Doğal Kaynakların Yönetimine Giriş

ALİ YILMAZ



www.profdraliyilmaz.com



Ankara
2023

Doğal Kaynakların Yönetimine Giriş

Ali YILMAZ

www.profdraliyilmaz.com

ISBN: 978-625-00-8378-9

Ankara
2023

ÖNSÖZ

İnsanlar, yaşamlarını sürdürebilmek için gıda, konaklama, giyinme ve eğlenme gibi temel gereksinimlerini karşılamak zorundadır. Söz konusu gereksinimler de doğal kaynakların kullanımıyla karşılanabilir. Ne var ki kaynakların işletilmesi, zenginleştirilmesi ve hatta kullanılması sırasında çevre kirlenmektedir. Ortaya çıkan kirliliğin denetimi amacıyla, doğal kaynakları işletmeye başlamadan önce, Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporu hazırlama zorunluluğu getirilmiştir. ÇED raporları, amacına ve ruhuna uygun şekilde hazırlanıp, uygulamalar sırasında gözetilip gerekli denetimler yapılırsa, çevre bir ölçüde korunabilir.

Sunulan kitap, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 117 nolu yayını olarak ilk baskısı **'Çevre Kaynakları'** adıyla tarafımdan hazırlanıp yayınlanan kitap güncellenerek hazırlanmıştır. Yeni kitap, daha çok madencilik sektörüne yönelik olup, bir yönü ile ÇED uygulamalarına ışık tutmaktadır. Öte yandan bir bütün olarak doğal kaynakların tanımlanmasında ve değerlendirilmesinde gözetilmesi gereken bazı ölçütlere dikkat çekilmektedir. Kitap, beş temel bölümden oluşmaktadır:

1. Giriş bölümünde öncelikle doğal kaynaklarla ilgili önemli bilgiler sunulmuştur. Genel bilgiler ve bazı kavramlar, madenciliğin doğası ve çevresel etkileri, çevre ekonomisi ve çevresel değişiminin yönetimi ile sürdürülebilirlik gibi konulara açıklık getirilmektedir. Bu temel bilgilerle, bir bakıma doğal kaynaklara dair yönetim sürecinin önemine dikkat çekilmektedir.
2. Bölüm'de metalik maden yatakları ele alınmıştır. Metalik madenlerin aranması, işletilmesi ve değerlendirilmesi aşamalarında çevre üzerinde yoğun bir baskı oluşmaktadır. Dolayısıyla, metalik madenlerin işletilmesine yönelik tepkiler diğer sanayi hammaddelerine de yansımıştır.

   Metalik madenlerden altın, bakır, kurşun, çinko, demir ve krom ele alınmıştır. Her kaynak, önce tanımlanmış, daha sonra sıra ile özellikleri, oluşumları, kullanım alanları, işletilmeleri sırasında ortaya çıkan çevre sorunları ve bu sorunların denetimine ilişkin temel bilgiler sunulmuştur. Bu bilgiler, kaynağa ilişkin bir ÇED raporu hazırlanırken gereksinim duyulan temel bilgilerdir.
3. Bölüm'de sanayi hammaddeleri ele alınmıştır. Sanayi hammaddelerinin metalik madenlere göre işletilmesi ve değerlendirilmesi sırasında çevre üzerinde oluşan baskılar daha sınırlıdır.

   Sanayi hammaddelerinden, çevre açısından ve ülkemizdeki gereksinimler açısından önemli olan kil, zeolit, evaporit (alçı taşı, boratlar, trona) ve asbest minerallerinin yanı sıra mermer, perlit, ponza/pomza ve diyatomit ele alınmıştır. Tüm bu kaynaklar da metalik madenlere özgü sistem içinde sunulmuştur.
4. Bölüm'de enerji hammaddeleri işlenmiştir. Önce enerji hammaddelerine dair genel bilgiler sunulmuş, daha sonra, sıra ile kömür, petrol, doğal gaz, biyogaz, nükleer enerji, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve hidrojen enerjisi birer bölüm halinde ele alınmıştır. Bu kaynakların bazıları, sadece arama ve işletme evrelerinde değil, kullanım sırasında da çevreyi kirletmektedir. Dolayısıyla, yer yer ülkemizin enerji politikasına yönelik değerlendirmeler de yapılmıştır.
5. ve son Bölümde "Çevrenin Zenginliği ve Büyümenin Sınırları" konusundaki tartışmalar ele alınmıştır. Bu tartışmaların ışığında, zengin kaynaklara sahip olmaktan çok, var olan kaynakların insanın aklı öncülüğünde planlanmasının önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde çok zengin kaynakların üzerinde yaşayan sersefil insanların varlığı, özellikle ders alınması gereken bir husustur.

İlk bölümün 'Genel bilgiler ve kavramlar' alt bölümü ve 5. son bölümün hazırlanmasında Mather ve Chapman'ın (1998) Environmental Resources kitabından büyük ölçüde yararlanılmıştır. Doğal kaynak türlerinin seçiminde ise ülkemiz açısından önemli olanlar tercih edilmiştir.

Sonuç olarak sunulan kitap, çevre açısından doğal kaynaklarının önemine ve bu kaynakların sorumluca kullanılması gerektiğine ışık tutmaktadır. Bir toplum, doğal kaynaklarına sahip çıkarak gelişebilir. Doğrusunu söylemek gerekirse, bu kitabı hazırlarken ben de birçok şeyler öğrendim ve öğrendiklerimi okuyucularla paylaşma gereksinimi duydum. Sunulan kitabın, doğal kaynakların ve çevrenin verimli bir biçimde planlanmasına ve korunmasına katkıda bulunmasını diliyorum.

Mayıs 2023

Prof. Dr. Ali YILMAZ

TEŞEKKÜR

İlk baskısı 'Çevre Kaynakları' adıyla çıkan kitabın inceleme komisyonunda Prof. Dr. Ertuğrul Ergin, Prof. Dr. Avni Çakıcı ve Prof. Dr. Hüseyin Yalçın yer almıştır. Sunulan kitabın hazırlık aşamasındaki evrede Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Mustafa Değirmenci, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Hüseyin Yalçın ve MTA Genel Müdürlüğünden Cahit Dönmez tarafından incelenmiştir. Yapılan öneriler ve değerlendirmeler, kitabın olgunlaşmasına katkıda bulunmuştur. Kendilerine teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca özel uzmanlık gerektiren bazı bölümler de bilgilerine güven duyduğum uzmanlar tarafından irdelenmiştir. Söz konusu bölümlerin sonunda, kendilerine de teşekkür edilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ I
Bölüm 1, GİRİŞ 1
1. 1, Genel Bilgiler, Bazı Temel Kavramlar 2
1. 2, Madencilik: İşletme ve Cevher Zenginleştirme Yöntemleri 15
1. 3, Madenciliğin Çevresel Etkileri ve Bu Etkilerin Denetimi 24
1. 4, Çevre Ekonomisi ve Doğal Kaynakların Verimli Kullanımı 45
1. 5, Çevresel Değişimin Yönetimi 53
1. 6, Sürdürülebilirlik 77
Bölüm 2, METALİK MADENLER 87
2. 1, Altın 88
2. 2, Bakır 113
2. 3, Kurşun 124
2. 4, Çinko 138
2. 5, Demir 149
2. 6, Krom 163

Bölüm 3, SANAYİ HAMMADDELERİ 173
3. 1, Killer (Bentonit ve Kaolin) 174
3. 2, Zeolitler 195
3. 3, Evaporitler 209
3.3.1, Alçıtaşı 221
3.3.2, Boratlar 231
3.3.3, Trona 250
3. 4, Mermer 258
3. 5, Asbest 273
3. 6, Perlit 305
3. 7, Ponza 314
3. 8, Diyatomit 324

Bölüm 4, ENERJİ HAMMADDELERİ 334
4. 1, Kömür 344
4. 2, Petrol 362
4. 3, Doğalgaz 374
4. 4, Biyogaz 387
4. 5, Nükleer Enerji (Uranyum ve Toryum) 405
4. 6, Jeotermal Enerji 432
4. 7, Rüzgar Enerjisi 462
4. 8, Güneş Enerjisi 478
4. 9, Hidrojen Enerjisi 500

Bölüm 5, ÇEVRENİN ZENGİNLİĞİ VE BÜYÜMENİN SINIRLARI 521
KAYNAKLAR 539

Bölüm 1. GİRİŞ

İnsanlar, yaşamlarını sürdürürken, beslenme, giyinme, barınma ve eğlenme gibi temel gereksinimlerini gidermek zorundadır. Bu gereksinimler de çeşitli kaynaklar kullanılarak karşılanmaktadır. Ancak, kaynakların üretimi ve kullanımı çeşitli çevre sorunları yaratmaktadır. Bu sorunları, mühendisliğin birikimlerinden yararlanarak en aza indirmek olasıdır.

Bu bölümde, öncelikle genel bilgiler ve bazı temel kavramlar ele alınmıştır. Daha sonra sıra ile madencilik (ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme), madenciliğin çevresel etkileri, çevre ekonomisi ve doğal kaynakların verimli kullanımı, çevresel değişimin yönetimi ve sürdürülebilirlik konuları temel kavramlar ışığında irdelenmiştir. Bu bölümün temel amacı, doğal kaynakların yönetiminin kapsamlı doğasını yansıtmaktır.

1. 1, GENEL BİLGİLER, BAZI TEMEL KAVRAMLAR

GİRİŞ

Bu kitabın amacı, doğal kaynakların tanımı, özellikleri, oluşumları, kullanım alanları ve bu kaynakların değerlendirilmesi sırasında ortaya çıkan çevre sorunları ile ilgili bazı temel bilgiler sunmaktır. Bu bilgiler ışığında, doğal kaynakların doğru ve gerçekçi bir şekilde yönetimi ve çevre sorunlarının çözümüne katkı sağlamak mümkündür.

Öncelikle **kaynak** terimini tanımlamakta yarar vardır. Medeni hukukta kaynak, üzerinde yer aldığı toprağın ayrılmaz bir parçası olup özel mülkiyet kapsamına girmez. Çevre yasasında, kaynak, tüm bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar ile bunların yaşama ortamları olan hava, su ve toprak ile doğada bulunan cansız varlıklar olarak tanımlanır ve doğal olan tüm kaynaklar çevre kaynakları olarak adlandırılır.

Çevre mühendisliği çalışmalarında **kaynak**, bir tarafta kömür ve demir yatakları gibi taşınabilir varlıklar, diğer tarafta bir beklenti veya bir tedbirin planlamasında ya da tasarlamasında ortaya konulan yeteneğin bir aracı olarak ifade edilmektedir. Bu tanım, kaynakların basit stoklar olmadığına işaret etmektedir. Yani, başlangıçta kaynaklar, doğada ya da çevrede bulunan malların ya da gereçlerin stokları olarak nitelenirken, daha sonra kaynaklar insan takdirinin ya da algılamasının ürünü olarak ele alınmaya başlanmıştır (Mather ve Chapman, 1998).

Çevre kaynakları, doğada bulunan basit stoklar ise bunların kaçınılmaz olarak durağan ve sınırlı bir oranda bulunduklarını kabul etmemiz gerekir. Oysa kaynaklar insan için her zaman gerekli olup, bunlar sürekli sağlanmalıdır. Kaynaklar insan takdirini yansıtıyorsa, kaynakların sınırları da insan yaratıcılığıyla belirlenebilir. Yani insanın kaynaklar üzerindeki algılaması ve bu kaynaklara yönelik davranışları önemlidir.

Kaynakların kuramı konusunda önemli çalışmaları olan Erich Zimmerman (Teksas Üniversitesi Ekonomi Profesörü) kaynakların takdir ya da işlevsel önemini ortaya koyarken kaynakların sadece bir nesneyi göstermediğini daha çok bir nesnenin yapabildiği bir işlevi tanımladığına işaret etmiştir. Bu değerlendirmeye göre kaynaklar yoktur, oldurulurlar (Mather ve Chapman, 1998). Yani herhangi bir gerecin belli bir amaçla kullanımı ve değeri insan tarafından kavrandığında, bu gereç bir kaynak haline dönüşür. Dolayısıyla kaynaklar, doğa tarafından değil, insan tarafından tanımlanmaktadır.

Özelliklerinden yararlanılan herhangi bir gereç de bu tanımlama ışığında bir doğal kaynak olarak kabul edilebilir. Örneğin; İskoçya dağlarında ya da Palandöken ve Erciyes dağlarındaki kar bile bir kaynaktır. İlk bakışta karlı ve soğuk iklimler insanlar ve diğer canlılar için tercih edilmez. Ne var ki bu dağlarda, kış turizminin bir uzantısı olarak kaymaya dayalı sporlar yapıldığından kar, bir çevre kaynağı kabul edilebilir. Buralarda karın bileşimi ve miktarı değişmemiştir. İnsanın kara karşı algılaması ve önemini kavraması değişmiştir. Bir zamanlar doğanın yararlı ve değerli bir parçası olarak kabul edilmeyen kar, insanın algılamasının gelişmesi sayesinde, ekonomik etkinliği destekleyen ve artıran bir doğal kaynağa dönüşmüştür.

Halklar arasında algılama farklılıkları vardır. Bu farklılıklara Güneydoğu Asya'daki tropikal yağmur ormanları uç bir örnek olarak Davidson (1990) tarafından sunulmuştur. Güneydoğu Asya'daki Cavalılar (bölgenin yerli halkı) ormanın bir kaynaktan çok bir tehdit olduğunu düşünür. Çünkü onlar evlerine ve ürünlerine zarar veren vahşi hayvanların ormanlarda saklanabildiği ve ormanların aslında şeytanın ruhunun bulunduğu bir alan olduğuna inanırlar. Onun için Cavalılar, evlerini ve arazilerini Endonezya'nın ormanlardan uzak bölgelerinde yapıp işletmeyi yeğlemektedirler. Onlara göre çayırlar kapalı ormanlara göre daha yararlı ve değerlidir. Bu alanlarda evcil hayvanlar yetiştirilebilmekte ve daha güvenli olarak avlanabilmekte, sonuç olarak geçimlerini de sağlayabilmektedirler. Zimmerman çevrenin böyle olumsuz olarak algılanan bölgelerini tanımlamak için "direniş" (karşı koyma) terimini kullanır (Mather ve Chapman, 1998). Oysa tüm planlamacılar, Güneydoğu Asya'nın çeşitli bölgelerinde yer alan ormanların kesilerek

bu alanların çayırlara dönüştürülmesini bir kaynak kaybı ya da çevrenin yozlaştırılması olarak kabul etmektedir.

Sonuç olarak, öyle görülüyor ki doğal ya da çevre kaynaklarını kavrama olgusu oldukça önemlidir. Yani bir nesneye **kaynak** diyebilmek için, öncelikle bir gerecin var olması ve bu gerecin bir işlevi olduğuna ilişkin insanın bir algılama yeteneğine sahip olması gerekmektedir. **Doğal kaynaklar** ya da **çevre kaynakları** ise doğal yer süreçlerinin ürünü olan ve işlevi insan tarafından algılanmış tüm kaynaklardır.

DOĞAL KAYNAKLARIN İŞLEVLERİ

Kaynakların yaratılması (var edilmesi), yetersizliği ve azalıp yok olması mümkündür. Kaynakların işlevlerini belirleyen bu niteliklerin ayrıntılı irdelenmesinde yarar vardır. Ayrıca çevre kaynakları çeşitli açılardan sınıflandırılabilmektedir. Bu sınıflandırmalar, kaynakların kökenleri ve çevresel etkileri açısından bir bütünsellik içinde ele alınmasını kolaylaştırmaktadır. Bu çerçevede aşağıda kaynakların yaratılması, yetersizliği ve azalıp yok olmasının yanı sıra kaynakların çeşitli açılardan sınıflandırılması ele alınmıştır.

Kaynakların yaratılması

İnsanın algılama yeteneği, bir gerecin özellikleri ile potansiyeli, teknolojik gelişmeler ve çevre açısından kabul edilebilir yöntemlerle bir gerecin üretilmesi gibi seçenekler, kaynakların yaratılmasında belirleyicidir. Yukarıda sunulan kar örneği çevre kaynaklarının yaratılabileceği bir yolu ya da yöntemi de gözler önüne sermektedir. Bu örnekte herhangi bir zaman diliminde önce yararlı ya da değerli olduğu kabul edilmeyen bir çevre bileşeni daha sonra bir kaynak olarak algılanmıştır. Bu algılama, insanların kara yönelik tutumunu ve boş zamanlarını değerlendirme yöntemlerini, yani kültürel ve toplumsal seçeneklerini de etkilemiştir. Ayrıca ortaya çıkan değişim, teknolojilere de yansıyabilir. Bu yolla çevrenin herhangi bir gerecinin yararlı olduğu ortaya çıkabilir. Teknoloji de bu gerecin kullanımına ilişkin gereksinimlerden doğar.

İlginç bir örnek de 19 yy kauçuk üretiminin keşfidir: Kauçuğun dayanıklılığı, seri üretilebilir niteliği ve esnekliği çok önemlidir. Kauçuk, öncelikle bisikletlerin lastiğinin üretiminde doğal bir ürün olarak kullanılmıştır. Daha sonra kauçuğun kullanım alanı genişlemiştir. Bugün kauçuk ağaçları (Ficus elastica) son derece önemli bir çevre kaynağını oluşturmaktadır.

Diğer bir örnek, İskoçya'daki ormanlaştırma çabasıdır. Önceleri, bu bölge ticari kereste üretimi için uygun görülmüyordu. Ancak ormancılık ve ağaçlandırma tekniklerinin gelişmesinden sonra İskoçya'da kereste üretimine uygun ağaçların yetiştirilmesi de bir hız kazanmıştır. Daha önce kerestelik ağaçların yetişmesine uygun olmayan alanlar, bu iş için uygun alanlar haline getirilmiştir. Burada itici güç, teknolojinin gelişmesiyle insanların gereksiniminin üst üste çakışmasıdır. Teknolojinin gelişmesine koşut olarak daha önce kullanılmayan maddelerin kullanılır hale gelmesi, yeni çevre kaynaklarını yaratmıştır. Daha da genellemek gerekirse kaynakların varlığının anlaşılması bir dizi evre içeren, yavaş ve dereceli gelişen bir süreçtir.

Başlangıçta kaynakların potansiyeli tanımlanır. Fakat kaynakların kullanım maliyeti ve kullanıma ilişkin ortaya çıkan teknik güçlükler nedeniyle bunların bir potansiyel olarak algılanmalarını zorlaştırmaktadır. Daha sonra ortaya çıkan teknolojik gelişmeler ve ürün maliyetndeki düşüşler, (bu da alternatif kaynakların maliyetinin yükselmesiyle birleştiğinde) söz konusu kaynağın kullanımını ekonomik olarak uygun kılabilirr. Başka bir deyişle teknolojik ve ekonomik ölçütler, bazen potansiyel bir kaynağın, gerçek bir kaynağa dönüşmesinin önüne geçmektedir.

Kaynakların yaratılmasında belirleyici diğer bir ölçüt de söz konusu kaynakların, (örneğin kimi zaman altın, kimi zaman petrolün) daha da önem kazanmalarıdır. Kaynak kullanımının sonuçları ve yan etkileri çevre anlayışında kabul edilebilir olmalıdır. Örneğin bazı madenlerin işletilmesi ormanların yok olmasına ve suyun kirlenmesine neden olmaktadır. Potansiyel bir kaynak, onu kabul edilebilir yöntemlerle ortaya çıkarmak olanaklıysa, gerçek bir kaynaktır. Değişen yaşam biçimleri ve sosyal değerler de

kaynakların türüne göre şekillenmektedir. Yaşam biçimindeki değişiklikler ekonomik ve teknolojik temellere sahiptir. Fakat böyle değişiklikleri tanımlamak ve doğrudan kestirmek (tahmin etmek) teknik ya da ekonomik bir olguyu tanımlamak ve kestirmekten güçtür.

Toplumların gelişmesinde kullanılan malzemeler her zaman büyük rol oynamıştır. Örneğin bazı malzemeler tarihi dönemlere adını vermiştir. Örneğin Taş Devri, Maden Devri, Demir Çağı, Bronz Çağı gibi. Günümüze de bir ad vermek gerekirse, herhalde Polimer Çağı demek yanlış olmazdı. Bugün insanın malzeme konusundaki algılaması geçmiş dönemlere göre çok ileri düzeydedir. İşlevsel polimer malzemeler sayesinde enerji, çevre kirliliği ve iletişim alanlarında kimi sorunların aşılması hedeflenmektedir. Örneğin 1977 yılında iletken polimerlerin (plastiklerin) keşfi iletişim teknolojisinin gelişmesini hızlandırmıştır. Çünkü bu malzemelerin işlenebilirliliği, kararlılığı, elektronik ve optik özelliklerinin ayarlanabilirliliği birçok alanda kullanımını kolaylaştırmaktadır. Polimerlerin özellikleri sadece kullanılan atomların kimyasal doğasına değil aynı zamanda atomların yapay bileşik içerisinde nasıl sıralandığına bağlı olarak değişmektedir.

