16-23.

Tek, Ö., 1996. Gözde bir metal: Titanyum. Bilim ve Teknik, TUBİTAK, 339, 50-53.

Tekin, M. Ö., 2020. Depremlerde idarenin hukuki sorumluluğu, Cumhuriyet Gazetesi, Olaylar ve görüşler: http://www.cumhuriyet.com.tr/yazarlar/olaylar-ve-gorusler/depremlerde-idarenin-hukuki-sorumlulugu-1719305 (08 Şubat 2020 Cumartesi).

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 25.01.2017 tarih ve 29959 Sayılı Resmi Gazete, Ankara

TEİAŞ, 2018 a. Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2018 Yılı İstatistikleri, ttps://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-2018-yili-istatistikleri (Erişim tarihi: 30.10.2019).

TEİAŞ, 2018 b. Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2018-2022), https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-09/Kapasite_Projeksiyonu_2018_2022, (Erişim tarihi: 30.10.2019).

Tekin T. F. ve Yılmaz, A. 2019, Termik santrallerin yer seçiminde ve yönetiminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Termik Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu,, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 69-88.

Terzaghi, K. ve Peck, B.R., 1948, Soil mekanics in Engineering Practice. John Willey and Sons Inc., USA, 729 s.

TKKY, 2005, Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31. 05. 2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

TMMOB, 2015, TMMOB Terme Termik Santral Raporu. 1. Baskı, Ankara, 23 s.

TMMOB, 2022, Afet Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara, 1066 s. (www.afetsempozyumu.org), 20-22 Nisan 2022

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2012, İstanbul Çevre Durum Raporu 2012, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İstanbul, 16 s.

Topdağ, B., 2003. Sivas ili dolayının sel ve taşkınlar açısından incelenmesi ve alınması gereken önlemler: Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 78 s.

Tosun, K., 2021, Enerji ve tarım. https://www.enerjitime.com/enerji-ve-tarim/ (15 Nisan 2021, saat 17.37).

TPAO Genel Müdürlüğü, Arama Grubu Başkanlığı, 1990. Kayaçlar, Jeolojik Harita ve Kesitler İçin Standartlar ve Simgeler Klavuzu, 132 s.

TUBİTAK, 2000. Evren (Popüler Bilim Kitapları) no, 129; Başvuru Kitapçığı, no, 7; Nurol Matbaacılık, Ankara, 64s.

TUBİTAK, 2001. Elektromagnetik dalgalar ve insan sağlığı, Bilgi Teknolojileri ve Elektronik Araştırma Enstitüsü (BİLTEN), TÜBİTAK yayınları, Bilgi dizisi, Ankara, 27s.

Tubbs, D. W., 1975, Causes, mechanisms, and prediction of landsliding in Seattle. Ph.D. dissertation, University of Washington. University Microfilms, Ann arbor, Mich.

Turner, A.K. ve Coffman, D.M., 1973. Geological for planning: a review of environmental geology, Quarterly of the Colorado School of Mines, 68/3, 68 s.

Türkyılmaz, O., Bayrak, Y., 2018, Türkiye'nin Enerji Görünümü, TMMOB MMO, Sayı 691, Ankara, s. 74.

Türüdü, Ö.A., 1992. Toprak Bilgisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, yayın no:104: MYO yayın no 1., Trabzon, 165s.

UAEA, 2009, Predisposal Management of Radioactive Waste-GSR Part 5, International Atomic Energy Agency, Vienna.

Udum, Ş., 2019, Nükleer emniyet açısından nükleer santrallerde saha seçimi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 241-246.

Ujhara A.M. ve Gough, M., 1989. Managing Ash from Municipal Waste Incinerators in Resources for the Future, Center for Risk Managament.

Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2013. 2013 İdare Performans Programı, Ankara.

Ulutürk, Y., 2020. Uzay Madenciliği. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 25.06.2020 tarihinde Çevrimiçi Sunum. www.youtube.com/c/JeolojiMühendisleriOdası, Zoom Linki: https://us02web.zoom.us/j/89286003986?pwd=dkpiRWlxZ3dBVU9uR2o0QmVTak5LQT09

Ulusal Deprem Konseyi, 2002, Deprem Zararlarını Azaltma Ulusal Stratejisi, Tübitak Matbaası, Ankara, 100s.

Ulusay, R., 1994, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler; TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38, Ankara, 243 s.

Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E. ve Erdoğan, S., 1998, TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi (1.Aşama: A Panosu Şevlerin Duraylılığı, Proje No. 600.020.0056, HÜ, Jeoloji Müh. Bölümü, Ankara, 245 s.

Ulusay, R., 2000, Zeminin sıvılaşması. Mavi Gezegen (Popüler Yerbilimleri) Dergisi, 2, 47-56 s.

Ulusay, R., 2001, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler; TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları (Genişletilmiş 4. Baskı), no: 38, Ankara, 385 s.

URL, 2007, http://www.iinet.com/~englishriver/ Lewis Clark Columbia River/ Images/ Washington_hwy-14_tunnel_no4_2005.jpg. 20.11.2007.

URL, 2008, http://dna.typepad.com/photos/nz/manapouri_power_station.html, 03.01.2008.

US Army Corps of Engineers, 1989. Managing Dredged Material, New York District, New York: Author.

US Environmental Protection Agency, 1987. Second Record of Decision: CCC Superfund site; Washington, D.C., 88 s.

US Environmental Protection Agency, 1991. Land disposal restrictions, summary of requirements; Report No. OSWER 9934.0-1A, Plus Appendices, Washington, D.C., 26 s.

US Geological Survey, 1977, Proposed procedures for dealing with warning and preparedness for geologic-related hazard: United States Federal Register, v. 42, no. 70, pp. 19292-96.

USGS, 1985, Annual Report, U. S. Geological Survey, USA.

Uzunpınar, B. A., 1998, Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği; Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 376 s.

Ülgen, S., Guerin, S.S., Tekçe, M., 2007. İkinci Kuşak Yapısal Reformlar: Altyapı Sektörlerinde De-Regülasyon ve Rekabet, G Yayın, İstanbul, s.130- 189.

Ültanır, M. Ö., 2018. 53 Yıl Sonra Atılabilen Temel: NÜKLEER. http://www.ultanirplatformu.com/13.04.18akkuyu-1.html (13 Nisan 2018).

Ünver, Ö. ve Kocar, C., 2019, Nükleer santrallerde saha onayı, meteorolojik çalışmalar, çevresel etki ve radyolojik etki değerlendirmesi. 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi Oturumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 142, Ankara, s. 247-270.

Vaizoğlu, S., A., Tekbaş, Ö. F., Güler, Ç.,2007. Küresel İklim Değişikliğinin Halk Sağlığına Etkileri,

İstanbul Diş Hekimleri Odası Dergisi, 113, 77-79.
Vernadsky, V.I., 1945. The Biosphere and the noosphere, American Scientist, 33, 1-12.

Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes, In Landslide: Analysis and Control eds. R.L. Schuster and R.J. Krizek: Transpotation Research Board, National Academy Science, National Research Council, Special Report 176, s.11-33.

Varnes, D.J., 1984, Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 pp
Vesilind, P. A., Morgan, S. M. ve Heine, L. G., 2012, Introduction to Environmental Engineering (Çeviri İsmail Toröz; Çevre Mühendisliğine Giriş), Nobel yayınları, Ankara, 606 s.
Walker, J. C. G., 1996, Yerin Tarihi (Çev. E. Uluhan), Nar Yayınları, Ankara.
Ward, P.D., 2014, Yerküre Sulara Gömülürken, TÜBİTAK, Ankara, 82 s.
Ward, R.C. ve Robinson, M. (2000) Principles of hydrology. McGraw-Hill, London.

Webb, J.S., 1971. Regional geochemical reconnaissance in medical geography, In Environmental geochemistry in health and disease, edited by H.L. Cannon and H.C. Hopps, Geological Society of America Memoir, 123, 31-42.
White, G. F., 1974, Natural Hazards: Local, national, global, New York: Oxford University Pres, USA.

White, G. F., ed., 1974, Natural Hazards: Local, National, Global, Oxford University Press, London, 288 s.

White, G. F., ve Haas, J. E., 1975, Assessment of Research on Natural Hazards. M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 487 pp.
White, R.E., 1997. Principles and practice of soil science: The soil as a natural resource, 3rd edition. Blackwell Scientific, Oxford.