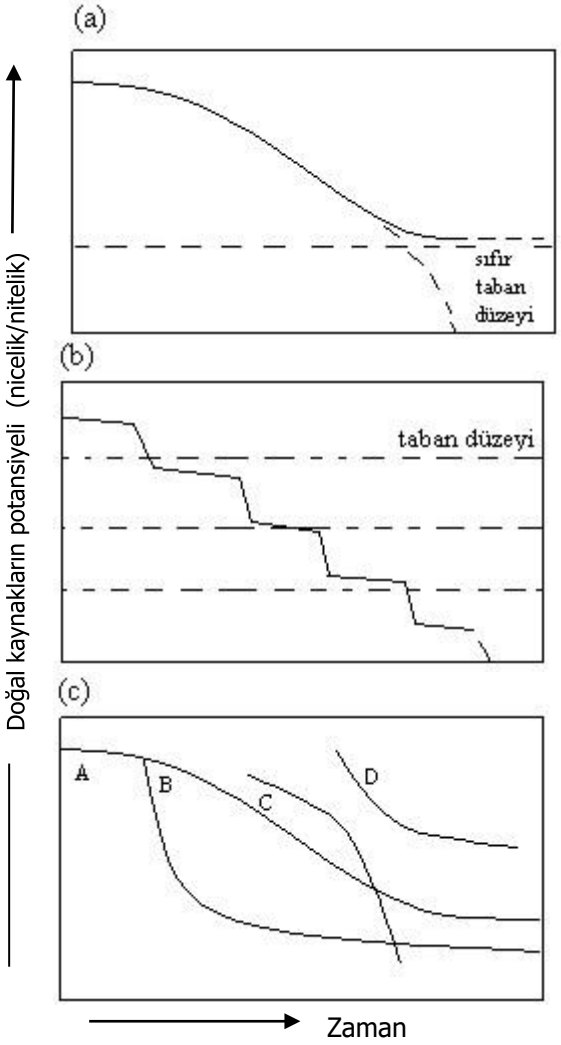
Kaynakların azalması ve tükenip yok olması

Kaynakların değerlerinin azalması, yeni kaynakların keşfi, teknolojinin kaynakların üretimi ve kullanımlarına yansımaları, kaynakların kullanım sonucu azalması, kaynakların yozlaşması (erozyonu) ve aşırı tüketim kaynakların azalmasında, tükenmesinde ve yok olmasında belirleyicidir. Kaynaklar, yaratıldığı gibi herhangi bir biçimde değerleri azaldığında tasfiye de edilebilirler. Örneğin İskoçya'nın orta kesimlerinin doğusunda **petrol-şeyl tortulları** 20 yy'ın başlarında petrol kaynağı olarak değerlendiriyordu. Dünyanın diğer bölgelerinde daha ucuz petrol üretimine geçilmesiyle şeyl tortullarındaki petrole gereksinim kalmadı ve bu yataklar terk edildi.

Yani daha ucuz ya da daha iyi bir kaynak belirlendiğinde, bu ürün önceki ürünün yerini alır. Benzer bir örnek de Şili'deki **doğal (guano) nitrat çökelleridir.** 19 yy'ın sonlarında bu yataklar nitrojenli kimyasal gübrenin ana kaynağıydı. Bu gübrenin tarımda kullanılıp kısa sürede tüketilmesinden endişe ediliyordu. 1. Dünya Savaşının hemen öncesinde Almanya'da atmosferden nitrojenli kimyasal gübre elde etme sanayi kurulunca ve bu sanayi gelişince, yani bu yeni teknolojik gelişme Şili'deki yatakların önemini yitirmesine ve bu kaynağın tasfiyesine yol açmıştır.

Diğer taraftan bazı çevre kaynakları da zamanla kullanılarak tüketilmektedir. Çünkü doğada kullanılan kaynaklar sınırlı olup herhangi bir kaynağın kullanılan bölümü tekrar yerine konulamamaktadır. Teknolojinin değişimi de kaynakların önemini artırmakta ya da öneminin yitirilmesine yol açmaktadır. Çevre kaynaklarının yok edilmesine neden olan başka bir biçim de kaynakların bozulması ya da yozlaşması olgusudur. Tarımdaki bazı uygulamalar toprağın aşınmasına ve giderek arazinin verimliliğinin düşmesine yol açmaktadır. Benzer şekilde bir kaynağın yaratılması, yok olmasından daha az ise zamanla kaynağın kendisi de tükenir. Örneğin avcılık ya da balıkçılığın doğal biyolojik süreçler gözetilerek yapılmazsa, çok yararlı bir kaynak zamanla tükenebilir.

Tüketim süreci, Şekil 1(a)'da "**sıfır taban düzeyinin**" (zero base level) tam mutlak tükenmeyi temsil ettiği yer görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi tüketim süreci bir dizi evre ya da aşama içerir. Teknolojide bir değişim ya da artan talep kaynakların giderek tükenmesine ve zamanla azalan basamaklı bir yapının gelişmesine yol açar (b). Başka bir farklılık da tüketim ilerledikçe bir kaynaktan başka bir kaynağa geçilmesidir (c). Sonuç olarak kaynakların kullanıp yönetim süreçlerinde tükenebilirler, zarar görebilirler ya da yok edilebilirler.



Şekil 1. Kaynakların tükenme eğrileri (Mather ve Chapman,1998).

(a) Kaynağın kısmen tükenmesi taban düzeyi üzerinde ya da tümüyle tükenmesi sıfır taban düzeyi ve altı, (b) Kaynak tükenmesi aşamalar halinde ve her aşama yeni bir teknolojiyi ya da ekonomik koşulu yansıtır. Tükenme süreci kaynağın en alt taban düzeyinin altına düşmesine kadar devam edebilir. (c) Tüketim süreci ilerledikçe bir kaynaktan başka bir kaynağa geçilmesi. Bu süreci yeni kaynakların keşfi ve yeni teknolojilerin ya da taşıma sistemlerinin gelişmesi yönlendirmektedir.

Kaynakların yetersizliği

Kaynakların yetersizliği, kıtlığı ya da sınırlı olmasının belirtileri ya da göstergeleri öz olarak kıtlık ya da açlık biçimlerinde ifade edilebilir. Günümüzde gıda ya da odun yakıtı gibi temel çevre kaynaklarının eksikliği birçok bölgelerde hissedilmektedir. Tarihte de önemli kıtlık dönemleri yaşanmıştır. **Çevrenin bozulması, göçler ve çatışmalar** kaynakların yetersizliğini yaratan başlıca nedenlerdir. Bu olgular, ortaya çıkan yeni gereksinimleri karşılamak üzere, yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına da kaynaklık ederler. Yetersizlikler, kaynakların kullanımında ve kavranmasında dramatik değişimlere yol açan büyük yenilikler için bir itici güç olarak da görülür. Bazı araştırıcılar İngiltere'de ortaya çıkan sanayi devriminin bile kaynakların kıtlığından kaynaklandığını ileri sürmektedir. Kullanılan kaynakların azalması başlangıçta bir uyarı işlemini görür. Bu da yeni bu kaynağın keşfine yol açabilir. Nüfus artışı ve tarımdaki düzenlenmelerin yanı sıra tükenmekte olan bir kaynağın yerine yeni bir kaynağı yaratma çabalarının

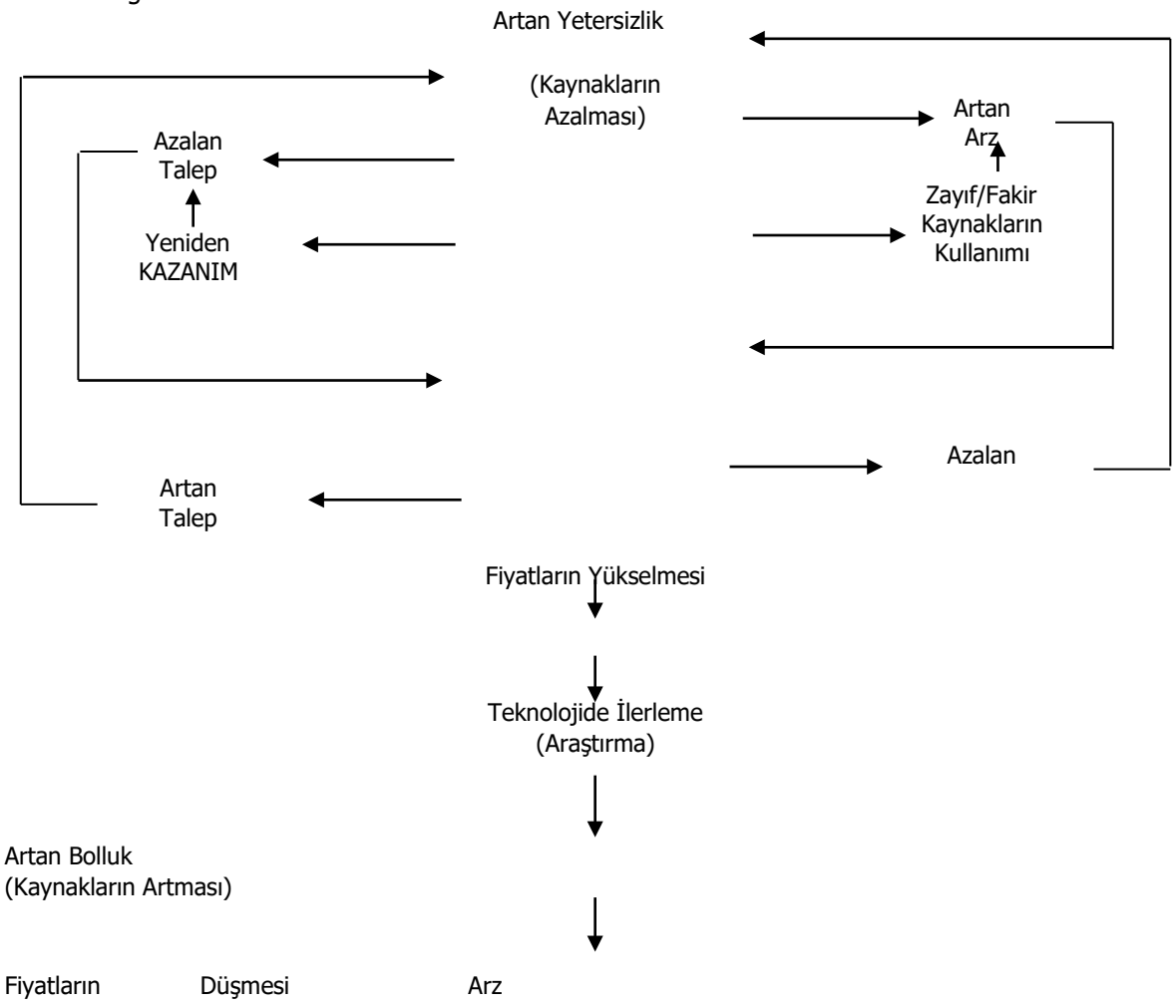
yetersizliği, insani beklentilerin sınırsızlığı ve gereksinimlerin giderek artması kaynakların yetersizliğine yol açan diğer etkenlerdir. Kaynakların yetersizliğinin başlıca türleri fiziksel yetersizlik, ekonomik yetersizlik, jeopolitik yetersizlik ve diğer yetersizlik biçimleri olmak üzere ayrılabilirler.

Fiziksel yetersizlik

Yeryuvarı'nın kapsadığı kaynakların yenilenemez ve belli bir oranda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Tüketim, bir kaynağa yönelik yetersizliğin doğmasına yol açar. Kaynağa gereksinim fazla ise, kaynak daha çok tüketilir. Böyle bir durumda kaynak çok büyük olsa bile zamanla yerine yenisi konulamadığı için bitme noktasına gelir. Kaynaklar fiziksel olarak azalınca da fiyatlar artar. Bu da talebin azalmasına yol açabilir. Şekil 2'de bu temel süreçler ile kaynakların yetersizliği ya da bolluğunun döngüleri arasındaki ilişkiler sunulmuştur. Ayrıca, fiyatlar ve enflasyon, arz ve talebin sonucu olarak belirlenir. Arz, yani üretim arttıkça, fiyatlar ve enflasyon düşer. Talep artarsa, fiyatlar ve enflasyon yükselir. Bu döngü, kamu yararına planlanmadıkça, arzı ve talebi kamu yararına dengelemek mümkün değildir.

Ekonomik yetersizlik

Yetersizliğin bir de ekonomik boyutu vardır. Bazı koşullarda, örneğin batı dünyası ülkelerinin çoğunda pazar arz, talep ve yetersizliği kapsayan bir çerçevede önemli bir öğedir. Eğer bir kaynağa ilişkin (gıda ya da yakıt gibi) bir ürünün fiyatı yükselirse iki kaçınılmaz sonuç beklenir. Talep azalır ve üretim fazlalığı ortaya çıkar. Buna göre, gereksinim var, ancak ekonomik yetersizlik nedeniyle talep yok. Örneğin, böyle bir ortamda çiftçilerin çok yüksek bir taban fiyatı istemesi de ekonomik yetersizliğe yol açar. Sonuç olarak ekonomik bir yetersizliğe yol açmayacak, arz ve talebin dengelendiği, bir ayarın korunması gerekmektedir.



Şekil 2. Kaynakların yetersizliği ve bolluğu ile gelişen süreçler arasındaki ilişkiler (Mather ve Chapman, 1998).

Jeopolitik yetersizlik

Bu tür bir yetersizlik örneği, 1970'li yıllarda ortaya çıkmıştır. 1973 yılında Arap-İsrail savaşında Arap ülkeleri petrol üretimini durdurup ve ABD ile Avrupa ülkelerine ambargo koydu. Bu olay, petrole bağımlı tüm piyasaları altüst etti. Petrol fiyatları yükseldi ve özellikle gelişmekte olan ve petrol yönüyle dışa bağımlı ülkelerin ekonomisi çökme noktasına geldi. Gelişmiş olan ülkeler ise petrolün fiyatının yükselmesi oranında ürünlerine zam koyarak korunmaya çalıştı. Ne var ki sonunda başta yine Arap ülkeleri olmak üzere tüm ülkeler petrol konusunda yeni bir arz-talep dengesini kurma ve piyasanın dengeye kavuşmasına gereksinim duydu. Buna göre gerekli düzenlemeler yeniden yapıldı. Demek ki hiçbir arz-talep sorunu yokken de salt jeopolitik yönelimler kıtlığa ya da yetersizliğe neden olabilmektedir. Bu da bir jeopolitik yetersizlik türüdür.

Diğer yetersizlik türleri

Yukarıda yapılan sınıflamalar çekici doğal güzellikleri, temiz hava ve su gibi temel kaynakları içermemektedir. Bunlar belki bir ölçüde birer fiziksel kaynak yetersizliği gibi algılanabilir. Ancak, bu kaynaklar tümüyle fiziksel kaynak yetersizliği grubuna girmezler. Onun için Rees (1991) kaynakların ya da gereçlerin niceliğinden çok niteliğinin önemli olduğunu ifade edilmektedir. Örneğin **estetik** bir yönüyle fiziksel bir tanım olmakla beraber çekici doğal güzellikler, örneğin kırlar söz konusu olduğunda niteliği vurgular. Aynı şekilde atmosferin yanan fosil kaynaklardan çıkan atık gazları emme (absorbe etme) yeteneği de atmosferin niteliğiyle ilgilidir.

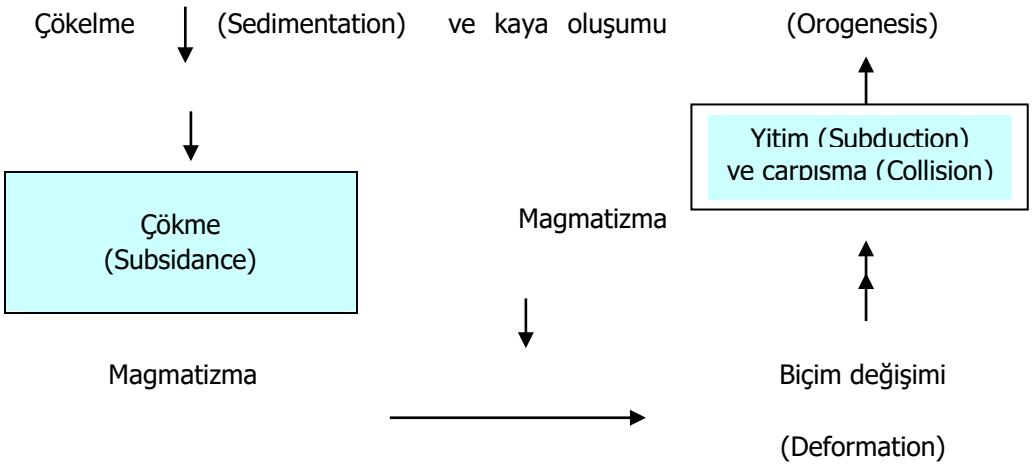
Ayrıca Ophulus (1977) tarafından tanımlanan ekolojik yetersizlik terimi de önemlidir. Ekolojik yetersizlik terimi Yer'in sınırlı kapasitesinden kaynaklanan gıda ve diğer çevre kaynaklarının fiziksel yetersizliklerini nitelediği gibi, yaşamı sürdürmek amacıyla Yer'in atık ve kirliliğini önlemede varolan doğal işleyişe ilişkin sınırlı yeteneği, yani bir yönüyle kaliteyi de ifade eder.

DOĞAL KAYNAKLARININ SINIFLANDIRILMALARI

Doğal (ya da Çevre) kaynakları sınıflamasının amacı, bu kaynakların ilişkilerini ve temel özelliklerini kavramayı kolaylaştırmaktır. Öte yandan kaynaklarla oluşum biçimleri arasında bazı temel ilişkiler kurulabilir. Örneğin bazen de kaynakları jeolojik süreçlere ve oluşum ortamlarına dayanarak da sınıflamak mümkündür. Şekil 3'te **Temel Jeolojik Döngü** ile Jeolojik süreçler arasındaki ilişkiler görülmektedir. Burada çevre kaynaklarının tümü, jeolojik döngünün (cycle) işleyişi sırasında gelişen süreçlerin birer ürünüdürler.

Dağların bozunması

Dağ oluşumu ve aşınması (Erosion) ←



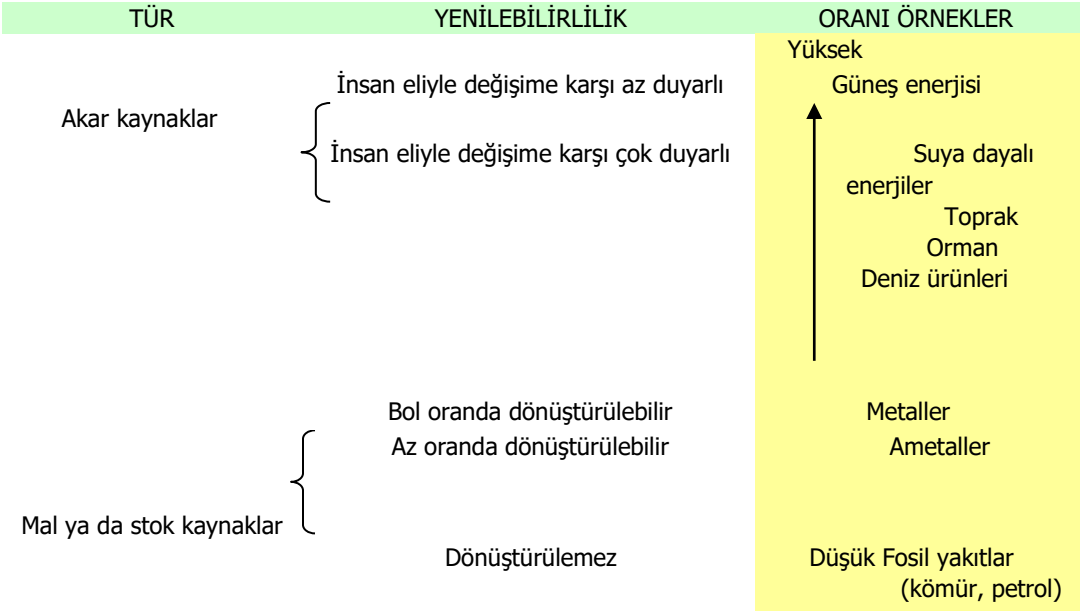
Şekil 3. Temel jeolojik döngü ve jeolojik süreçler.

Çizelge 1'de ise jeolojik süreçler ve oluşum ortamları gözetilerek çeşitli çevre kaynaklarına ilişkin örnekler sunulmuştur. Böyle bir sınıflama, çevre kaynaklarının kökenini irdelemeyi kolaylaştırır.

Çizelge 1. Doğal kaynaklarının jeolojik süreçler ve oluşum ortamlarına göre sınıflandırılması (Gümüş, 1998 ve 1999'dan yararlanarak hazırlanmıştır).

I. Dış oluşumlar	**Örnekler**
Fiziksel süreçler	
1- Karasal ortam (Akarsu, göl, rüzgar koşulları)	Kil, Kömür, Plaser Altın
2- Kayanın ayrışması (kalıntı-residuel)	Kalıntı Fe, Cr, Ni
3- Denizel ortam	Kil, Fosfat
Kimyasal ve biyolojik süreçler	
1- Karasal ortam (Yeraltı su dolaşımı)	Boksit, kaolen
2- Buharlaşma/Evaporasyon (Göl ya da sığ deniz)	Tuz, Potas, Jips, Anhidrit
3- Göl-bataklık	Linyit, Petrol-Şeyl
4- Sıcak su kaynakları	Tüf, Gayzerit, Sıcak buhar
5- Denizel ortam	Diyatomit, Petrol
II. İç oluşumlar	
Sular aracılığıyla	
1- Soğuk su, yeraltısuları, seçimli çökelim	U
2- Sıcak su (hidrotermal süreçler)	Au, Cu, B ve Zn, Pb
Magmatik oluşumlar	
1- Kristalleşme sırasında farklılaşma (differansiyasyon)	Cr, Anortozit, Pb
2- Sıvı evrede ayrışma	Kükürt ve Ni
3- Magmatik enjeksiyon	Mn, Pb
4- Pegmamatitik-pnömalotilik süreçler	Li, Mika
5- Basınç ve sıcaklık koşullarında değişim (metamorfizma)	Grafit, Mermer, Antrasit
6- Pirometasomatik süreçler	Fe, Mn, Pb

Ayrıca doğal (çevre) kaynakları az ya da bol oranda bulunmalarına ya da yenilenme oranı gibi özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Bu konuda en basit ve yaygın sınıflama, kaynağın türü ile yenilenebilirlilik arasındaki ilişkiye dayanmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Doğal kaynaklarının yenilenebilirliliğin oranına göre türleri (Mather ve Chapman, 1998).

Burada, güneş enerjisi ve suya dayalı enerjiler, akar kaynaklara örnek verilebilir. Bu kaynaklardan en azından insanlık var oldukça sürekli olarak yararlanılabilir. Toprak ya da orman gibi kaynaklar potansiyel olarak yenilenebilir akar kaynaklardır. İlk gruptaki kaynaklar insan tarafından değişime uğratılamayacak kadar büyük ölçüde bağımsız gelişen bir yapıya sahiptirler. İkinci grupta yer alanlar kullanım sırasında kolaylıkla insan tarafından değişime uğrayabilirler.

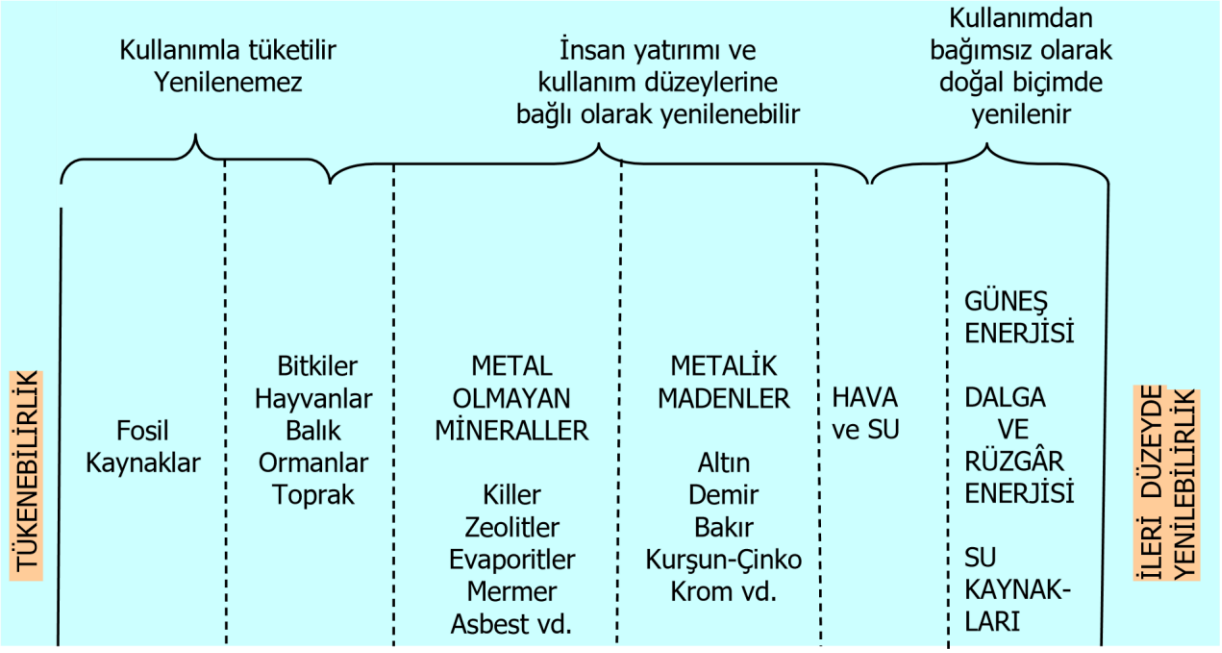
Mal ya da stok türde olan kaynaklar başlıca metaller, sanayi hammaddeleri ve kömür, petrol ya da doğal gaz gibi fosil yakıtlar, sınırlı bir oranda bulunurlar ve yenilenemezler. Bir yönüyle bu kaynaklar eski jeolojik devirlerde oluşmuş akar bir kaynağı temsil ederler. Ancak bugün için söz konusu süreç geçerli değildir. Metallerin fosil yakıtlardan farkı geri dönüştürülüp yeniden kullanılabilir oluşlarıdır. Yani metal ürünleri, doğal hammaddeler olarak yenilenemese de dönüşüm yoluyla kullanılabilirler.

Araziyi ya da toprağı akar kaynak ya da stok sınıflamasının çerçevesinde bir yere oturtmak oldukça güçtür. Arazi çeşitli açılardan yararlı ve değerli bir kaynaktır. Arazinin uygun kesimlerinde evler fabrikalar yaparız ve bu yönüyle arazi bir stok kaynağı gibi değerlendirilebilir. Arazi sürekli olarak her zaman için tüketilemez. Çünkü arazinin kapsadığı alan yok edilemez. Ancak, örnek vermek gerekirse kömür kullanıldıkça azalmakta ve bir gün tümüyle tükenecek olup, geride sadece CO_2 ve kül gibi atık ürünler kalacaktır. Bu yönleriyle arazi inşaat için gerekli bir alan olarak yenilenebilir ve gerçekte sürekli bir kaynaktır. Diğer taraftan arazi ya da toprak, gıda ve odun, kereste gibi ürünler işlevsel olarak akar kaynaklar olarak değerlendirilebilir. Arazi kullanımının bazı biçimleri arazinin yozlaşmasıyla sonuçlanabilir. Bu da yukarıda belirtilen ürünleri üretme yeteneğinin azalması ya da kaybına yol açabilir. Sonunda arazi yenilenemez bir kaynağa da dönüşür.

Arazi (gıda üreten toprak olarak) ve deniz (bir balıkçılık kaynağı olarak) yenilenebilir ve duyarlı akar kaynaklar grubunda da yer alırlar. Ancak aşırı balık avlama bu kaynağın yenilebilirliliğini tehdit edebilir ve bu kaynak da uygulamada mal ya da stok kaynağı gibi bir yapıya, yani tükenir kaynaklar

grubuna dönüşebilir. Akar çevre kaynaklarının kullanımı, belli bir düzeyi aşarsa bu kaynaklar yenilemezler ve akar olma niteliklerini yitirirler.

Şekil 5'te sunulan ve kaynaklar arasında değişimi ve sürekliliği esas alan sınıflama daha gerçekçidir. Burada insan eliyle değişime karşı duyarlılık derecesi ve yeniden kazanımın olası olduğu bir duruma bağlı olarak yapılan ikili sınıflama geliştirilmiştir. Burada bir uçta yenilenemez ve tükenebilir nitelikte fosil kaynaklar, diğer uçta güneş enerjisi ve su kaynakları gibi ileri derecede yenilenebilir kaynaklar yer almaktadır.



Şekil 5. Kaynakların süreklilik içinde yenilebilirlik derecesini ve geçişini sunan sınıflama (Mather ve Chapman, 1998).

Ayrıca, yeni sınıflamalar da geliştirilebilir. Akar kaynaklar gübreleme ya da diğer tarım tekniklerinin uygulanmasıyla, yani yeni yönetim biçimleriyle artabilir ya da aşırı ürün alma gibi yöntemlerle de azalabilir. Sunulan kitapta çevre kaynakları için köken, işletme biçimleri ve kullanım alanlarını genel olarak yansıtan bir sınıflama örneği öngörülmüştür. Bu açıdan çevre kaynaklarının Metalik madenler, Sanayi hammaddeleri ve Enerji hammaddeleri biçiminde sınıflandırılarak sunulması tercih edilmiştir.

ZAMANA VE YERE (MEKÂNA) GÖRE DOĞAL KAYNAKLARIN ÖNEMİ VE KONUMU

Bu bölümde kaynakların dünyadaki dağılımı ve zamanla nasıl kavrandığı ve kullanıldığı gözden geçirilecektir. Küresel fiziksel çevre tekdüze değildir. Yeryüzünde iklim ve toprak türü büyük değişiklikler gösterir. Nüfusun dünyadaki dağılımı ve çevre kaynaklarına yönelik talep de oldukça değişen bir yapı sunar.

Geçmişte insanlar, yalnızca yerel doğal kaynaklarına ilgi göstermişlerdir. Bugün dünya çapında işleyen doğal (çevre) kaynakları vardır. Yani insanlar, geçmişte yerel eko-sisteme bağlı olarak yaşayan topluluklar halinde iken, şimdi dünyanın her yerini kullanan biyosfer insanları oluverdik (Dasmann, 1988). Doğal kaynakların kullanımı da zaman ve mekân içinde değişime uğramıştır. Bu değişim, doğal (çevre) kaynaklarının yönetiminde de yeni bir bakışın gelişmesine yol açmıştır.

Doğal (Çevre) kaynaklarının bulunduğu yerler ve çevresel özellikleri

Bazı çevre kaynakları oldukça yerel küçük bir alanda yer alırken bazıları da hemen hemen her yerde vardırlar. Örneğin atmosfer ve oksijen yaşamın olduğu her yerde var, okyanuslar oldukça yaygın olup kara parçaları ise geniş bir alan kapsarlar. Bu ortamların özellikleri çevre kaynaklarının basit bir sınıflaması için de temel oluştururlar. Her yerde var olan ya da yerel kaynaklar sınıfı gibi. Diğer taraftan bazı kaynaklar oldukça sınırlı küçük bir alanda yoğunlaşmıştır. Örneğin bazı mineral kaynaklarının yalnızca bazı dağ kuşaklarında yoğunlaştığını biliyoruz. Bu kaynakların rezervi, yani miktarı ve kayadaki oranı (tenörü), ayrıca işletilip işletemeyecekleri gözden geçirildiğinde kaynağın kullanılabilen bölümünün çok sınırlı yerel bir alanda yer aldığını söyleyebiliriz.

Kaynakların yeri ve çevresel özellikleri (örneğin yol durumu, değeri, taşınma maliyeti gibi) kaynaktan yaralanabilecek insan topluluklarına yani pazara olan uzaklığı önemlidir. Biri yakın, diğeri uzak olan aynı türde iki kaynaktan ilki daha yararlanabilir bir durumdadır. Kaynağın değeri ve taşınma maliyeti kaynağın bulunduğu yere göre değişir. Kaynağın bulunduğu yerin politik sınırlarla çevrili olması da önemlerini ve kullanabilirliklerini belirlemektedir. Kaynakların niteliği, niceliği ve bulundukları yerler fiyatların belirlenmesinde önemli rol oynarlar. Kaynakların ekonomisi de üretime ve geçerli olan fiyatlara göre şekillenir. Dünyada geçmişte ve günümüze var olan savaşlar, çevre kaynaklarının bulunduğu yerleri paylaşmaya dayanmaktadır.

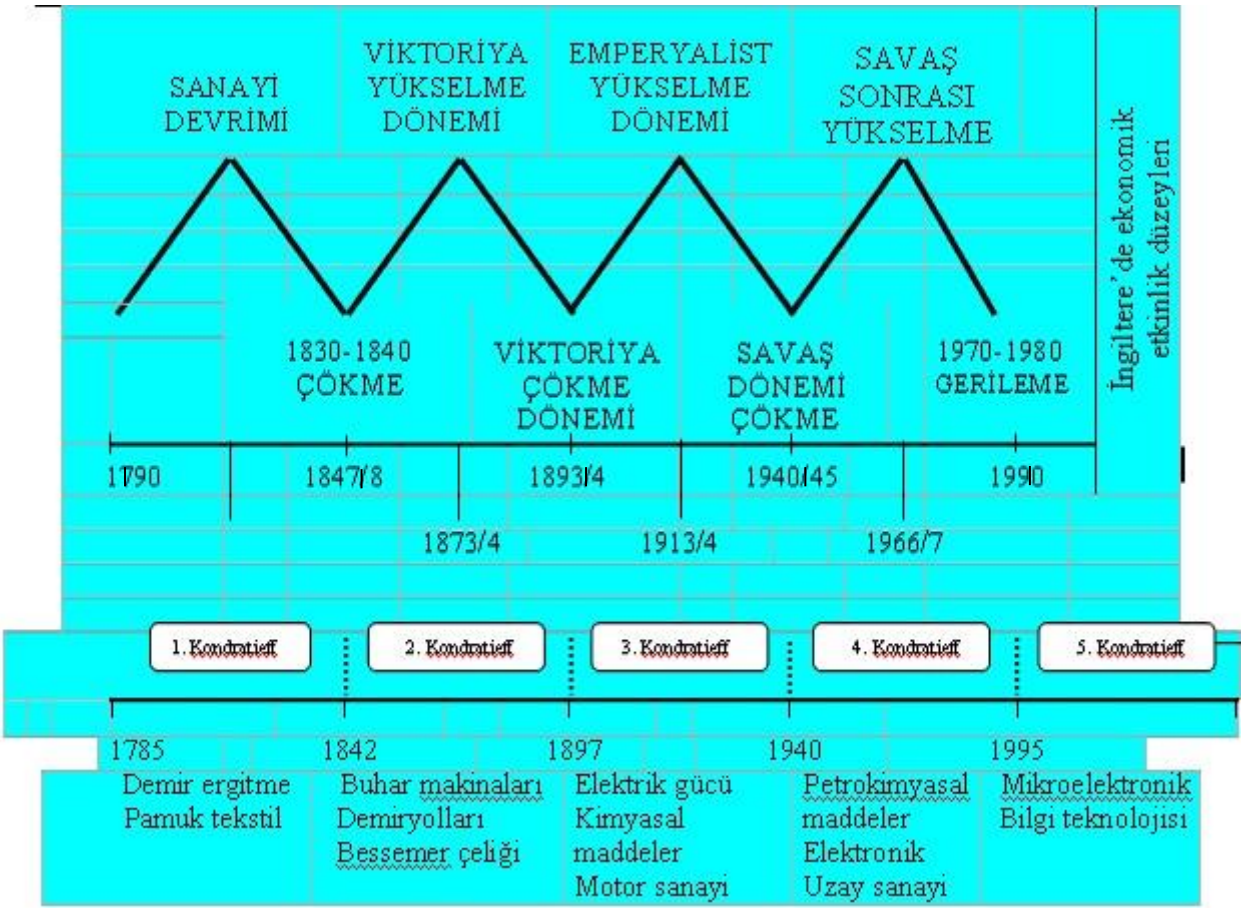
Sonuç olarak, kaynağın bulunduğu yer ve yerin çevresel özellikleri kaynağın çalışabilirliğini de tayin etmektedir. Zaman içinde insanların gereksinimleri doğrultusunda oldukça uzak olan bazı kaynakların kullanabilirliliği de gündeme gelmiştir. Örneğin son yıllarda Avustralya gibi uzak yerlerdeki altın (Au) yataklarına bile gereksinim doğmuştur.

Kaynak kullanımının temel döngüleri

İnsanlık tarihine bakıldığında insanların çevre kaynaklarını kullanımı önce kaynağı tanıma ile başladığını, tarımla geliştiğini ve sanayi devrimi ile doruğa çıktığını görürüz. Bu süreç içinde insanların çevre kaynaklarını algılaması gelişmiş ve tarımda, avcılıkta kullanılan alanlar giderek genişlemiş ve sanayinin gelişmesine katkıda bulunabilecek kaynakların türü artmıştır.

1500'lü yıllarda Avrupa ve Ortadoğu'da şekillenen dünya ekonomisi, 1700'lü yılların sonuna doğru tüm dünyayı içine alan dengeler üzerinde gelişimini sürdürmüştür. Bu gelişime uygun olarak karayolu, demiryolu ve deniz taşımacılığı da artmıştır. Çevre kaynakları önce bazı merkezlerde geniş bir kullanım alanı bulmuş, bu merkezler de büyüyerek tüm dünyayı içine alan tek ve genel olan günümüzdeki küresel sistemin temelini oluşturmuştur. Dünya ekonomisi de yukarıdaki gelişime uygun olarak ekonomik açıdan büyüme ile gerilemenin birbirini izlediği temel bir döngünün oluşmasına sahne olmuştur.

Çekirdek ekonomilerin sürekli büyümesi, gıda hammadde ve enerji gibi çevre kaynaklarına olan gereksinimi artırmaktadır**. Ekonomik büyüme** sürekli ve düzenli bir gidiş göstermez, inişleri ve çıkışları içeren dalgalı bir yapı sunar. Bazı yorumcular bu dalgalı düzeni, temel döngülerin gelişimi olarak irdelenmiştir. Rus ekonomisti Nikolai Kondratieff, 18 yy'ın sonundan itibaren, yaşadığı 1920'ye kadarki zaman aralığında kaynak fiyatlarındaki dalgalanmalara bağlı olarak ekonomide büyüme ve küçülmenin birbirini izlediği üç dalgayı tanımlamıştır. Bu dalgaların her birinin döngüsü yaklaşık olarak 50 yılda tamamlanmakta olup daha sonraki yıllarda meydana gelen dalgalanmalardaki evreleri de içeren yapının bir bütün olarak yazara izafeten Kondratieff döngüleri olarak adlandırılması benimsenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Ekonomik etkinliğin dalgalı yapısı ve yenilenme döngüleri (Healey ve İlbery,1990; Mather ve Chapman, 1998).

Yukarıda sunulan dalgalı yapı genel olarak benimsenmekte ve geleceğe yönelik olarak neler olabileceği hususunda yol göstermektedir. Her dalgada farklı sanayi ürünleri ve kaynak talebi gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. Ürünlerin fiyatlarındaki dalgalanmalar Kondratieff'e göre kaynakların bolluğu ya da yetersizliğini yansıtacak biçimde gelişir. Yetersizlik, yüksek fiyatlara neden olur ve bu da yeni alanların üretime açılmasıyla aşılabilir. Özellikle döngülerin teknolojik gelişmelerle ilişkisi tartışma konusu olmuştur. Yeni teknolojiler, yeni kaynak gereksinimlerine neden olur. Bu da ekonomik büyümenin hızlanmasına yol açar. Daha sonra yeni gereksinimler, kaynakların azalmasına ve fiyatların tekrar yükselmesine ve ekonomik büyüme oranının düşmesine neden olurken döngü de tamamlanır.

Ekonomik servetler kaynakların artması ya da azalması arasında gidip gelen genişleme ve daralma oranına göre zaman içinde dalgalanarak seyretmiştir. Kondratieff'in 50-55 yıl sürelerle sınırlı döngüleri, 400 yıllık 1500-1900 yılları arası uzun süreli bir zaman aralığında yer almaktadır. Bu süre içinde doğal kaynaklar, potansiyel alanların yeniden ele alınması sonucu genel olarak giderek artmıştır.

Zobler (1962) uzun süren bu genel döngüleri insanlık tarihi bakış açısı içinde kaynakların giderek arttığı bir genel evre olarak kabul etmekle beraber, bundan sonra ise kaynakların giderek azalacağı bir döngüyü yansıtan uzun ve genel bir evreye hazırlanmamız gerektiğini ileri sürmektedir. Gerek kısa dönemli gerekse uzun süreli döngülerde meydana gelen dalgalanmalar yukarıda sunulduğu gibi düzenli ve simetrik olmayabilir. Ne var ki tüm dünyada kaynaklarla ilgili dalgalanmaların çevre kaynaklarının kullanımında ortaya çıkan önemli etkileri yansıttığına da kuşku yoktur.

Schumpeter 1939 yılında yayımladığı İş Döngüleri (Business Cycles) isimli yapıtında kapitalist sistemde ortaya çıkan 50-60 yıllık uzun döngülere, teknolojik yeniliklerin neden olduğunu ileri sürmüştür (Eşiyok, 2014).

Çevre hareketleri ve değişim

Günümüzde çevre ve kaynaklarla ilgili kaygıların ve çağdaş çevreciliğin ortaya çıkması Mauritius, St. Helena ve Barbados gibi küçük tropikal adalarda bazı gözlemler sonucu olmuştur. Egemen güçlerin dünya ekonomisine hakîm olmasından sonra yabani hayvan türlerinin ve ormanların aşırı tüketimi sonucu, bu adalardaki kaynaklar tükenme noktasına gelmiştir. Çevresel bozulma ve çevresel yıkımının açık belirtileri 18 yy' da bile çeşitli hükümetlerin ormanları koruma beyannameleri yayınlamasına yol açmıştır. Daha sonra 19 yy boyunca, Güneydoğu Asya, Hindistan ve Afrika'nın bazı yörelerinde çeşitli önlemler alınmıştır. Dünya çapında sonuçları olan çevre hareketleri ise ABD'de ortaya çıkmıştır. ABD gibi kaynakları zengin olan bir yerde böyle hareketlerin ortaya çıkmasının nedenleri tartışmalıdır. Kaynakların belirgin bir biçimde tüketilmesiyle orman ve tarım arazilerinin bozulmasının açık belirtilerinin yanı sıra konuya ilişkin felsefi temelleri oluşturan liderlerin bu ülkede ortaya çıkışı başlıca nedenler olabilir.