Whitehead, P.G., Beck, M.B. ve O'Connell, P.E., 1981. A systems model of flow and water quality in the Bedford Ouse River System – II. Water quality modelling. Water Resources Research, 15, 1157–1171.
WHO, 1992. Our planet, our health, Report of the World Health Organization (WHO) comission on health and environment, Geneva.
Wikipedia, 2010, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Global_Temperature_Anomaly (Fig.A).gif
William, S., Lighton, F.B. ve Baxter, M., 1976. Earth-science information in land-use planning-guidelines for earth scientists and planners, US Geological Survey Circular, 721.
Willis, B., 1934. Geological structures. McGraw-Hill, New York, USA.
Wilkinson, B. H. and McGowen, J. H. 1977. Geologic approaches to the determination of long-term coastal recession rates, Matagorda Peninsula, Texas. Environmental Geology: 359-365.
Wilson, J.T., 1965. A new class of faults and their bearing on continental drift: Nature, 207, 343-347.
Winkler, H.G.F., 1967. Petrogenesis of Metamorphic Rocks, 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 237s.
www.dsi.gov.tr
www.aerospaceweb.org/.../atmosphere/layers.gif
www.deprem.gov.tr
www.gap.gov.tr
www.koeri.boun.edu.tr, www.usgs.gov
www.scotese.com/earth.htm
Wyllie, P.J, 1975. The Earth's Mantle, Scientific American, March, 232/3.
Yalçın, D., 1986. Keban Baraj Gölü'nün Elazığ iklimine etkisi. Fırat Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü, Lisans tezi, Elazığ, 76s.
Yarat, A., 2016. Sağlımız açısından içme sularında döteryum. 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı 11-15 Nisan/April 2016 69th Geological Congress of Turkey, Ankara.

Yarman, T., 2023. Sunum: Akkuyu'nun dünü bugünü, yarını: acaba geleceği olacak mı? (26 Ocak 2023, Yenişehir Belediyesi Akademik Salonu, Mersin. [file:///C:/Users/TOSH%C4%B0BA/Downloads/ENERJ%C4%B0%20-%20N%C3%9CKLEER%20ENERJ%C4%B0%20-%20B%C3%96LGE%20VE%20T%C3%9CRK%C4%B0YE%20-%20Mersin%20ADD%20-%2026%20Ocak%202023_230201_122351.pdf (01 Şubat 2023)].

Yavaş, Ö. M., Varol, N., Arslan, G., Erengil, M., Yazıcı, Z., 2010. Çığ haritalama ve önlem yapı tekniklerinin karşılaştırılarak, Julian Alpleri (KB Slovenya) ve Rize-Sivrikaya (KD Türkiye) bölgelerinde uygulanabilirliğinin ortaya konulması. TÜBİTAK Proje No 105Y143, 108 s.

Yavuz, E. ve Ersoy, N., 2005, Pipe Jacking Yöntemi ile açılan mikro tünel projelerinde jeodezik çalışmalar, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 133-140.

Yazgaç, M., 2016, Tünel Delme Makinası (TDM) ile Tünelcilik. Jeoloji Mühendisleri Odası, 'Jeo-Emekli Söyleşiler' kapsamında 28 Aralık 2016 tarihinde yapılan sunum. Ankara.

Yener, Y., 2020. Basına ve kamuoyuna: Çevreyi kirleten linyit yakıtlı santralların çalışmasına izin verenlere MMO meslek etiği, toplum sağlığı ve toplum yararı için soruyor 11.6.2020, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Başkanı

Yıldız, D., 2012, Aral Gölü Geri Dönecek mi? Cumhuriyet Bilim Teknoloji Dergisi,31 Ağustos 2012, Sayı 1328, sayfa: 14- 15.

Yılmaz, A., 2001, Yanardağlar ve Türkiye'nin yanardağları: Bilim ve Teknik, TÜBİTAK aylık popüler bilim dergisi, No. 406, s.36-45.

Yılmaz, A., 2008a, Çevre Jeolojisi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2008b, Çevresel Etki Değerlendirmesi, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.110, Sivas, 275 s.

Yılmaz, A., 2009a, Çevre Jeotekniği, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.116, Sivas, 276 s.

Yılmaz, A., 2009b, Çevre Kaynakları, CÜ Mühendislik Fakültesi yayın no.117, Sivas, 348 s.

Yılmaz, A., 2017. 1. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No:133, Ankara, 218s.

Yılmaz, A. ve Atmaca, E., 2006, Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: A case study in Sivas, Turkey, Environmental Geology, 50, 677-689.

Yılmaz, A., Değirmenci, M., Cebeci, Y., Atmaca, E. Ve Dönmez, E., 2014, Bakır Tepe Altın Madeni Nihai ÇED' e Dair Bilirkişi Raporu. Sivas İdari Mahkemesi, Sivas, 63 s.

Yılmaz, I., 2000, Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması: Teknik Yayınevi, Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara, 216 s.