19 yy sonlarından günümüze değin devam eden süre içinde üç önemli çevre hareketi gelişmiştir. Bu hareketlerden ilki, 1890-1915 arasında meydana gelmiştir ve çevresel kaynaklardaki (kullanımın gözden geçirilmesiyle beraber olasılıkla) yetersizliklerin tanımlamasıyla karakterize olmuştur. Bu dönemde doğal kaynakların denetimi henüz birkaç zengin ve güçlü zengin kapitalistin elinde idi. Bu dönemde kaynakların sınırlı olduğu anlaşılmıştır. Ulusal orman politikaları ve çekirdek ulusal park sistemleri geliştirildi. Bu hareket, kaynakların korunmasından çok, verimli kullanmasıyla ilgili olup temel bakış, çevreye saygıya dayandırılmıştır.

İkinci hareket, 1930'larda doruğa ulaşmış olup bilim ile teknolojinin kaynak yönetimini geliştirebileceğine olan inanca dayalıdır. Bu dönemde ortaya çıkan büyük ekonomik kriz, insanları kaynakların kullanımları konusundaki tutumunu gözden geçirmeye yöneltmiştir. Bu dönem planlama, etkin kaynak yönetimi ve çevreyi koruma konularında hükümet müdahalelerine ve yasal düzenlemelere gereksinimlerin açık bir biçimde ortaya çıktığı dönemdir. Ayrıca yasal düzenlemeleri denetleyen
organlar oluşturulmuştur.

Üçüncü hareket ise 1960'lı ve 1970'li yılların başlarında gelişmiş, 1970'li yılların sonlarına doğru etkinliğini yitirmiş ve 1980'li yıllarda tekrar doruğa çıkmıştır. Onun için bu hareket sırasında halkın endişeleri en üst düzeyde politik destekle bütünleşmiştir ve uluslararası bir niteliğe bürünmüştür. Çevre kirliliğinin çevre kaynakları kullanımının bir sonucu olduğu anlaşılmıştır. Hızlı nüfus artışı ve temel kaynakların tükenebileceğinin görülmesi, yeni hükümet müdahalelerine ve yaptırımlara ve nihayet yeni yasal organların oluşmasına yol açmıştır. Ayrıca çevreye ilgi duyan çeşitli örgütler gelişerek önemli birer baskı grubu olmayı başarmıştır. ABD ve İngiltere'de milyonlarca üyesi olan oldukça etkin çevre dernekleri vardır. Dolayısıyla bu hareket öncekilerden daha farklı etkin ve geniş bir harekettir. Günümüzde, çevre hareketlerinin ulusal örgütlenmelerin yanı sıra uluslararası bir kimliği de vardır. Çünkü tüm insanları ve doğayı kucaklayan bir hareket olarak gelişimini sürdürmektedir. 1972'de Stokholm'da, 1992'de Rio'da yapılan toplantılar çevrede dünya zirvesi olarak kabul edilir.

Öyle görülüyor ki önümüzdeki yıllarda bu hareket, kaynak yönetiminde sürekli olarak devam edecektir. Zaman içinde ekonomik etkinliklerle çevresel tepkileri birleştiren ortak öğeler doğrultusunda çevre hareketleri elbette bir değişime uğrayacaktır. Çevredeki değişim iklimi de etkileyecektir. 20 yy'ın sonunda küresel ısınma nedeniyle, iklimde de büyük bir değişimin yaşandığı ortaya çıkmıştır.

Jeolojik zaman çizelgesinde buzul çağları ile buzullar arası çağların birkaç on bin yılda bir birbirini izlediği bilinmektedir. Tarihi devirlerde de önemli iklim değişimleri yaşanmış ve ekilebilir alanların uzun

süre kullanılmadığı bilinmektedir. İklimdeki değişimi ve bunun çevre kaynaklarına yansımaları İngiltere'de özellikle İskoçya'da ve İskandinav ülkelerinde açıkça görülmektedir. İklimdeki değişim, insan topluluklarının yer değiştirmesine de yol açmaktadır. Yer değiştirmeler zaman ve mekân içinde düzensiz karmaşık bir süreci yansıtır. Bu sürecin anlaşılması ve denetlenebilme noktasına gelmesi insanlığın gelecekteki en önemli sorunu olacaktır.

SONUÇ

Yukarıda, kaynakların işlevleri bağlamında kaynakların yaratılması, tükenmesi, yetersizliği ile bolluğu arasında gelişen süreçler arasındaki ilişkiler ayrıntılı olarak sunulmuştur. Ayrıca, zamana ve yere göre kaynakların önemine ve konumuna dair göstergeler, kaynak kullanımının temel döngüleri ve meydana gelen değişimlerin çevre hareketlerine yansımaları değerlendirilmiştir. Özellikle temel döngüler irdelendiğinde, serbest piyasada arz-talep ilişkisi belirleyicidir. İşte bu karmaşık dünyayı günümüze uyarlamakta yarar vardır. Yukarıda sunulan ilişkilerde ve değerlendirmelerde faizenflasyon ilişkisinin özel bir yeri vardır. Bu nedenle, son yıllarda yaşanan enflasyonun çevremize ve yaşamamıza etkileri ile çıkış yolları irdelenmelidir. Bunun için Eğilmez'e (2022) kulak vermekte yara vardır:

Enflasyon, çeşitli mal ve hizmetlerin fiyatlarının, aile bütçelerinde yer alan kullanım ağırlıklarına göre dâhil edildiği bir sepetin aylar itibarıyla değerindeki değişimle ölçülür. Bu sepete endeks denir. Endeksin genel düzeyinin sürekli olarak artmasına enflasyon denir. Bir başka tanıma göre paranın satın alma gücünün belirli bir dönemde düşmesine enflasyon denir. Enflasyonu ölçmekte kullanılan başlıca iki sepet (endeks) vardır. (1) Tüketici Fiyatları Endeksi (TÜFE) ve (2) Üretici Fiyatları Endeksi (ÜFE).

Enflasyonun kaynakları başlıca (1) Talep enflasyonu, (2) Arz enflasyonu (maliyet enflasyonu), (3) Dolarizasyon oranının (döviz mevduatı / toplam mevduat oranı) değişimi, (4) Yerleşik enflasyon (built in inflation) olarak sıralanabilir. Enflasyon türleri de (1) Ilımlı (sürünen) enflasyon, (2) Yüksek enflasyon, (3) Hiper enflasyon olarak tanımlanmaktadır.

Enflasyonla mücadelede iki farklı politika kullanılır: (1) Maliye politikası, (2) Para politikası.

Maliye politikası vergiler, kamu harcamaları ve kamu borçlanmalarından oluşan bir araçlar setine sahiptir. Enflasyonun yükselmeye yöneldiği dönemlerde vergiler artırılır, kamu harcamaları düşürülür ve kamu borçlanması artırılır. Böylece piyasadaki fazla likidite çekilerek talebin düşürülmesi ve bu yolla enflasyonun denetim altına alınması amaçlanır. Buna karşılık vergiler artırıldığında bu artışlar maliyet artışı olarak fiyatlara yansıyacağı için enflasyonu yukarı itebilir. O nedenle bu araçları kullanırken ekonomide yaşanan enflasyonun talep enflasyonu mu, maliyet enflasyonu mu yoksa yerleşik enflasyon mu olduğuna dikkat edilmelidir. Maliye politikası, Hazine ve Maliye Bakanlığı tarafından uygulamaya konulur ve yürütülür.

Para politikası zorunlu karşılıklar, açık piyasa işlemleri ve faiz düzenlemelerinden oluşan bir araçlar setiyle yürütülür. Para politikasını yürütmekle görevli olan merkez bankası, bankaların açacakları kredilerin miktarını zorunlu karşılık oranlarını artırarak azaltabilir, açık piyasa işlemleri yoluyla piyasaya elindeki tahvil ve senetleri vererek fazla likiditeyi çekebilir ve politika faizini artırarak piyasada faizlerin artmasına yol açabilir. Bütün bu uygulamalar piyasadaki likiditeyi daraltarak talebin düşmesine dolayısıyla fiyat artışlarının yavaşlamasına neden olur. Para politikası araçları bir yandan talep enflasyonunu denetlemeye yönelirken bir yandan da dövize kayışı (dolarizasyonu) önlemeye hizmet ederek yerel paranın yabancı paralar karşısında daha fazla değer kaybetmesini ve maliyet enflasyonuna yol açmasını engellemeye yarar.

Hedef, enflasyonu düşürmek olarak belirlenmişse bir süre öteki hedeflerden fedakârlık edilmesi, maliye ve para politikalarının birlikte bu hedefi tutturmaya yönlendirilmesi gerekir. Vergi indirimleri yaparak ya da kamu harcamaları artırılarak gevşek bir maliye politikası izlenirken faizleri artırarak sıkı para politikası izlenmesi ya da sadece faizleri düşürerek beklenen sonuçlara ulaşılamayabilir. Türkiye'nin yaşadığı enflasyon tipik bir maliyet enflasyonu- talep enflasyonu- yerleşik enflasyon karmasıdır. Maliyet artışları fiyatlara yansıdıkça, enflasyon yükselmektedir. İnsanlar, enflasyonun yükseldiğini görünce,

alacakları mal ve hizmetleri fazlasıyla alarak stoklamaya ve fiyat artışlarının etkisini azaltmaya yönelmektedir. Bu da bir kısır döngünün yaşanmasına yol açmaktadır.

Sonuç olarak, sadece faiz indiriminin enflasyonu düşürmede herhangi bir etkisinin olmadığı açıkça görülmektedir. Hatta, gelişmiş ülkelerde, enflasyon arttığında hemen faizler de artırıldığında, enflasyon gerilemektedir. Ayrıca, enflasyon artış nedeni de sadece küresel etki ile ilişkili değildir. Zamanında alınmayan ekonomik önlemler, önünü görememe, yanlış politikalar, kriz fırsatçılığı ve rant ekonomisi enflasyonun temel nedenleridir. Öncelikle, siyasi açıdan güven veren demokratik ve ekonomik açıdan özerk bir yapının oluşması, kamu kurum ve kuruluşlarına atamalarda yeterliliğe (liyakata) özen gösterilmesi ve profesyonel, ekonomiyi bilen bir ekip ile yola devam edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Dasmann, R.E., 1988, Towards a biosphere consciousness. In Waster, D. (ed), The ends of the earth: perceptions on modern environmental history. Cambirdge: CUP, s. 177-188.

Davidson, J., 1990, Values and uses: seeing the forest through different eyes. In Webb, L. J. and Kikkawa, J. (eds), Australian tropical rain forests: science, values and meaning. Melbourne: CSIRO, s. 124-132.

Eğilmez, M., 2022. Ünlü Ekonomist Mahfi Eğilmez enflasyounun patlama nedenini tek tek anlattı https://www.yenicaggazetesi.com.tr/mobi/unlu-ekonomist-mahfi-egilmez-enflasyonun-patlamanedenini-tek-tek-anlatti-528006h.htm; Erişim, 5 Nisan 2022 Salı, 12:18.

Eşiyok, B. A., 2014, İktisat kuramları çerçevesinde teknolojiye panoramik bir bakış, CBT (Cumhuriyet Bilim Teknoloji, no. 1437, 3 Ekim 2014, s.8-9.

Gümüş, A., 1998, İç Olaylara Bağlı Maden Yatakları. Bilim Ofset, Bornova, İzmir, 481s.

Gümüş, A., 1999, Dış Olaylara Bağlı Maden Yatakları, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, No 276, Bornova-İzmir, 210s.

Healey, M.J ve Ilbery, B.W., 1990, Location and change: pespectives on economic geography. Oxford: OUP.

Mather, A.S. ve Chapman, K., 1998, Environmental Resources: Addison Wesley Longman Edinburg Gate Harlow Essex CM 20 2 JE, England, 279s.

Ophulus, W., 1977, Ecology and the politics of scarcity: prologue to a political theory of the steady state. San Francisco. W.H. Freeman.

Rees, J., 1991, Resources and the environment: scarcity and sustainability. In Bennett, R.J. and Estall, R.C. (eds), Global change and challenge. London: Routledge, s. 5-26.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

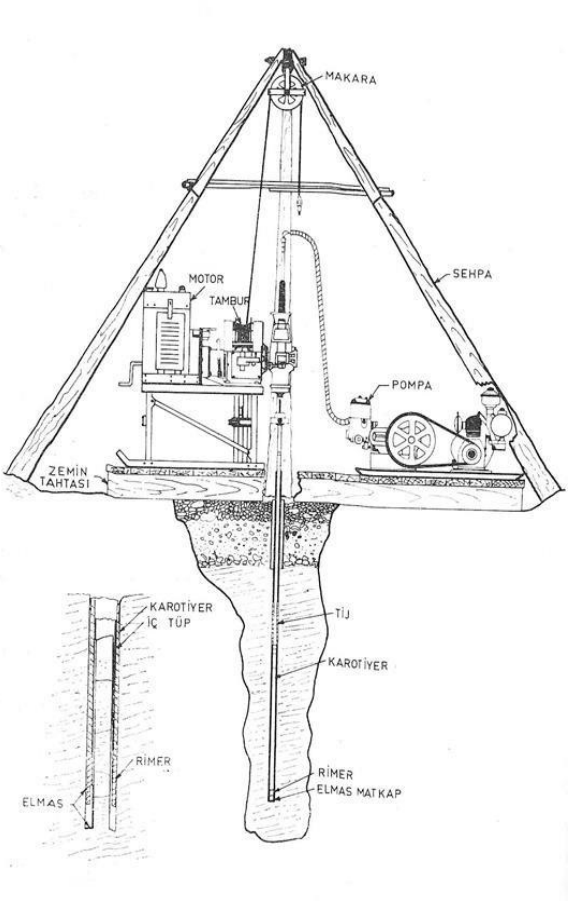
Zobler, L., 1962, An economic-historical view of natural use and conservation. Economic Geography, 38, 189-194.

1. 2, MADENCİLİK: OCAK İŞLETME VE CEVHER ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

GENEL BİLGİLER

Nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve buna bağlı sanayileşmenin yanı sıra kentleşme ve turizm alanlarındaki gereksinimler doğal kaynakların kullanımını giderek artırmaktadır. Doğal kaynakların ürüne dönüşmesi genel olarak madencilik faaliyetleri sayesinde olmaktadır. Madencilik, insanlık tarihinde, gıda gereksinimi ile ilgili faaliyetlerden sonra, en önemli ekonomik uygulamadır. Madencilik faaliyetlerinin üretim süreçlerinde doğal olarak çevre, olumsuz yönde etkilenmektedir (Karadeniz, 1996; Elevli, 1998; Yılmaz, 2009). Ancak bu etkilerin Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) uygulamaları sayesinde denetimi mümkündür (Yılmaz ve diğerleri, 2002; Yılmaz, 2008).

Madenciliğin ilk evrelerinden itibaren çevresel etkiler olasıdır. Örneğin daha arama ve rezerv belirleme çalışmalarından itibaren cevherin bulunduğu alanda yolların ve yarmaların açılmasına ve amaca uygun sondajların yapılmasına gereksinim duyulabilir. Bu arama faaliyetleri kapsamında, sınırlı da olsa topografyanın değişimi; toprak, su, hava kirliliğinin yanı sıra, gürültünün oluşumu ve ekosistemlerin etkilenmesi kaçınılmazdır. Aşağıda bir sondaj makinesinin bazı temel unsurları görülmektedir (Şekil 1). Böyle bir sistemin araziye yerleştirilmesi ve işleyişi sırasında oluşan gürültü ve kullanılan malzemeler gözetildiğinde sadece bir sondajın da çevresel etkileri olabileceği açıkça görülür. Ancak, bu etkilerin ÇED sürecinde minimize edilmesi mümkündür.



Şekil 1. Kurulu bir elmas sondaj makinesi (Alpan, 1969a' dan alınmıştır).

Açılacak kuyunun derinliğine, çapına ve amacına göre çeşitli türlerde sondaj makineleri kullanılmaktadır. Elmas sondaj makineleri, elmasın en sert kaya birimlerini kesme ve delme özelliği esasına dayanılarak üretilmiştir (Alpan, 1969a). Sondajların kullanım alanlarının ve her kullanım alanına uygun sondaj makinelerinin geniş bir yelpazeye sahip olduğu belirtilebilir.

OCAK İŞLETME YÖNTEMLERİ

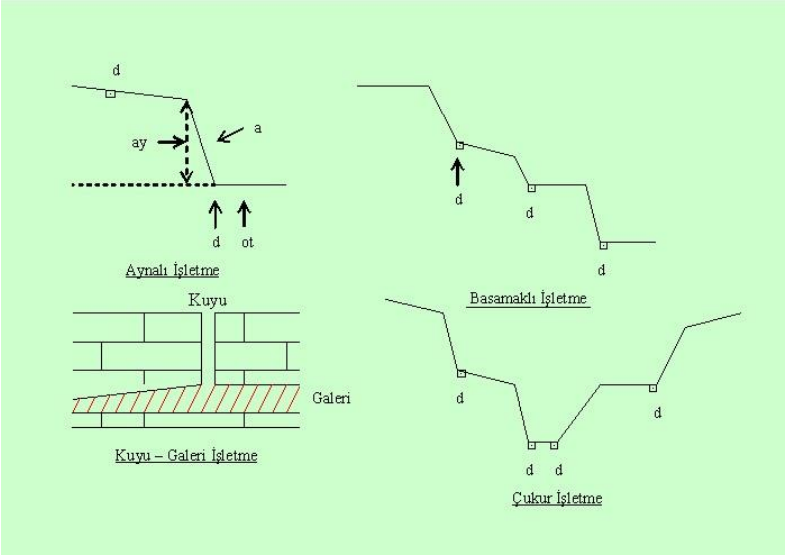
Yerkabuğunda bulunan madenleri çıkarmak üzere açılan yerlere "**Ocak**" denir. Çıkarılan madenin adına göre, ocaklar adlandırılmaktadır. Bakır ocağı, yapıtaşı ocağı gibi. Ocak işletmeciliği, büyük ölçekli mühendislik projelerinin önemli bir bölümünü oluşturur.

Ocaklar işletme sırasında **patlayıcı madde kullanılıp kullanılmamasına göre** iki gruba ayrılmaktadır.

1- Patlayıcı kullanılmayan işletmeler; Çakıl, kum, kil ocakları
2- Patlayıcı kullanılan işletmeler; Yapıtaşı ve maden ocakları

Ocaklar **işletme şekli** bakımından da iki gruba ayrılırlar;
1- Açık işletmeler, 2- Yeraltı işletmeleri.

Bu işletme türleri de genel olarak yapılan işletmenin amacına ve yapısına göre çeşitli özel adlar almaktadırlar (Şekil 2).



Şekil, 2. Çeşitli ocak işletme türleri (a, ayna; ay, ayna yüksekliği; d, akaçlama (drenaj) hendeği; ot, ocak tabanı)

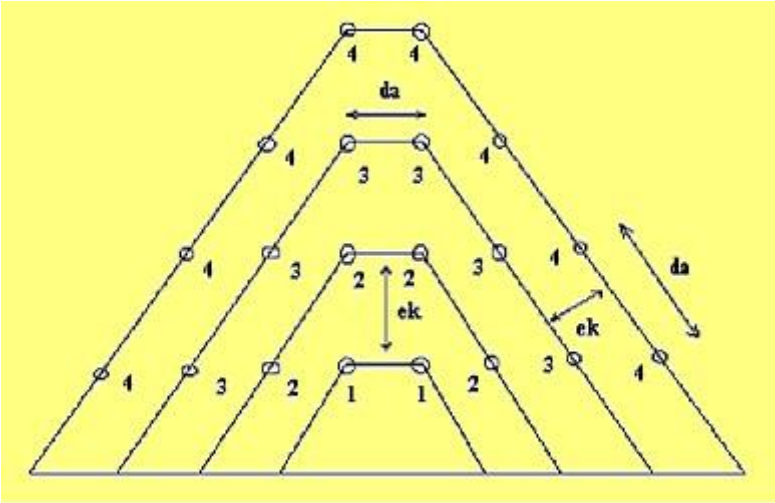
İşletme yönteminin seçimi maden yataklarının topografyaya göre durumu, şekli, boyutları, konumu, mineralojik bileşimi ve tenörü ile işletmede kullanılacak malzemelerin nerelerden sağlanabileceği gibi unsurlara bağlıdır. İşletme sırasında kâr getirmeyecek ya da zenginleştirilmesi zor olan cevher yerli-yerinde bırakılabilir. Ancak gelecekte gereksinim duyulduğunda ocak tekrar işletilebilecek şekilde terk edilmelidir.

Açık işletme

Yeryüzüne yakın maden yatakları açık işletme yöntemiyle değerlendirilmektedir. Açık işletmede kazıya başlarken yüzeydeki nebati toprağın sıyrılması gerekmektedir. Çünkü en sert kayaların üzerinde bile topografya koşullarının da uygunluğu çerçevesinde toprak örtüsü oluşabilmektedir. Bu sıyrılan ve biriktirilen toprak rehabilitasyon aşamasında tekrar kullanılacaktır. Açık işletmelerde cevherin konumuna göre basamaklı bir yapı oluşturarak çalışmalar planlanır. Bir taşocağı planı örneği (da, delik aralığı; ek, et kalınlığı) Şekil 3'de görülmektedir (Yılmazer vd., 1999).

Açık işletmelerde cevherin ana kayadan çıkarılması, parçalanması, yükleme ve taşıma gibi faaliyetlerin gerçekleştirilmektedir. Kimi zaman cevher patlatma maharetiyle parçalanıp, yükleyicilerle kamyonlara veya vagonlara yüklenir. Patlatma, oldukça yaygın (>%99) olarak kullanılan bir yöntemdir. Denetimli ve gecikmeli (t<9 milisaniyeli) patlatma ile titreşim ve **gürültü kirliliği** kısmen denetlenebilir. Ayrıca işletme sonrasında düzgün yüzeyler oluşturarak rehabilitasyon aşamasında yeşillendirme için

kolaylık 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.



Şekil, 3. Bir taşocağı planı örneği (da, delik aralığı; ek, et kalınlığı, Yılmazer ve diğerleri, 1999).

Maden ocakları için belli bir plan içinde delik aralıkları, delik derinlikleri ve her delik için patlayıcı miktarı belirlenmelidir. Patlama işlemleri sırasında elde edilen verilerin ışığında tasarımda güncelleştirme yapılarak en uygun işletmeciliğe geçiş sağlanmalıdır. Ocak işletme tasarımı dinamik bir olgu olup gereksinim duyulan tutanak ya da benzeri temel bilgileri de içeren bir kaydın tutulması zorunludur.

Yeraltı İşletmesi

Yüzeye yakın cevherler kimi zaman damarlar halinde yer altına doğru uzanabilir. Böyle bir durumda açık işletmeden yeraltı işletmesine geçilebilir. Açık işletme ile yeraltı işletme yöntemlerinin birlikte uygulandığı pek çok örnekler vardır. Şekil 4A'da açık ve yeraltı işletmeye birlikte gereksinim duyulan bir yapı görülmektedir.

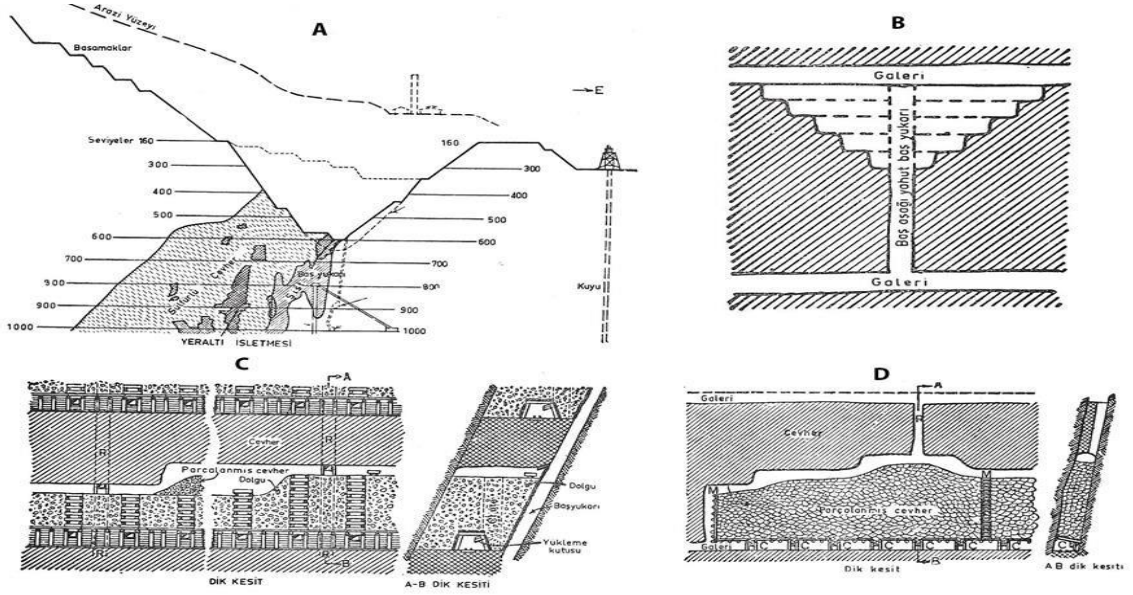
Yeraltı işletme yöntemleri başlıca açık ayak, ağaç destekli ayaklar, doldurulan ayaklar, toplu ayaklar, göçertme ve kombine yöntemler olarak sıralanabilir (Alpan, 1969b). Bu yöntemlerin de her biri kendi içinde alt yöntemlere ayrılabilir. Sıkça kullanılan bazı yöntemler Şekil 4' te görülmektedir.

Şekil 4B'de Açık ayak yönteminin korniş baş aşağı ya da başyukarı ayak tasarımı görülmektedir. Bu yöntem daha çok dik cevher damarlarına uygulanır. Yöntemin tasarımına göre cevher doğrudan alt basamaklara akar, yuvarlanır ve alt düzeylerdeki yükleme kutusuna doğru devinir. Yükleme kutusunun kapısı açılır ve cevher vagonlara doldurularak kuyu ağzına taşınır.

Şekil 4C'de Doldurulan ayaklar yönteminin yatay ayaklar tasarımı görülmektedir. Bu uygulama cevheri yumuşak olan yataklara uygulanır. Yöntemde dolgu gereci başyukarıdan verilir ve tavanda ayna yatay olarak işletilir. Bu yöntem açık ayak yöntemine göre daha pahalıdır.

Şekil 4D'de Toplu ayaklar yönteminin toplu ayak tasarımı görülmektedir. Bu yöntemin başyukarı ayak yönteminden farkı parçalanan cevherin işletme bitinceye kadar yerli-yerinde bırakılmasıdır. Ayrıca ayak boş bırakılabilir ya da dolgu gereci ile doldurulabilir. İşletme sonunda topuklar da alınabilir. Yöntem ekonomiktir, havalandırma kolaydır. Çalışan işçiler için güvenli platformlar oluşturulabilir. Ancak cevher çekilince oluşan boşluklarda göçükler meydana gelebilir.

Sonuç olarak, pek çok yeraltı işletme türlerinin olduğu ve her yöntemin avantajları kadar dezavantajlarının olduğu unutulmaması gerekir.



Şekil, 4. Bazı işletme yöntemleri. A, Açık ve yeraltı işletmelerinin birlikte uygulanması. B, Korniş baş aşağı ya da baş yukarı ayak yöntemi (dik kesit). C, Yatay ayaklar. D, Toplu ayak yöntemi (Alpan, 1969b'den alınmıştır).

Yasal çerçeve ve ocak işletmesinin çevresel etkileri

Maden işletme faaliyetleri, 2014 yılında yayınlanmış ve daha sonra kısmen revize edilmiş ÇED yönetmeliğine tabidir. ÇED Yönetmeliği'ne (2014) göre taşocağının boyutları (ya da etkileyeceği alan) ya da üretim kapasitesi gözetilerek izlenecek prosedür (süreç) belirlenir. Örneğin, yılda 5000 m^3 ve üzerinde üretim yapan işletmeler ve yıllık 250.000 m^2'lik ve üzeri alanda mermer kesme, işleme ve sayalama tesisleri Seçme-Eleme ölçütlerine (Ek 2 Prosedürü) tabidir. Yılda 100.000 m^3 ve üzerinde kapasiteye sahip işletmeler ya da 25 hektar üzerinde bir alanda hammadde çıkarılması ve işlemlerden geçirilmesi ÇED sürecine (EK 1, Prosedürü) göre yürütülmelidir. 150 hektarı aşan çalışma alanında açık işletme yöntemi ile kömür çıkarma ve cevher hazırlama tesisleri için de ÇED süreci (EK 1, Prosedürü) uygulanır. Taşocağı işletmesinin çevresel etkileri ÇED raporlarında yerinde öngörülen önlemler çerçevesinde denetlenebilir.

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 atıkların, 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. **Ocak işletmesinde alınması 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-Atık malzemenin taşınması sırasında **Trafik Yönetmeliği'nde** belirtilen koşullara mutlaka uyulmalıdır.

3-Ocak işletmesinde oluşan katı atıklar (çöpler) **Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği** başta olmak üzere mevzuata uygun olarak, ilgili belediyenin izin verdiği bir deponi sahasına boşaltılmalıdır.

4- İşletmede kullanılan sıvı atıklar arıtılıp alıcı ortama verilmelidir. Makinelerin atık yağları çevre mevzuatının hükümlerine uygun olarak depolanmalıdır.

5- Ocak işletmesinde oluşan evsel atık sular (kanalizasyon suyu) da yine çevre mevzuatı hükümlerine göre uygun olarak tasarlanmış, sızdırmaz foseptiklerde toplanarak, vidanjörlerle ilgili belediyenin uygun gördüğü şekilde bertaraf edilmelidir.

6- Hava kirliliği yaratan gaz atıkları minimize etmek üzere uygun teknolojinin (elektrofiltrelerin) kullanılmasına özen gösterilmelidir. Yetkili firma tarafından ocak işletmelerinde kullanılan ekipmanın bacalarına emisyon önleyici filtre ya da benzeri emisyon denetim sistemleri takılmalı ve mutlak surette "**Emisyon İzni**" alınmalıdır.

7-İş makinelerinden kaynaklanan gürültünün azalması için, makinelerin bakımları düzenli yapılmalıdır. Tüm patlatmaların hangi saatler arasında yapılacağı halka duyurulmak suretiyle yapılmalı ve uygun (gecikmeli ya da basamaklı patlatma) teknikler uygulanmalıdır. Ocak alanında çalışacak işçilere kulaklık ve baret verilmeli ve kullanmaları sağlanmalıdır.

8-Orman alanı içinde bulunan ocaklarda yangına karşı önlem alınmalı, bu kapsamda işletme alanı içinde kalan ağaçların altındaki bütün otsu bitkiler ve bitki artıkları düzenli olarak temizlenmelidir.

9-Ocak işletmesi, işletmeye kapatılacaksa, ocak için uygun peyzaj projelerinin altyapısı hazırlanmalıdır.

Sonuç olarak tüm çalışmalarda çevre mevzuatı hükümleri çerçevesinde çevrenin korunmasına yönelik tüm uyarılara uyulmalıdır.

CEVHER ZENGİNLEŞTİRME

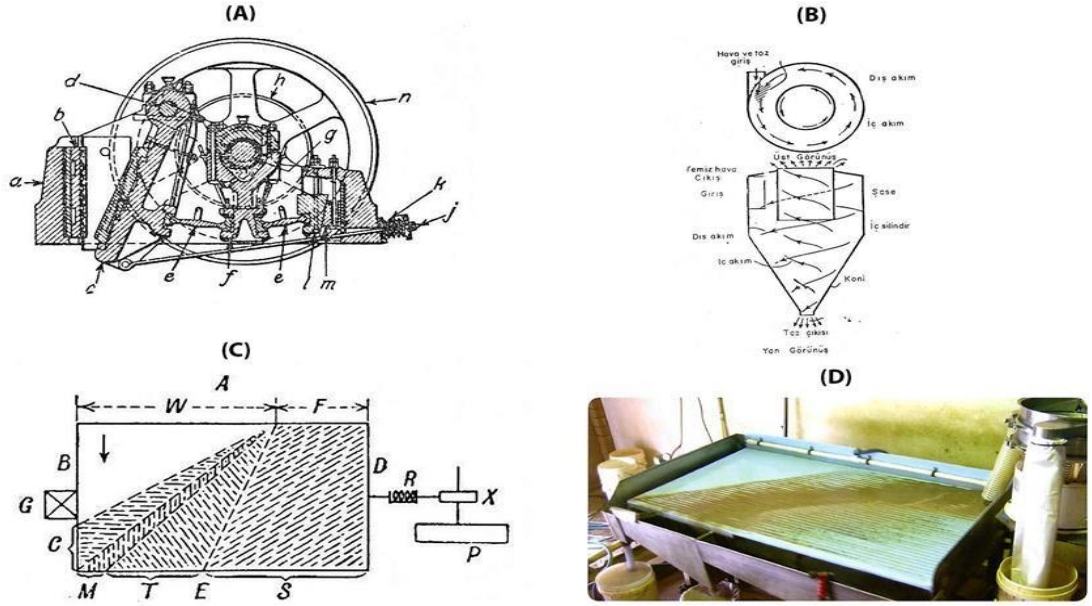
Bir cevherdeki çeşitli mineralleri sanayinin gereksinimine en uygun hammadde haline getirmek ve ekonomik değer taşıyanları taşımayanlardan ayırmak üzere yapılan işlemlerin tümüne cevher zenginleştirme denir. Bu konu, Yıldız (2022) tarafından çok ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Ayrıca, aşağıda konuya dair bazı ayrıntılar sunulmuştur:

Bazı cevher zenginleştirme araçları ve yöntemleri, sıra ile Şekil 5 ve 6'da görülmektedir. Cevher zenginleştirmesinin ilk evresini kırma ve öğütme işlemleri oluşturur. Bu sırada cevherin yapısında mineralojik ve kimyasal bir değişim olmaz. Cevher ve cevherin içinde yer aldığı kaya birimleri daha küçük parçalara ayrılır. Küçük parçalara ayırmada çeneli, konik, silindirik ya da çekiçli kırıcılar kullanılmaktadır. Araçlardan çeneli kırıcının genel yapısı Şekil 5A'da görülmektedir. Çeneli kırıcılarda bir çene sabit durumda olup, ikinci çene hareket halindedir. Hareket halindeki çene sabit çeneye yaklaştığında cevher kırılır.

Kırma işleminden sonra cevherin öğütülmesi gerekir. Öğütme, basınç ya da aşındırma ile cevherin toz haline getirilmesidir. Öğütme için genellikle silindirler kullanılır. Silindir biçiminde olmayan, konik bilyalı öğütücüler de vardır. Öğütücüler yaş ya da kuru olarak çalıştırılabilir.

Öğütme işleminden sonra cevherin tane boyutlarına göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bu ayırma işlemi de elekler, sınıflandırıcılar ya da hava ile yapılmaktadır. Hava ile ayırma, hava içerisinde süspansiyon halinde olan katı (toz) kısmı, hava akışını azaltarak ağır ve büyük olan tozların yer çekimi ile çöktürülmesi esasına dayanır. Ayrıca Şekil 5B'de görülen siklondaki hava akımından da yararlanarak katı partiküllerin kısmen de olsa ayırt edilmesi mümkündür.

Çeşitli laboratuvarlarda sanayi hammaddelerinin, metalik cevherlerin ve kömürlerin fiziksel ve kimyasal yöntemlerle zenginleştirilme çalışmaları yapılmaktadır. Söz konusu laboratuvarların ISO 9001: 2008, ISO 14001:2004, ISO 18001:2007 kalite ölçütlerine sahip olması tercih edilmektedir.



Şekil, 5. Bazı cevher zenginleştirme araçları. (A), Çeneli kırıcı ve bazı bölümleri: a-şasi, b-sabit çene, c hareketli çene, d-şaft, g-eksantrik, h-kasnak, k-yay, j-gergi çubuğu, l- ayarlama bloku, m-blok, n-volan. (B), Siklonda hava akımı. (C), Sallantılı masa ve bazı bölümleri: A-cevher girişi, B konsantre cephesi, C-konsantre, E-atık tarafı, F-cevher girişi, G-sallantı veren blok, M-orta ürün, P-kasnak, S-şlam, T-atık, W-su girişi, X-eksantrik (Alpan, 1969c'den alınmıştır). (D), Sallantılı masanın genel görünümü.

Zenginleştirme işleminde bu yöntemler tek tek kullanılabildiği gibi, birbirini izleyen ve besleyen yöntemler birlikte de kullanılabilir. Yöntemin türü uzman personel tarafından belirlenir. Yapılacak çalışmalar sonucunda hem yönteme hem de tenör ve verime dair ayrıntılı bilgiler içeren bir rapor hazırlanır.

Cevher zenginleştirmede uygulanan bazı yöntemler aşağıda sunulmuştur:

1- Yerçekimi (Gravite): Sallantılı masa ve Jig,
2- Flotasyon (Yüzdürme),
3- Hidrometalurji,
4- Manyetik ayırma,
5- Kömür zenginleştirmeye yönelik yüzdürme-batırma yöntemi. Ayrıca elektrostatik ayırma. amalgamasyon ve kalsinasyon gibi yöntemler de uygulanmaktadır.

Yerçekimi: Sallantılı Masa

Sallantılı masa, cevheri oluşturan minerallerin özgül ağırlıklarındaki ve yerçekimindeki farklılıktan yararlanarak zenginleştirme işlemini gerçekleştiren bir cihazdır (Emrullahoğlu ve diğerleri, 1993). Şekil 5C' de sallantılı masanın tasarımı ve bazı bölümleri, Şekil 5D' de ise sallantılı masanın genel görünümü sunulmuştur. Sallantılı masa hafif eğimli, ya da eğimi ayarlanabilen paralel kenar ya da dikdörtgene yakın yamuk bir levhadır. Levhanın üzerinde belli yükseklikte ve düzende çıtalar vardır. Bir katman halindeki akışkanın devinimine göre ayrım yapılabilmektedir. Masanın çalışmasında serbest akış, engelli çökme, asimetrik devinim gibi fiziksel nitelikler ayrımın gerçekleşmesinde etkili olmaktadır. En üst düzeyde bir verimin sağlanması için, cevherin boyutu ve beslenme hızı, yatay ve dikey eğim, beslemeyi sağlayan su miktarı, masanın vurma hızı ve genlik miktarı gibi değişkenleri iyi ayarlamak gerekmektedir.

Yerçekimi: Jig

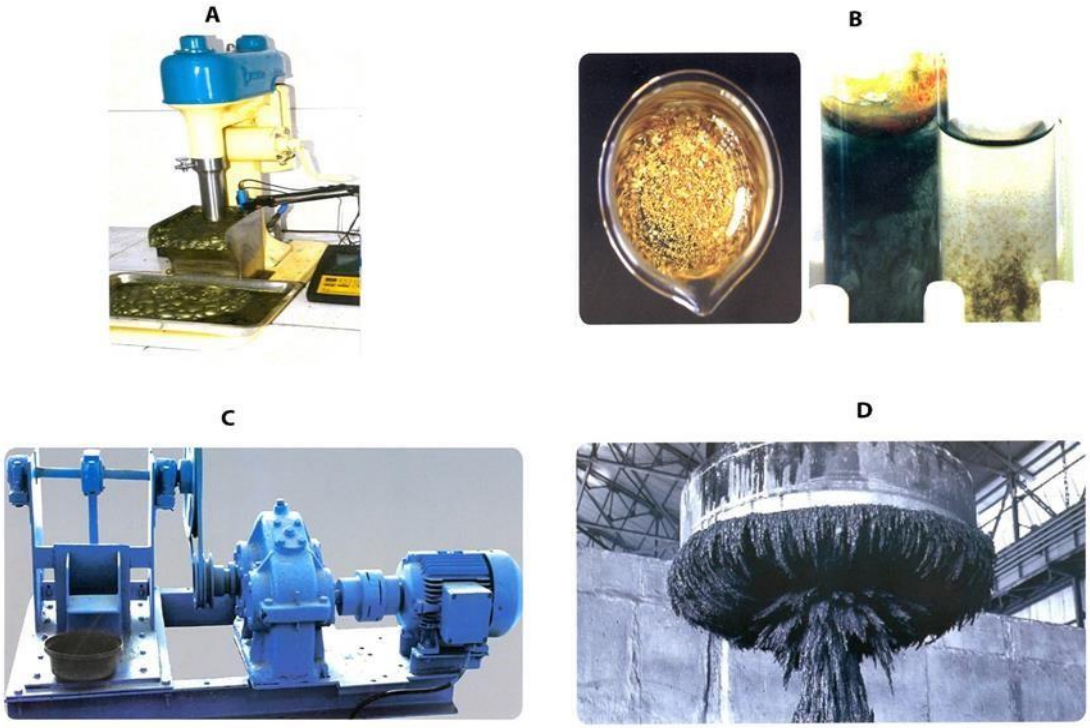
Farklı özgül ağırlıktaki mineral tanelerinin düşey (aşağı ve yukarı) devinime açık bir ortamdan yararlanarak katmanlar halinde ayrılması ile yapılan bir zenginleştirme biçimidir. Yani düşey hareketli

akışkan bir ortamdaki zenginleştirmeye Jig ile zenginleştirme denir. Jiglerde, akışkan bir ortamda ve elek üzerinde olan iri boyutlu mineral taneleri akışkan ortama verilen aşağıdan yukarı (basma) ve yukarıdan aşağı (emme) devinimi ile farklı yoğunlukta katmanlar oluşur. En ağır mineraller en alt katmanda, en hafif mineraller en üst katmanda yer alırlar. Farklı yoğunluktaki katmanlar ayrı ayrı jigden dışarıya alınabilir. Şekil 6C'de bir jig örneği görülmektedir. Bu yöntem son derece ekonomik bir yöntemdir. Ancak öncelikle malzemenin bu yönteme uygun olması gerekir.

Flotasyon

Minerallerin kimyasal özelliklerinden yararlanarak yapılan bir zenginleştirme yöntemidir (Şekil, 6A). Örneğin mineral yüzeyinin suda ıslanıp ıslanmaması mineralin yüzdürülüp yüzdürülemeyeceğini belirler. Tüm işlem sadece mineralin yüzeyinde gerçekleştirmektedir. Mineralin kendi kimyasal yapısı değişmemektedir. Yüzeyi ıslanan ve hafif olan mineral suda askıda kalır.

Mineraller asidik ve bazik ortamlarda farklı flotasyon özelliklerini göstermektedir. Bu farklı davranışlar sayesinde Cu, Pb, Zn, Fe ve diğer mineraller ayrılabilmektedir. Flotasyon işleminde kullanılan kimyasal maddeler (reaktifler) PH düzenleyiciler, bastırıcılar, canlandırıcılar, toplayıcılar, köpürtücüler ve çöktürücülerdir (flokülantlar). Bu reaktifleri cevherin yapısına, içeriğine ve tesis işletme koşullarına uygun tipte ve miktarda kullanmak önemlidir. Kuşkusuz değişkenlerin seçimi ve uygulama süreçleri de önemlidir (Foerstenau, 1976; Nishkov ve diğerleri, 1993; Güney ve diğerleri, 1994).