Yılmaz, I., 2007, Mühendislik Jeolojisi: İlkeler ve Temel Kavramlar; Teknik Yayınevi, Mühendislik Mimarlık Yayınları, Ankara, 490s.

Yılmaz, I., ve Keskin, İ., 2007, Şebinkarahisar ile Alucra (Giresun) yöresi heyelanları: heyelan duyarlılık haritalarının frekans oranı (F ve R) ve yapay sınır ağları (YSA) modelleri kullanılarak hazırlanması: Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Merkezi (CÜBAP), M.277, Sivas, 89 s.

Yılmazer, İ., Yılmazer, Ö., Özkök, D. ve Gökçekuş, H., 1999, Jeoteknik Tasarıma Giriş; Yılmazer Eğitim ve Mühendislik, Ltd. Şti., 420. Sok, 259/1, 100.Yıl, 06530, Çankaya, Ankara, 216 s.

Yılmaz, Y., 1999, Kuzey Anadolu Fayı nedir? Levha Tektoniği açısından bir değerlendirme. Cumhuriyet Bilim Teknik, 652, s. 6-8.

Yiğit, F., 2003, Deniz Seviyesi Değişimleri: Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi, 7, 28-31.

Yomralıoğlu, T., 2002, Coğrafi Bilgi Sistemleri, 2. Baskı, KTÜ, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İBER Ofset, Trabzon, 479 s.

Youd, T. L., ve diğerleri, 1975, Liquefaction potential, in R. D. Borcherdt, ed., Studies for Seismic Zonation of the San Francisco Bay Region, s. A68-A74. U.S. Geol. Survey Paper 941-A.

Yüksel, Ü. D. ve Baştanlar, D., 2013, Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinde Peyzaj Onarım Planları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara. s. 555- 567.

Zabunoğlu, H. O., 2015. Nükleer Yakıt Çevrimi: Mevcut Durum, Özgün Hususlar, İlgili Meseleler. Enerji

ve Diplomasi Dergisi, 1, 4, 13-45.
Zel'dovich, Ya. B., ve Novikov, I. D., 1971. The Theory of Gravitation and Evolution of Stars. Nauka, Moscow, 484 pp.
Ziegler, B., 1972. Allgemeine Plaontologie. Schweizerb, Verlag. Stuttgart.

Özgeçmiş

1970 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Bölümü'nden mezun oldu. 1971 Yılında MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi'nde çalışmaya başladı. Çeşitli projelerin gerçekleşmesinde ve yönlendirilmesinde görev yaptı. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Jeoloji Mühendisliği, Yeryuvarı ve İnsan dergilerinin yazı inceleme ve bilimsel kurullarında çalıştı.

Bölgesel jeoloji, tektonik ve ofiyolitlerin incelenmesi ile ilgili konularda çalışmalarını yoğunlaştırdı. Bu çalışmalar sırasında Sivas yöresinin ilk 1/25. 000 ölçekli jeolojik harita alım çalışmalarına öncülük yaptı. Yapılan çalışmalar halen Sivas bölgesinde Jeoloji ve Çevre ile ilgili uygulamalarda temel başvuru kaynakları olarak kullanılmaktadır. 1987 yılında doçent oldu.

09 /12 /1998 yılında C. Ü. Mühendislik Fakültesi, Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı' na profesör olarak atandı. 1998- 2007 yılları arasında Çevre Mühendisliği Bölüm başkanlığını yaptı. Bu görevi sırasında 2002 yılında kitap halinde yayınlanan Sivas İli Çevre Durum Raporu'nun yazılmasında baş editör olarak görev yaptı. 2004 yılında Sivas'ta ilk Ulusal Çevre Kongresi'nin gerçekleştirilmesinde düzenleme kurulu başkanlığını yaptı.

Yapılan çalışmalar ve bilimsel çalışmalar dolayısıyla yerel yönetimlerden ve üniversite yönetiminden çeşitli düzeylerde Plaketler almıştır. Yayın, rapor, derleme ve seminer çalışmaları türlerinde yaklaşık yüzün üzerinde çalışması vardır. 19 Şubat 2015 tarihinde emekli oldu. Emeklilikten sonra, 3-4 Kasım 2017 ve 1-2 Kasım 2019 tarihlerinde TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası'nın ev sahipliğinde 1. ve 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayları Düzenleme Kurulu başkanlığını yaptı. Evli ve iki çocuk babasıdır.

9 786250 016206