Şekil, 6. Bazı cevher zenginleştirme yöntemleri. A, Flotasyon. B, Hidrometalurji. C, Jig. D, Manyetik ayırma.

Hidrometalurji

Çözelti ortamında yapılan işlemlerle gang türü malzemelerin çözülüp metallerin sonradan ayrılması ile gerçekleştirilen kimyasal bir zenginleştirme türüdür (Şekil, 6B). Bu yöntemde gang gereçleri bir atık malzeme olarak kabul edilir ve öncelikle oksit metaller (Cu, Pb, Zn, Ni gibi) değerli metaller, nadir toprak elementleri, doğal soda, alunitlerden şap ve alümünyum sülfat eldesi gibi zenginleştirme çalışmaları yapılmaktadır. Hidrometalurji yönteminde çözme ortamı ve koşulları, çözücü türü ve miktarı, ton başına kullanılan kimyasalların miktarı, çöktürme süresi ve ekipman önemlidir.

Manyetik ayırma

Bu yöntemde, yararlanılan özellikler minerallerin farklı manyetik duyarlılıklarıdır (Şekil, 6D). Manyetik ayırma, uygulanan manyetik alan şiddetine, uygulamanın yaş ya da kuru bir ortamda yapılmasına, manyetik ayırıcının yapısal özelliklerine, manyetik minerallerin tane boyu ve yüzdesine bağlıdır. Parçacık büyüklüğü ve serbestleşme derecesi yöntemin verimini artırır.

Ayrıca cevherin zenginleştirilmesinden sonra çökelme yolu ile suyun ayrılması, filtrasyon ve cevherin kurutulması gibi işlemlere de gereksinim vardır. Çökelme için kullanılan dinlendirme tankları, cevherin yerçekimi ile çökelmesine uygun bir yapıda tasarlanmalıdır. Bunun için suyun akmasını kolaylaştırmak üzere mekanik elekler kullanılabilir. Filtrasyon sonucu oluşan gerece **kek** denir. Kurutma ise, yarı katı ya da katı gereçten suyu uzaklaştırmak için yapılan işlemdir. Bunun için kurutulacak gereçler silindirler içine konulur. Silindirden sıcak hava ya da gaz geçirmek suretiyle cevher kurutulur. Günümüzde bu son işlemler için daha gelişmiş teknikler de uygulanmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Madenciliğin diğer sanayi sektörlerine benzemeyen bir özelliği vardır. Bir fabrika, en uygun yer seçilerek kurulabilir. Ancak, madencilikte böyle bir durum söz konusu değildir. Madenciliği, ekonomik ve teknik nedenlerden dolayı cevherin bulunduğu yerde yapma zorunluğu vardır. Madeni, tarım arazisi ya da orman içindeyse ya da bir yerleşim yeri yakınındaysa başka bir yere taşıma seçeneği yoktur. Dolayısıyla, madenciliğin çevresel etkileri madenciliğin yapıldığı yere özgü ele alınmalıdır.

ÇED ile Madencilik hep birbirinin karşıtı, hatta düşmanı gibi görülmüştür. Kimi çevreci kuruluşların halkı yeterince bilgilendirmemesini bir tarafa bırakacak olursak, teknik açıdan bakıldığında, ÇED ile Madencilik, bütünsel olarak ele alınıp değerlendirilebilir. Çevre için madenciliğin, madencilik için çevrenin feda edilemeyeceği bir orta yol bulunabilir. Bu da yoğun bir bilgi gerektirir. Kirlenmiş bir çevreyi, eski haline getirmenin, çoğu zaman çok daha büyük bir bedel ödemeyi gerektirdiği unutulmamalıdır. Ayrıca, çok büyük çevresel riskler yaratarak zenginleşen bir girişimcinin mutlu olması mümkün müdür? Dolayısıyla ekonomi, madencilik ve çevrenin korunması birbirini tehdit etmediği, tam tersine birbirini güvence altına alabileceği bir düzenleme öngörülmelidir. Dünya'daki tükenebilir tüm kaynaklar sınırlıdır ve bu kaynakları sorumluca kullanmak tüm insanların ortak görevidir.

İnsanoğlu bulunduğu her yerde ve yaptığı her faaliyet ile çevresinde bir değişime neden olmuştur. İnsanların, doğal gereksinimlerini karşılamak için yaptığı endüstriyel faaliyetlerin çevreye olan etkisi de büyüktür. Doğal kaynaklar, ancak tüm insanlığın yararı gözetilerek sahiplenilebilir. Bu durum ise ancak, dünya ölçeğindeki çevre bilinci ile sermayenin kâr dürtüsü arasındaki dengenin sağlanması ile gerçekleştirilebilir.

Ülkemiz, doğal kaynaklarını en verimli şekilde değerlendirmeye ve kullanmaya mecburdur. Ancak, her sektörde üretim yapılırken, üretimin yanı sıra çevresel kaygılar da gözetilmelidir. Üretim gerçekleştirilirken mutlaka çevre boyutu düşünülmeli, işletme planlamaları yapılırken oluşacak çevresel etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Madencilik sektöründe, tüm teknolojik gelişmelere rağmen çevresel sorunlar yıllar geçtikçe artmaya devam edecektir. Bu nedenle çevresel planlama büyük önem kazanmakta ve zorunlu hale gelmektedir. Belki dikkatten kaçan bir diğer nokta da maden işletme sahaları ile yerleşim alanlarının ister istemez birbirine yaklaşmasıdır. Bu yakınlaşma, madenciliğin etkileri ile birlikte görünmeyen yüzünü de gündeme getirmiştir.

Günümüzde, üretilen maden miktarı ve ekonomik göstergeler gibi kavramlar güncelliğini korurken, atıkların uzaklaştırılması sorunu yeni bir kavram olarak bu dönemde madencinin karşısına dikilmiştir. Maden atıklarının uzaklaştırılması sırasında ortaya çıkan yüksek maliyetlerin minimize edilmesi gerekmektedir. Buna yönelik ilk seçenek atıkların uzaklaştırılması yerine onları bir şekilde yeniden değerlendirme yoluna gidilmelidir. Böylece işletme için yeni bir gelir kaynağı elde edilmiş olur. Öte yandan katı, sıvı ve gaz atıklarının uzaklaştırılmasında çevre teknolojileri belli bir düzeye ulaşmıştır. Bu teknolojilerin katkısı göz ardı edilmemelidir. Ancak bu teknolojilerin uygulanması da madenciliğe ek bir yük getireceği de açıktır. Ne var ki söz konusu önlemler alınmazsa çevresel sorunlar, ilerde ancak çok daha yüksek bedeller ödenerek çözülebilir. Bu dünyada yaşamaya ve geleceğe yaşanabilir bir çevre bırakmak istiyorsak buna da mecburuz.

Son yıllarda **'sürdürülebilir kalkınma'** olarak tanımlanan bir model öngörülmektedir. Sürdürülebilir kalkınma bugünkü ve gelecek kuşakların sağlıklı bir çevrede yaşamasını güvence altına alan çevresel, ekonomik ve sosyal hedefler arasında denge kurulması esasına dayalı kalkınma ve gelişme çabasıdır. Bu model, ekonomik değerler ile çevresel ve sosyal değerlerin birbirini dengelediği bir kalkınma modelidir. Bu da ancak bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında kaynakların değerlendirileceği bir iklimi yeşertmekle sağlanır. Yani yoğun bilgi ve bu bilgi çerçevesinde kaynakların değerlendirilmesine ilişkin koşulların sağlanması zorunludur. Böylece hem ekonomik kazanımları yaşama geçiren madencilik sektörü, hem de çevrenin korunması güvence altına alınabilir.

Sonuç olarak 'sürdürülebilir kalkınma modeli' içi boş ve sektörlerin birbirini yanıltabileceği bir araç olarak değil, günümüzdeki bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında kaynakların toplumun hizmetine sunulabileceği bir çerçeve olarak algılanmalıdır. Doğal kaynaklar, insanlığın ve özellikle bu kaynakların yer aldığı toprakların üzerinde yaşayan insanların ortak malı olarak görülürse 'sürdürülebilir kalkınma' dan algılanan çerçevenin yaşama geçirilmesi de kolaylaşır. Aksi halde, eskiden gezegenimizi şenlendiren insan türü, belki eskiden olduğu gibi ok ve mızraklarla ya da insanlık dışı işkencelerle değil, çevreyi kirletmesiyle yok olma noktasına gelebilir.

Dünya günümüzde, geçmişe göre daha büyük bir tehdit altındadır. Vikipedi'deki 2021 verilerine göre yaklaşık 8 milyar olan ve 2050'de yaklaşık 10 milyara ulaşması öngörülen insan nüfusunun küçücük bir gezegende yaşaması elbette zordur. Ama herkes sadece kendini düşünerek 'İstediğim gibi yaşarım' derse, yaşanabilir bir dünyayı yaşanamaz hale getirmek oldukça kolaydır.

KAYNAKLAR

Acarkan, N., Yüce, H., Gürkan, V., Yüce, A.E, Açma, E. ve Önal, G., 1992, TDÇİ Divriği 24. Artıklarındaki Kıymetli Metallerin Zenginleştirilme Olanakları, 4th Int. Min. Proc. Symp., Antalya, s. 589-598.

Alpan, S., 1969a, Sondaj tekniği. MTA yayını, Eğitim serisi, No 3, Ankara, 27 s.

Alpan, S., 1969b, Maden işletme metotları. MTA yayını, Eğitim serisi, No 2, Ankara, 21 s.

Alpan, S., 1969c, Cevher zenginleştirme. MTA yayını, Eğitim serisi, No 4, Ankara, 15 s.

ÇED Yönetmeliği, 2014, 25 Kasım 2014 tarih ve 29186 sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Elevli, B., 1998, Madencilik, Çevre ve ÇED Raporu, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No:78, s. 43-49.

Emrullahoğlu, F., Kara, M., Çelik, M.S. ve Tolun, R., 1993, Kalsine Kolemanit Atıklarının Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirilmesi, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, İstanbul, s. 629-638.

Fuerstenau,M.C. (Ed.), 1976, Flotation A.M. Guadin Memorial Volume, Volume II, AIME Inc., Port City Press, Inc., New York, s. 250-257.

Güney, A., Önal, G., Doğan, M.Z. ve Altaş, A., 1994, Flotation of Fine Choromite Tailings Using Novel Techniques, Progress in Mineral Processing Technology Proceedings of 5th Int. Min. Proc. Symp., Demirel, H., Ersayın, S. (Co-Edit), A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, s. 473-478.

Karadeniz, M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Atıkları, Çevreye Etkileri ve Önlemler, MTA Genel Müdürlüğü Cevher Zenginleştirme Servisi Raporu, İstanbul, s. 21-37, 174-325.

Nishkov, I., Alexandrova, L. ve Nedialkova, T., 1993, Coprecipitation – Flotation Removal of Heavy Metal lons, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, s. 491-502.

Yıldız, N., 2022. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, 4 Cilt, (IV. Baskı), Ertem Yayınevi, Ankara, 1900 s.

Yılmaz, A. 2008, Çevresel Etki Değerlendirmesi: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 111, Sivas, 275s.

Yılmaz, A. 2009, Çevre Kaynakları: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 117, Sivas, 348s.

Yılmaz, A., Değirmenci, 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.

1. 3, MADENCİLİĞİN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE BU ETKİLERİN DENETİMİ

GENEL BİLGİLER

Nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve buna bağlı sanayileşmenin yanı sıra kentleşme ve turizm alanlarındaki gereksinimler doğal kaynakların kullanımını giderek artırmaktadır. Doğal kaynakların ürüne dönüşmesi genel olarak madencilik faaliyetleri sayesinde olmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin üretim

süreçlerinde doğal olarak çevre olumsuz yönde etkilenmektedir. Ancak bu etkilerin Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) uygulamaları sayesinde denetimi mümkündür.

Sunulan kitapta doğal kaynaklar üç kategoride irdelenmiştir. Bunlar metalik madenler, sanayi hammaddeleri ve enerji kaynakları olarak sınıflandırılmıştır. Her kategoride, yaygın olan ve ülkemizin kalkınmasına önemli katkısı olan kaynaklar ele alınmıştır. Bu kaynakların uygarlığın da gelişmesine olan katkıları yadsınamaz.

Madenciliğin çevresel etkileri çok yönlü bir alandır. Öncelikle, maden işletme (Alpan, 1969 a,b,c) ve cevher zenginleştirme yöntemlerine (Doğan ve diğerleri, 1981; Acarkan ve diğerleri, 1992; Emrullahoğlu ve diğerleri, 1993) vakıf olmak gerekir. Dolayısıyla, bu bölümde, madencilik faaliyetlerinin planlama ve hazırlık, ocak işletmesi, cevher zenginleştirme ve izabe (metalürjik) ile işletme sonrası evrelerin bir bütünsellik içinde ayrı ayrı tanıtılmasında yarar görülmektedir. Ayrıca, ülkemiz açısından önemli olan her kaynağın genel çerçevede tanımı, özellikleri, oluşumları, kullanım alanları, üretim yöntemi ve teknolojisi, ortaya çıkan çevresel sorunlar ve bu sorunların denetimi konularındaki temel bilgiler sunulmuştur. Bu bilgiler, kaynaklara ilişkin faaliyetlere dair Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporlarının hazırlanmasında bir temel olarak kullanılabilirler.

Madenciliğin yönetiminde ÇED sürecinin izlenmesi gerekmektedir. Ancak, alınan herhangi bir ÇED olumlu kararı "Tamam, bir sorun yok! Her şey düzgün ve uygun" demek değildir. ÇED süreci sonunda hazırlanan rapor, bir izin belgesi olmayıp, gerçekleştirilmesi düşünülen bir projenin var olan doğal çevreye ve sosyal yapıya olası etkilerinin ve bunları en aza indirmek amacıyla alınması planlanan önlemlerin incelendiği ve değerlendirildiği bir süreçtir. ÇED Raporu da bu önlemleri işletmecinin üstleneceğini gösteren bir belgedir ya da taahhüttür. ÇED raporunda taahhüt edilen hususların yerine getirilip getirilmediğini, ülkemizdeki mevzuata göre Çevre ve Şehircilik Bakanlığı denetler. ÇED'e dair uygulama ve denetimin şeffaf ve sağlıklı yapılması son derece önemlidir.

ÇEVRESEL ETKİLER VE DENETİM ÇALIŞMALARI

Madenciliğin çevresel etkileri uzun zamandan beri değerlendirilmektedir (Down ve stocks, 1077; Karadeniz, 1996; Elevli, 1998; Yılmaz, 2009; Yuva ve diğerleri, 2011; Yıldız, 2022). Ancak, bu etkilerin bir düzen içinde ve yerinde irdelenmesi gerekir. Çünkü, madenler ancak bulundukları yerde işletilebilirler ve madencilik, toprağın geçici bir süre için yeniden kullanımına yönelik bir süreçtir. Madencilik faaliyetleri, başlangıcından maden üretimine son verilmesine kadar çeşitli evrelerde sürdürülür. Madenin öncelikle aranıp bulunması ve ekonomik olup olmadığının değerlendirilmesi gerekmektedir. Planlama ve hazırlık evresinde (fizibilite) ÇED ve ÇED' e dayalı tüm işlemlerin tamamlanmasında yarar vardır. Daha sonra sıra ile işletme evresi yani ocak işletmesi evresi (açık işletme ya da yeraltı işletmesi), cevher zenginleştirme evresi (gravite, flotasyon, manyetik ayırma gibi), İzabe (Metallurjik) evresi ile işletme sonrası iyileştirme evresi (Kapatma, doğaya kazandırma ve geri dönüşüm) izlenir. Bu evreler sıra ile aşağıda sunulmuştur (JMO, 2017):

1- Arama,
2- Planlama ve hazırlık (fizibilite),
3- İşletme (açık ocak, yeraltı ve çözelti işletme),
4- Cevher hazırlama ve zenginleştirme,
5- Metalurji (izabe),
6- İşletme sonrası iyileştirme evresi (Kapatma, doğaya kazandırma ve geri dönüşüm).

Söz konusu evrelerin her birinin tanıtılmasında yarar vardır. Çünkü bu evreler hakkında bilgi sahibi olmadan çevrenin korunmasına yönelik adımlar atılamaz. Örneğin, bu evrelerin her birinde de toprak, su ve hava kirlenebilir. Ekolojik sistem, doğal ve kültürel yapılar ile sosyoekonomik sistem zarar görebilir.

Bu evrelerin tamamında yürütülen çalışmalar sırasında çevre jeolojisi bilgisi dikkate alınmadığı takdirde çevreye kalıcı zarar verilmesi olasıdır. Bu bakımdan, henüz maden üretiminin başlamadığı ilk iki evrede, arama ve fizibilite, çevre jeolojisine dayalı bilgi üzerine kurulacak bir işletme planlaması ile söz konusu çevre zararını en aza indirmek mümkün olabilecektir.

Arama evresi

İleride karşılaşılabilecek çevresel ve sosyal sorunlarla baş edebilmek için daha işin başından

itibaren hazırlıklı olmak üzere yararlanılması gereken en önemli evrelerden biri de madencilik faaliyetinin **arama evresidir.** Arama evresinin ilk aşaması, literatür çalışması, bölgesel jeolojik bilgilerin derlenmesi, toplanan bilgilerin değerlendirilmesi ve hedeflenen arama bölgesinin seçimidir. Bu aşamada herhangi önemli bir çevresel etkinin oluşması beklenmemektedir. Ancak daha ayrıntıya girildiğinde, çalışmanın içeriği ve biçimine bağlı olarak Çizelge 1'de sunulan çevresel etkilerle karşılaşılmaktadır. Bu çerçevede, sahada uygulanan yöntemin fiziksel etkileri arttıkça, etkilerin yoğunluğu da artmaktadır.

Çizelge 1- Arama çalışmalarının potansiyel çevresel etkileri (Environment Australia, 1997; Oygür, 2019'dan).

ÇEVRESEL ETKİLER							
Arama Çalışmaları	Oluşan Bozulma				Kirlilik		
	Toprak	Flora	Fauna	Kültürel Miras	Zemin	Su	Hava
Havadan incelemeler	-	-	D	-	-	-	D
Jeolojik Etüt	D	D	D	D	D	D	D
Jeofizik/Jeokimya	D	D	D	D	D	D	D
Topoğrafya	D	O	D	D	D	D	D
Yeni yol yapılması	Y	O	O	D	Y	O	D
Arama sondajları	O	O	O	D	O	O	D
Rezerv sondajları	Y	Y	O	O	O	O/Y	D
Kamp yeri	Y	Y	Y	D	O	O	D
Yarma	Y	Y	Y	D	O	O	D
Galeri açma	Y	Y	O/Y	O	O	Y	O
- : Önemsiz D: Düşük potansiyel O: Orta potansiyel Y: Yüksek potansiyel							

Söz konusu etkileri denetlemenin yolu da maden arama ile görevli jeoloji mühendislerinin sahadaki ilk halkla ilişkiler çalışmalarını ve ÇED hazırlıklarına yönelik olarak **asit kaya drenajı (AKD)**, **yeraltı suyu ve jeoteknik** hakkında ilk gözlemleri yapmasından geçer (EPA, 1994a ve b; Environment Australia, 1997). Asit Kaya Drenajı oluşumunu yansıtan su akışından bir görüntü Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Asit Kaya Drenajı oluşumunu yansıtan bir su akışı (Environment Australia, 1997; JMO, 2017'den).

Ancak, maden jeolojisi ve maden işletmeciliğine ait teknik özellikler bakımından uygun olsa bile çevresel ve sosyal nedenlerle işletilemeyecek bir keşif "cevherleşmeden" öteye, yani "maden yatağı" kavramına geçemez. Bu nedenle, ileride bir madencilik projesine dönüşebilecek olan bir sahadaki arama evresinden çevresel değerlerin belirlenmesi açısından da yeterince yararlanılması gerekmektedir (JMO, 2017). Cevherleşmenin potansiyelini belirlemek üzere yolların ve ilk galerinin açılması ile ilk sondajların yapılması da arama evresinin bileşenleridir.

Madencilik faaliyetinin çevreye olabilecek en önemli ve ciddi olumsuz etkisi, Asit Kaya/Maden Drenajı (AKD/AMD) sırasında olmaktadır. Bu evrede, cevher ve yan kayada bulunan sülfid minerallerindeki (özellikle pirit olmak üzere, sırasıyla kalkopirit, bornit, galenit, sfalerit, arsenopirit, markazit vb) toplam kükürt (S^{-2}) içeriğinin oksijen (hava) ve nem (su) ile aynı anda teması sonucunda sülfürik asit oluşturmaktadır (Environment Australia, 1997; JMO, 2017'den):

$$FeS_2 + 7/2\ H_2O + 15/4\ O_2 \rightarrow Fe(OH)_3 + 2H_2SO_4$$

Bu sırada ortamın pH'sı 2,5-3 düzeyindedir. Kaya bünyesinde bulunan karbonat ve kil mineralleri ise oluşan asiti absorbe ederler. Oluşan sülfürik asit çevreye yayılarak su, toprak ve bitki örtüsünü olumsuz olarak etkiler (JMO, 2017).

Madencilikte bu ilk evre, maden yatağının bulunması ve boyutlarının belirlenmesi için yapılan arama ve geliştirme faaliyetleridir. Bunlar, temel jeolojik incelemelerden başlayarak, jeofizik çalışmaları, sondaj, galeri, yarma ve kuyu açma, jeokimyasal örnekleme gibi çalışmaları içerir. Tüm bu faaliyetler madenin bulunduğu çevrenin doğal yapısını ister istemez değiştirmektedir. 2012 tarihinde yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasasına (İSG, 2015) göre sondaj çalışmaları da tehlikeli işler sınıfına girmektedir. Dolayısıyla bu konularda eğitimlerin verilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Bir maden sahası için yapılan arama çalışmaları evreler halinde gerçekleştirilir. Bu nedenle de aramanın bütün evrelerinde arazinin ne kadar etkileneceğini belirlemek çok zordur. Ancak iyi bir planlama ve denetim ile etkilenecek verimli arazi miktarı en alt düzeyde tutulabilir. Pek dikkat edilmeyen bu evredeki çalışmalara gerekli özen gösterilirse çevrenin korunması daha da kolaylaşır.

Bu evre çoğu kez küçümsenir. Ancak madencilik faaliyetlerinde işletilecek olan maden ocağının işletmeye hazırlama evresi çok önemlidir. Örneğin ocağa ilişkin yolların açılması, rezerv belirlemek üzere yapılan sondaj çalışmaları ve aynı amaçla galerilerin açılması planlama ve arama evresi içinde irdelenmelidir.

Örneğin bu çalışmalar sırasında ekosistemin ne ölçüde zarar göreceği, sıyrılan verimli toprağın nasıl değerlendirileceği, ortaya çıkan atıkların (pasanın) ve makinelerden çıkacak gürültünün nasıl bertaraf edileceği; yani ortaya çıkan risklerin nasıl aşılacağı daha önceden planlamalıdır. Yapılacak çalışmalar tüm doğal ortamı etkiler. Sondaj için yerin hazırlanması ve kullanılan (katı ve sıvı) malzemeler ile çevresel etkileri, galerilerin açılması sırasında ortaya çıkan atıkların uzaklaştırılması ile partikül düzeyinde hava kirliliği gibi sorunların göz ardı edilmesi mümkün değildir.

Açılacak kuyunun derinliğine, çapına ve amacına göre çeşitli tipte sondaj makineleri kullanılır. Her makine için kullanılan malzemeler ve yapılacak işlemler farklıdır. Benzin, buhar, tazyikli hava, elektrik dizel ile çalışan motorlar vardır. Çevre dostu bir enerji türünün kullanılması tercih edilmelidir. Sondaj için gerekli olan su, sondaj makinesi üzerine yerleştirilmiş pompa ile kuyuya verilir. Ancak, kullanılmış olan suyun da arıtılarak doğaya verilmesinde yarar vardır. Sonuç olarak, hazırlık ve planlama evresinde çevreyi etkileyecek işlemlerin olabileceği dikkate alınırsa, diğer önemli evreler için de geçerli alışkanlıklar kazanılabilir.

Arama evresinde başka bir madencilik sorunsalı da yatırıma geçebilmek ya da üretime başlayabilmek için yöre halkından sosyal onay alınmasıdır (Oygür, 2018). Yöre halkının onayını almadan diğer evrelere geçilmesi halinde, geri dönüşü mümkün olmayan sorunların ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Planlama ve hazırlık evresi

ÇED süreci, ilerideki maden işletmesine yönelik teknik hazırlıkların yapıldığı bu evrede tamamlanmalıdır. Bu da kesinlikle fizibilitenin sonlanmasından önce gerçekleşmelidir. ÇED, aslında bir izin olmayıp, yapılması planlanan proje ve ona ilişkin çalışmaların ne gibi çevresel etkilerinin olabileceğinin ve bu etkileri ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla hangi önlemlerin alınacağının incelendiği ve değerlendirildiği bir planlamadır.

Proje konusuna bağlı olarak belirlenen kamu kurum ve kuruluşları, ÇED sürecinde bu çevresel

etkileri ve önlemleri inceleyerek uygunlukları hakkında görüş verirler. Yöre halkı da Halkın Katılımı Toplantısında projenin yöreye olabilecek etkileri hakkındaki görüşlerini ortaya koyarlar. "ÇED Olumlu" ya da "ÇED Gerekli Değildir" kararından sonra ÇED Raporu'nda geçen çevresel önlemler birer taahhüt haline gelir ve yatırımın başlaması için gereken çeşitli izinlerin alınması aşamasında bu taahhütlerin mutlaka yerine getirilmesi istenir (JMO, 2017).

Dolayısıyla, bir projenin yatırımı aşamasında veya işletme döneminde ÇED Raporu'nda taahhüt edilen hususlar, belirleyici olmaktadır. Ne olursa olsun ÇED kararını alalım diyerek gerçek olmayan bilgilerin rapora konulması ve uygulanamayacak veya uygulanmayacak taahhütlerin verilmesi de yatırımcıyı ilerideki aşamalarda sıkıntıya sokmaktadır.

Bir maden işletmesinin geleceğini tasarlayan ÇED sürecinde ve raporunda mutlaka çevre jeolojisi bilgisine yer verilmelidir. Böylelikle, yatırımcı ÇED sonrasında, ÇED Raporu'nda yer aldığı halde uygulanması mümkün olmayan taahhütlerden ve işletme sırasında görülebilecek sıkıntılardan kurtulmuş olacaktır.

Özellikle yöredeki hem yüzey hem de yeraltı suyunun rejimi, sahanın jeoteknik özellikleri, maden atıklarının karakterizasyonu ile depolanacağı yer ve kimyasal kirlenmelerin çevreye nerede ve nasıl sızabileceği hakkında bilgi toplamak, incelemek ve değerlendirmek için çevre jeolojisinin birikimlerinden yararlanılmalıdır. Bu çerçevede ÇED sürecinde, farklı uzmanlık alanlarındaki jeoloji mühendislerinin katkısından da yararlanılması gerekmektedir (JMO, 2017).

İşletme: Ocak işletmesi

Söz konusu faaliyete ilişkin tesislerin yapılması ve maden çıkarma sırasında ortaya çıkan çevresel etkilerdir. Bu evrede ortaya çıkan çevresel etkiler, yapıların büyüklüğüne, işlevine ve kullanılacak enerji türüne göre değişmektedir. İnşaat evresinde hem çevredeki diğer yapıların hem de inşaat sırasında çalışan personelin sağlığı gözetilmelidir.

Arama ve geliştirme faaliyetleri sonucu bulunmuş olan maden yatağında üretime geçmek üzere gerçekleştirilen ve cevher zenginleştirme sürecine kadar uzanan faaliyetlerin tümü ocak işletmesi olarak tanımlanır. Ocak işletmesi, açık ocak işletmesi ve yeraltı işletmesi olmak üzere iki türde yapılmaktadır.

Açık ocak işletmesinin çevre üzerindeki etkileri yeraltı işletmesinden farklıdır. Açık ocak işletmesinin genel etkileri aşağıda sunulmuştur.

- Arazinin doğal görünümünün bozulması,
- Verimli üst toprağın kaybolması,
- İşletme sahasındaki suyun drenajı nedeniyle yeryüzü su kaynaklarının kirlenmesi,
- Dekapaj ve üretim sırasında yapılan patlatmanın ve iş makinelerinin oluşturduğu toz, gürültü ve titreşimlerin etkisi,
- Yeraltısu düzeyinin düşmesi ya da değişmesi.

Topografyanın değişime uğraması dışındaki tüm etkiler iyi bir planlama ve uygulama ile denetlenerek önlenebilir ve olumsuz etkiler en alt düzeyde tutulabilir. Verimli üst toprak tekrar kullanım için saklanabilir veya gereksinim duyulan başka bir bölgeye götürülebilir.

Drenaj edilen suyun olumsuz etkileri varsa, kontrol altına alınarak atık su barajlarında biriktirilerek ıslah edilebilir. Üretim esnasında oluşacak toz, gürültü ve titreşimler denetlenerek zararsız düzeylerde tutulabilir. Ancak topografyanın değişimi engellenemez. Çünkü faaliyetin özü topografyayı geçici bir süre değiştirmektir. Fakat topografyada yapılan değişiklik işletme sonunda giderilebilir, hatta istenirse orijinal halinden daha kullanışlı ve verimli hale getirilebilir (Fuerstenau ve diğerleri, 1974).

Açık ocak işletmesine örnek olarak İzmir-Bergama Ovacık işletmesi Şekil 2'de sunulmuştur. Dikkat edilirse açık ocak işletmesinin kimi zaman geniş bir alanı etkileyebileceği açıkça görülür. Yani bu tür işletmeler yalnızca işletmenin yakın dolayını değil geniş bir alanı etkilemektedir.



Şekil 2. Açık ocak işletmesi (İzmir- Bergama, Ovacık Madeni işletme ve depo sahası) (Dilek, 2009).

Yeraltı ocak işletmesi açık ocak işletme ile üretim yapılamayan maden yataklarına uygulanan bir yöntemdir. Şekil 3, yeraltı ocak işletmesinin genel görünümüne bir örnek olarak sunulmuştur. Yeraltı ocak işletmesi, günümüzde birkaç yüz metreden birkaç bin metreye kadar olmakta, maden yatağının oluşumuna, yayılımına ve yapısına bağlı olarak birbirinden farklı yöntemler uygulanmaktadır.



Şekil 3. Bir yeraltı ocak işletmesi (www.blogcu.com).

Uygulanan yönteme bağlı olarak çevre üzerinde olabilecek etkiler de farklılık göstermektedir. Ancak bu etkileri genel olarak üç grupta toplayabiliriz. Yeraltında açılan boşlukların zaman içinde göçme ile dolması sonucu yeryüzünde oluşan tasman olayıdır. Tasman nedeniyle tarım ve ormanlık alanlarda bozulmalar, yüzeyde bulunan binalarda çatlamalar ve yıkılmalar meydana gelir. Başka bir ifade ile tasman sonucu topografya değişime uğramaktadır.

Yeraltında açılan boşluklara akan sular nedeniyle, yüzeyde tarım üretimi yapılan yerlerin ekolojisi bozulabilir. Çünkü yeraltı sularının akışlarının değişimi yerüstü su kaynaklarını da etkiler. Ayrıca, yeraltından çıkan atık kayaların stoklanmasının yaratabileceği etkiler de vardır.

Jeoteknik bakımından dikkat edilmesi gereken en önemli nokta işletme nedeniyle çevredeki kayaların fiziksel duraylılığını (stabilite) bozulması ve maden tesislerinin tehdit altına girmesidir (Şekil 4). Bu nedenle, tesis yerleşim yerinin seçilmesinde yöredeki kayaların özellikleri ile yörenin yapısal ve zemin özellikleri dikkate alınmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer konuda yörenin depremselliğidir. Öte yandan aşırı yağış hem zeminde hem de pasa ve atık yığınlarında hem fiziksel hem de kimyasal duraylılığı bozarak kirlenmeye ve aşırı erozyona yol açarak maden sahalarında sorun çıkarabilir (JMO, 2017).



Şekil 4. Fiziksel ve kimyasal (AKD başlamış) duraylılığını yitirmiş bir pasa yığını (JMO, 2017).

Maden işletmesinden kaynaklanan maden atıkları da bu evrede önemlidirler. Gerek fiziksel duraylılık gerekse yöredeki suya ve kayaçlara sızıntı bakımından maden ocağı atıkları ile proses atıklarının depolanacağı yerlerin yer seçiminde kesinlikle çevre jeolojisi bilgisinden yararlanılmalıdır. Maden atıkları konusundaki en büyük sorunlardan birisi olan ve kimyasal duraylılığının bozulduğu anlamına gelen Asit Kaya Drenajı (AKD), başladıktan sonra bitirilmesinin çok güç olması ve geniş bir alana zarar vermesi nedeniyle arama evresinden itibaren özel önem verilmelidir. Bir maden işletmesinde AKD'ye neden olabilecek S^{-2} içeren cevher veya kayanın varlığının belirlenmesi açısından atık karakterizasyonu son derece önemlidir (JMO, 2017).

Öte yandan ocak işletmeleri sırasında çeşitli iş kazalarının önlenmesi için çeşitli önlemler alınmalıdır. İş kazaları kişisel kusurlardan ve ortamda geçerli olan koşullardan meydana gelmektedir. Kişisel kusurlar, başlıca sorumsuz biçimde görev verilmeden iş yapmak, güvenlik uyarılarına uymamak, uygun ekipman kullanmamak, kişisel koruyucu malzemeyi kullanmamak, hızlı ve tehlikeli bir şekilde çalışmak ve ani irkilme gibi davranış şekillerini sergilemek biçiminde sıralanabilir. Çalışma ortamını etkileyen koşullar için uygun ekipmanların olmaması, yetersiz bakım ve tıkanıklıklar, yetersiz havalandırma ve aydınlatma, oluşan gazların uygun teknolojilerle izlenememesi, işe özgü eğitimin yetersizliği sayılabilir.

Yukarıda sayılan kazaların önlenmesi için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı öncülüğünde hazırlanan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG, 2015) Kanunu'nda öngörülen koşullara eksiksiz uymak zorunludur.

Cevher hazırlama ve zenginleştirme

Belki de madenciliğin çevre üzerindeki en yoğun etkilerinin ortaya çıktığı, dolayısıyla işletme süreçlerinin ve denetiminin zorunlu olduğu bir evredir. Özellikle cevher zenginleştirme süreci önemlidir. Ayrıca ortaya çıkan katı, sıvı ve gaz atıkların nasıl uzaklaştırılacağı ortaya konulmalıdır. Bu evrede madenin türü ve nitelikleri belirleyicidir. Örneğin metalik madenlerle, sanayi hammaddelerinin çevresel etkileri bile farklılıklar sunar. Dolayısıyla, bu evrede madenin türü özelinde çevrenin korunmasına yönelik bir değerlendirme yapılmalıdır.

Bütün madencilik faaliyetleri sonrası elde edilen cevher, satılabilir ürün elde edebilmek için birtakım zenginleştirme öncesi ve zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmaktadır. Cevher zenginleştirme amacıyla başlıca **gravite, flotasyon, ve manyetik ayırma gibi yöntemler** sıkça uygulanmaktadır.

Zenginleştirme işlemi tamamlandığında genellikle konsantre ürün olarak alınan kıymetli mineraller, cevherin ekonomik değer taşımayan kısmından çok azdır. Değer taşımayan bu kısım atık olarak tanımlanır ve bertaraf edilmesi gerekmektedir. Böyle bir durumda gerekli önlemler alınmazsa cevher zenginleştirme tesislerinin çevre üzerindeki etkileri aşağıda sunulmuştur (Elevli, 1998):

Toz ve Gürültü: Özellikle zenginleştirme öncesi işlemler olarak adlandırılan kırma, öğütme ve boyutlandırma faaliyetleri sırasında gerekli önlem alınmazsa çok miktarda toz ve gürültü oluşabilir ve bunlar çevreye zarar verebilir.

Sıvı Atıklar: İstisnalar hariç tüm zenginleştirme işlemlerinde su kullanılmaktadır. Tesise girişte genellikle doğal olan bu su, tesisin içine birçok çözünmüş iyonlar, ağır metaller, çeşitli organik reaktifler ve değişik katılar almış olarak terk eder. Ayrıca bu suyun pH değeri çok düşük veya yüksek olabilir. Bu şekildeki suyu arıtmadan çevredeki diğer ortamlara vermek zararlı olacaktır.

Katı Atıklar: Cevher zenginleştirme faaliyetleri sonucunda madenin değerli kısmı alındıktan sonra geri kalan ve katı atık da denilen kısmın atılması gerekir. Bu katı atıkların düzensiz depolanması ve atmosferik şartlarda bozunabilmeleri çevreyi olumsuz etkiler.

Gaz Atıklar: Pirometalurjik ve hidrometalurjik işlemler sonucunda oluşan gazlar atmosfere kirletici etki yapmaktadırlar.

Gerek açık işletmelerde gerekse yeraltı işletmelerde katı, sıvı ve gaz atıkların ortaya çıkması önemli çevresel sorunlar yaratırlar. Dolayısıyla bu atıkların yere özgü en uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Katı atıkların uzaklaştırılmasında doğal olarak maliyetin olabildiğince düşük kalması arzu edilir. Bu düşünce doğrultusunda, atıkların uzaklaştırılması yerine onları bir şekilde kullanarak kazanç sağlama akla gelen seçenektir. Böylelikle, bir yandan bertaraf edilmeleri sorunu ortadan kalkarken, öte yandan da işletme için yeni bir gelir kaynağı elde edilmiş olacaktır. Yani yeniden kullanımın ve geri kazanımın yanı sıra düzenli depolama, sıvı atıkların arıtılıp alıcı ortama verilmesi ve atık barajlarının yapılması gibi seçenekler de değerlendirilmektedir.

Atıklarının kullanımı ve yeniden kazanımı: Atıkların uzaklaştırılmasının tartışmasız en iyi çözümü onların yararlı hale getirilebilmeleridir. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, Dünya'nın birçok ülkesinde araştırmacılar bu konuda yoğun çaba harcamaktadır. Şimdiye dek elde edilen sonuçlar, atıkların tamamen olmasa bile kısmen istenen doğrultuda kullanımlarının mümkün olduğunu göstermiştir. Aşılması gereken en büyük engel üretilen atık malzemenin miktarı ve ne işe yarayacağıdır.

Hiçbir zenginleştirme süreci, %100 verimle çalışmaz. Atıklar belirli oranlarda kıymetli mineraller içerebilir. Atık miktarının azaltılmasında büyük katkı yapmasa da, bu değerlerin kazanılması yoluna gidilebilir. Bir başka olanak, atıkların inşaat sektörü hammaddesi olarak kullanılma şansıdır. Bu olasılık yalnızca inşaat sektörü ile de sınırlı değildir. Atıklar başka sanayi dalları için de girdi olabilir. Burada değinilen üç ayrı değerlendirme şekli sınırlı da olsa kullanılmakta ve konu ile ilgili araştırmalar devam etmektedir.

Atıktaki değerli unsurların geri kazanılmasının bir diğer faydası daha vardır. Yeniden zenginleştirme yapıldığında, elde edilen ekonomik kazancın yanında, atık bünyesinde bulunan metallerin ya da endüstriyel hammaddelerinin derişimi de azalmış olur. Bu da bir başka yolla kirliliğin denetim altına alınması anlamına gelir.

Düzenli depolama ve yer seçimi: Atıkların bertaraf edilmesi konusunda en yaygın uygulama, yeraltı maden işletmelerinde madenin kazılıp çıkarılmasıyla oluşan boşluklara tesis atıklarının çeşitli yöntemlerle boşaltılmasıdır. Yeraltı işletmesi sonucu damar kalınlığı, üretim miktarı, cevher özellikleri ve işletme büyüklüğü gibi faktörlere bağlı olarak yeraltında, değişik hacimlerde boşluklar açılır. Açılan boşluklar **tasman** adını alan yeryüzeyindeki çöküntü ve kaymalara yol açar. Bu da yeraltında çalışanların güvenliği bakımından bazı riskler taşır. Dolayısıyla oluşan boşluklara dolgu yapılır. Madencilikte dolgu işlemine **ramble** adı verilir. Ramble malzemesi işletme faaliyetleri sonucu açığa çıkan malzemelerden ya da dışarıdan sağlanır.

Katı atıkların uzaklaştırılmasında düzenli depolama için yer seçimi çalışmalarında amaç, teknik, ekonomik ve çevresel faktörleri dikkate alarak, en uygun yeri seçmektir. Bu seçim temelde bir mühendislik çalışmasıdır. Ancak, en uygun yer seçim için çevresel hususların göz ardı edilmemesi zorunluluğu vardır.

Seçilen yer, günlük ve yıllık üretim miktarı ve maden ömrü dikkate alınarak yeterli kapasitede olmalıdır. Yeraltı suları yığınlardan kirlenen sularla karışıp kirlenmemelidir. Erozyon veya yığın korozyonu kaynaklı çözünmüş katılar ve silt yükleri yüzey sularını etkilememelidir.

Topoğrafya, hidrojeolojik çevre, yeraltı jeolojisi, depremsel koşullar, rüzgâr yönü ve hızı ile yağışlara ait ortalama ve maksimum değerler ile ilgili veriler toplanıp değerlendirilmelidir. Seçilecek yere ait veriler kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır. Seçilen yer, yasa ve yönetmeliklerde belirtilen ölçütlere uygun olmalıdır.

Ayrıca katı atıkların uzaklaştırılmasında tercih edilen seçeneklerin bazıları da, bu atıkların denizlere ya da göllere boşaltılması, akarsulara ya da karasal alıcı ortamlara verilmesi gibi seçenekler de vardır.

Denizlere boşaltma: Tesis atıklarının deniz veya okyanuslarda kıyıdan uzaktaki derin yerlere boşaltılması, bazı maden işletmelerinin tercih ettiği yöntemlerden biridir. Birçok maden işletmesi için başvurulması ihtimal dışı iken, bazıları için de tek çözüm yoludur.

Bu yöntemin uygulanması için ilke olarak, atıkların kimyasal bakımdan zararsız olması gerekir. Tane boyutu hızla çökelerek, bulanıklığa meydan vermeyecek kadar iri olmalıdır. Ancak kıyı zonları biyolojik açıdan üretkendir. Bu nedenle, atıklar yeterince uzakta ve derinlikteki noktalara bırakılmalıdır. Yöntemin seçiminde önceden incelenmesi ön koşul niteliğindeki parametreler ise, atıkların bırakıldığı zonun taban topoğrafyası, derinlerde ya da tabana yakın kısımlarda yaşayan organizmaların türü, çökellerin bileşimi ve özellikleri, alıcı ortamın fiziksel, kimyasal ve biyolojik durumudur.

Göllere boşaltma: Tesis atıkları için diğer bir alternatif yöntem, atıkların göllere boşaltılmasıdır. Ancak göller, denizler ve okyanuslar kadar büyük hacimli değildir. Bu nedenle göllerin bünyelerine kabul edebilecekleri yabancı madde miktarı son derce sınırlıdır.

Göllerin alıcı ortam olarak kullanılmasında atıkların içeriklerine bağlı iki ciddi sorun vardır. Bunlardan birincisi, atıkların çoğu zaman bazı ağır metalleri bünyesinde bulundurmasıdır. Atıklar göllere bırakıldıklarında, ağır metal birikimi olacaktır. Zehirli gereçler, özellikle balıklar ve diğer organizmalar için çok düşük oranlarda olması dahi öldürücüdür. İkinci sorun, atıkların çeşitli sülfür bileşiklerini içermesidir.

Sülfürler sudaki oksijenle tepkimeye (reaksiyona) girip tükenmesine sebep olurlar. Ortamdaki canlılar için hayati önemi olan oksijenin geri kazanılması da yavaş olduğundan risk artar. Sülfürlü atıkların oksijenle tepkimeye girmesi ile oluşan asitler de başka bir sorundur. Asitler yalnızca canlıları tehdit etmekle kalmaz, ağır metallerin çözünmesini kolaylaştırarak tehlikeyi büyütürler. Göllerin tesis atıklarının atılmasına pek uygun olmadıkları aşikârdır. Yöntemin uygulanabilmesi için tesis boyutlarının büyük ve gölün işletmeye yeterince yakın olması gerekir.

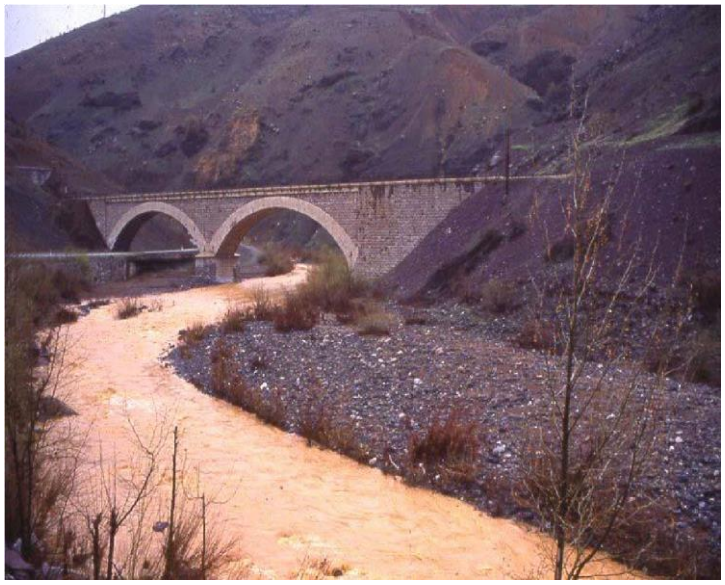
Akarsulara boşaltma: Atıkların akarsulara boşaltılması, geçmişte yaygın bir uygulama iken, günümüzde sınırlı sayıda bazı işletmeler hariç tutulursa, pek tercih edilmemektedir. Atıklar nehirlere atıldıklarında, nehir kenar ve ağızlarında birikim yaparak alüvyon oluştururlar. Akarsular ciddi olarak kirlendiği gibi, bu kirliliği doğal çevresel döngülerin çalışması sonucu uzak noktalara da ulaştırırlar.

Ayrıca, akarsular kimi zaman tesislerin atık yükünü taşıyamamaktadır. Örneğin, Şekil 5'de Diyarbakır'ın Ergani ilçesinde yer alan bakır işletmesinin Dicle nehrinin yukarı mecralarına verdiği kirlilik görülmektedir. Böyle bir akarsuda bir canlının yaşama şansı yoktur. Tüm olumsuzluklara karşın, akarsuların alıcı ortamlar olarak kullanıldığı tesisler vardır.

Atık havuzları: Tesislerin katı atıkları günün koşulları içinde ekonomik bakımdan değerlendirilemiyorsa ve okyanus, deniz, göl ve nehir gibi alıcı su ortamlarına boşaltılamıyorsa, geriye kalan tek çözüm yolu atık barajları ya da atık havuzlarıdır.

Atık barajları ile atık havuzları birbirlerinin benzeridirler. Bir atık havuzu oluşturmak gereği doğduğunda, bir de atık barajı inşa etmek gerekebilir. Bu faaliyetler, işletme açısından ciddi bir mali yük demektir. Dolayısıyla, en düşük maliyetle tamamlanması istenir.

Ne yazık ki en düşük maliyetle tamamlamak da çoğu zaman zordur. Çünkü atık havuzu ya da baraj tasarımında, mevcut mühendislik yaklaşımlarını sınırlayan çok sayıda faktör vardır. Maden işletmesinin bulunduğu yer, bölgenin iklim karakteri, nüfus durumu, coğrafik koşullar, jeolojik yapı, atık havuzu ve barajının kurulacağı alan ve yakın çevresinde yeraltı ve yerüstü su durumu, üretilecek madenin cinsi, seçilen zenginleştirme süreçleri ile mevcut yasa ve yönetmelikler başlıca sınırlayıcı faktörlerdir.



Şekil 5. Diyarbakır-Ergani bakır işletmesinde Dicle nehrine boşaltılan katı atıkların yarattığı kirlilik (Kalender, 2009).

Atık barajlarının planlanması ve tasarımında üstesinden gelinmesi gereken birçok engel vardır. Atık barajının kurulacağı yerin seçimi, tipinin ve boyutlarının tespiti, inşaatta kullanılacak gereçlerin seçimi ve yasal sınırlamalar bu engellerin bazılarıdır.

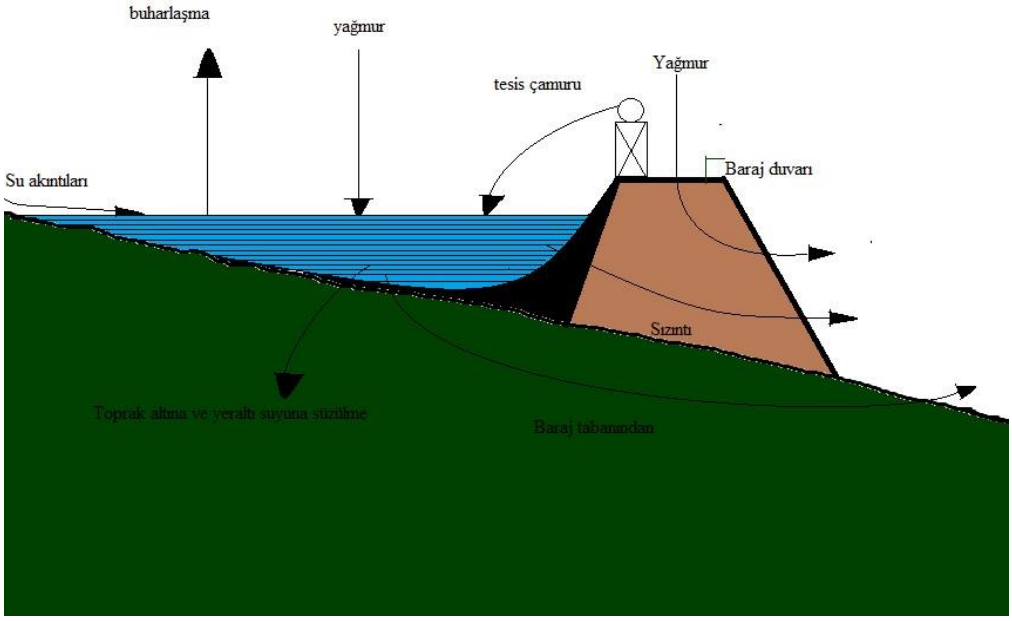
Atık barajları genel anlamda klasik barajlardan farklı değildir. Atık barajlarını diğerlerinden ayıran üç temel fark vardır. Öncelikle, baraj gerisinde depolanan atık yığını yumuşak, gevşek ve göreceli olarak geçirimsizdir. İkincisi, genellikle atık barajları atıkların iri taneli kısımları kullanılarak inşa edilir. Üçüncüsü, atık barajı inşaatları atık atma işleminin bir parçası olarak madenciler tarafından gerçekleştirilir. Bu farklılıklara rağmen, tasarım ilkeleri açısından büyük bir benzerlik söz konusudur.

Atıklara dair baraj tasarımında üç önemli unsur; atıkların temel mühendislik özellikleri, barajın temelini oluşturan zeminin özellikleri ve suyun denetimidir.

Kimi katı atıkların baraj dolgusunda veya yapımında kullanım olanağı büyük bir ekonomik avantajdır. Üretim esnasında ortaya çıkan yan kayaçların istenen nitelikte olmaması veya gerekli malzemenin dışarıdan başka yollarla teminin güç olması durumunda, atıkların önemi daha da artar. Atıklar baraj dolgusunda veya inşaatında kullanılacaksa bazı özelliklerinin belirlenmesi elzem olur. Bu doğrultuda, atıkların kesme dayanımı, pekişme, geçirgenlik, yoğunluk, sedimantasyon ve inşa özellikleri gibi fiziksel nitelikleri ile kil içeriği ve kimyasal bileşimi belirlenmelidir.

Atık havuzu ve baraj tasarımında su denetimi en önemli faktördür. Sızma ve diğer yollarla kirliliğin yeraltı ve yerüstü sularına karışma (Şekil, 6) olasılığına karşı gerekli önlemlerin alınabilmesi için, tesisi terk eden suyun pH değeri, metal iyonu ve çözünmüş katı içeriği ve radyoaktivitesi gibi özelliklerinin bilinmesi zorunludur.

Barajın oturtulacağı alanda ve yakın çevresinde bulunan zeminlerin özellikleri, barajın geleceği üzerinde birinci derecede etkilidir. Testlerle zemini oluşturan toprak ve kayanın cinsi, süreksizliklere ve boşluklara ait bilgiler (varlıkları, yerleri, yer değiştirmeleri ve boyutları) ve diğer özellikler belirlenir. Bir kaya türünde fiziksel ve mekanik niteliklerin değişime uğradığı yapısal unsurlar "süreksizlik" adını alır. Süreksizliklerin varlığı, yerleri ve boyutları baraj duraylılığını olumsuz yönde etkiler. Bazı önlemler almayı gerekli kılar.



Şekil 6. Atık havuzuna giren ve çıkan suların akış yönleri (Swaisgood ve Toland, 1973).

Yapılan araştırmalar, baraj yıkılmalarının doğal nedenlerden ya da yapım hatalarından meydana geldiğini ortaya koymuştur. Doğal nedenleri fazla yağış, heyelan, deprem, aşınma, dalga ve buz etkisi oluştururken, yapım hatalarını yetersiz malzeme, inşaat hatası, yapıda çatlama ve bozulma ile kaymalar oluşturmaktadır (Tarhan, 1989).

Atık barajlarında rastlanan en yaygın hatalar;

- Temel bozuklukları (foundation failure),
- Eğimlerde görülen hatalar (slope failure),
- Taşma (overtopping failure),
- Erozyon (erosion failure),
- Borulanma (akıntı kanalları oluşumu – piping failure), □ Su toplama sistemleri (decant conduit failure)
- Sıvılaşma (liquefaction failure), şeklinde sıralanabilir.

Sıvı atıkların uzaklaştırılması madencilik faaliyetlerinin önemli bir sorunudur. Özellikle cevher zenginleştirme süreçlerinde kayda değer kirlenmiş sular ortaya çıkar. Yeraltı işletmesi, açık işletme ya da diğer yöntemlerle madenlerin cevher zenginleştirmesi sırasında kullanılan sular önce atık havuzuna daha sonra da bir şekilde bu ortamlara giren sular ya da yağmur suları ile doğal ortama çeşitli yollarla taşınabilirler. Ya da sızma ve süzülme yoluyla sadece yeraltı su sistemlerine değil, akarsu ve dereler gibi yerüstü sularına da karışabilirler. Böylece yakın çevredeki ya da daha düşük oranlarda uzak yerlerdeki suların ve tarım alanlarının kirlenmesine yol açabilirler.

Madencilik faaliyetleri ile bağlantılı sıvı atıkların üç ana kaynağı vardır. Bunlar tesis proses atık suları, doğrudan madenden gelen sular ve atık yığınından sızarak gelen sulardır. Tesis proses sularının başlıca niteliği, çamur kıvamında yüksek oranda katı gereç içermesidir. Yapısında çözünmüş metal iyonları, prosese ilave edilen reaktif kalıntıları, proses ve taşınma süresince meydana gelen kimyasal bileşikler ve çözünmüş diğer katılar mevcuttur. Genellikle pH değeri alkalin sınırlar içindedir.

Kirlenmiş olan suların miktarlarının azaltılması akla gelen ilk önlemlerden biridir. Bu amaçla yapılacak çalışmalar madenlerdeki sızıntı ve süzülmelerin önlenmesi, maden sahalarının yakın çevresinde yer alan dağ ve tepelerin yamaçlarında su akışını yönlendirmek için kanalların açılması ve tesislerin dışına su verilmemesi veya bu imkânsız ise, verilen su miktarlarının olabildiğince azaltılması gibi tedbirleri kapsar.

Tesis dâhilinde, ortaya çıkan kirli suların fizikokimyasal ve biyolojik niteliklerinin analizlerle belirlenmesi ve elde edilen sonuçlardan suların taşıdığı risklerin boyutlarının ortaya konması önlemlerin ilk adımıdır. Prosesler üzerinde sınırlı değişikliklere gidilmesi tabiidir ki, soruna kesin bir çözüm getirmez. Ancak, yine de kayda değer faydalar sağladığı bir gerçektir. Alınabilecek bir başka önlem, tesis çıkış suyunu tesise geri döndürerek artık suyun hacmi ve şiddeti azaltılabilir. Kesin çözüm için suların uygun bir yöntemle arıtılması zorunludur.

Öğütme, sınıflandırma, koyulaştırma, filtrasyon, salkımlaştırma ve aglomerasyon gibi prosesler ile gravite, manyetik ve flotasyon gibi zenginleştirme prosesleri, kullanılan suyun niteliğini değiştirirler. Proses sularının bazı iyonları, organik maddeleri, çeşitli çözünmüş ve askıda katıları bünyesinde bulundurması minerallerin yüzey özelliklerini değiştirebilir. Mineralin yüzey yükü ve kimyasal karakterinde farklılaşma görülebilir. Bu sular ortamın pH değerini de yükseltebilir veya aşağı çekebilir. Böylece, dağılma, salkımlaşma ve adsorpsiyon olayları meydana gelebilir.

Proseste performans düşüklüğü ve hatta bir prosesin tamamen ters yönde gerçekleşmesi mümkün olabilir. Kısacası, hazırlama ve zenginleştirme sürecinde su kalitesi büyük bir faktördür. Dolayısıyla, suyun geri döndürülüp tesise beslenmesi öncesinde arıtılarak istenen nitelikleri taşıması sağlanır. Tesisin bulunduğu yerin imkânları paralelinde suyun tesise geri beslenmesi gerekli veya ekonomik olmayabilir. Ancak, buna rağmen arıtma işlemi uygulanmak zorundadır. Çünkü çevresel kısıtlamalar nedeniyle, artık suyun doğal ortamlara bırakılabilmesi için yönetmeliklerde belirtilen değerlerin üzerinde yabancı madde taşımaması koşulunun yerine getirilmesi gerekir.

Suda bulunan kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılan yöntemler **fiziksel, kimyasal ve biyolojik** olmak üzere üç sınıfta toplamak mümkündür. Askıdaki katıların ve ayrışabilen maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılan fiziksel yöntemler koyulaştırma, filtrasyon, berraklaştırma, buharlaştırma, ters osmoz, diyaliz, elektrodiyaliz, membran prosesleri, ultrafiltrasyon ve sıcaklık değişimi gibi çok çeşitli işlemleri kapsar. Suyun içerdiği çözünmüş katılar, iyonlar, ağır metaller, reaktif kalıntıları ve diğer organik maddelerin uzaklaştırılması ile pH ayarlaması gerektiğinde ise değişik kimyasal yöntemlerden biri seçilir. Havalandırma, oksitleme, klorlama, ozonlama, peroksit veya permanganat ilave etme, indirgeyici kullanma, iyon değişimi ve çözücü ayırma işlemleri (solvent ekstraksiyon prosesleri) ve soğurma yaygın kimyasal yöntemlerdir.

Bir arıtma yönteminin su içinde bulunan kirleticileri bertaraf ederek, istenen kalitede su sağlaması şarttır, ancak yeterli değildir. Ortaya çıkacak çamur hacminin minimum olması arzulanır. Azami sistem güvenirliği beklenir. Ayrıca, yatırım ve işletme giderlerinin makul seviyede gerçekleşmesi seçimde belirleyicidir. Geliştirilen arıtma teknikleri arasında, her türlü arıtma sorununa çare olan biri yoktur. Bir reaktif ya da bir metal iyonunun uzaklaştırılmasında fevkalade olumlu sonuçlar veren bir yöntem, bir başka problemin çözümünde son derece etkisiz kalabilmektedir. Bazı yöntemler teknik açıdan istenen nitelikleri taşımasına rağmen, maliyetlerinin yüksekliği onları seçenek olma konumundan çıkarmaktadır. Bundan dolayı laboratuvarlar uygulama imkânı bulamamış birçok yöntem vardır.

Sıvı atık havuzları: Tesisten gelen sıvı atıkların bünyesinde taşınan kirli suların ve diğer kirli akıntıların toplandığı atık havuzları, aynı zamanda arıtmaya katkı sağlayan bir işlevi de yerine getirir.

Atık havuzları basit yapıda olmalarına karşın, aynı anda arıtma açısından birçok işlevi yerine getirir. Suların artık havuzunda kalış süreleri genellikle birkaç haftadır ve bu süre bu işlevler için yeterlidir. Organik malzemeler burada bozuşur veya adsorbe olur. Ağır metal buharlaşması ile çökeleklerin oluşumu da atık havuzunda gerçekleşir. Bu çökelekler ve diğer katılar sedimantasyonla sıvı kısımdan ayrılır. Asit karakterli sıvılar geniş hacim içinde nötr hale gelir. Atık havuzlarının dengeleyici bir işlevi vardır. Yağmur sularını depolar ve sistemin akış dengesine yardımcı olur. Şekil 7'de ABD' nin Missouri eyaletinde tasarlanmış olan bir sıvı atık havuzu görülmektedir. Bu tür havuzların denetimi için, öncelikle uygun yer seçimi yapılmalı ve bir kaza halinde acil eylem planı oluşturulmalıdır.



Şekil 7. Atık havuzu, Missouri (A.B.D.) (www.altinmadencileri.org).

Atık havuzlarının özellikle etkili olduğu arıtma prosesleri, başlıca sedimantasyon, oksidasyon ve katıların atılmasıdır. Her üç proses de yüksek verimle gerçekleştirebilir. Bunun için, havuzun yeterince büyük ve iyi tasarlanmış olması ve iyi işletilmesi zorunludur. Ancak, kimi zaman bu gereklerin yerine getirilmesi de yeterli olmayabilir. Çünkü atık havuzlarının doğal yapısından kaynaklanan iki dezavantajı vardır. Sistemin boyutları ve doğal karakteri, her bir prosesin ayrı ayrı denetiminde eksikliklere neden olabilir. Proseslerin devam edebilmesi için gerekli koşullar yoksa, proseslerin her birini optimize etmek olanaksız hale gelebilir. Metallerin değişik hidrojen iyonu derişimindeki davranışları büyük farklılıklar gösterir. Dolayısıyla, metallerin ayrımı, sıkı bir pH kontrolü ile mümkündür. Hâlbuki oksitlenmeye uygun olan bileşenlerin karalı hale gelmesi için ortamın pH değeri düşük olmalıdır. Bu ise, asit üretimine katkı yapar ve pH kontrolünü güçleştirir.

Sedimantasyonun olması, ortamın hareketsizliğine bağlıdır. Bu durum, özellikle çok ince boyutlu tanelerde önem kazanır. Buna karşın, atık havuzlarında katıların tane boyutu şlam mertebesindedir. Öte yandan biyokimyasal oksidasyon için ortamın türbülanslı olması ve rüzgâr hareketinin varlığı olumlu sonuç verir. Görüldüğü gibi, her iki proses farklı koşullarda ve birbirine engel olacak yönde meydana gelmektedir.

Arıtma: Sedimantasyon (Çöktürme), Salkımlaştırma (Flocculation), Pıhtılaştırma (Coagulation), pH Kontrolü, Koyulaştırma (Thickening), Filtrasyon, Havalandırma, Flotasyon, İyon değişimi, Solvent ekstraksiyonu**,** Ters ozmoz, Soğurma ve biyolojik arıtma gibi pek çok yöntem uygulanmaktadır.

Çökeltme (Sedimentation): Temelde bir katı sıvı ayırma işlemi olan çöktürme, katı taneleri ile sıvı arasında büyük yoğunluk farkı olduğunda etkili olur. Tane boyutu da diğer önemli etkendir. Bu yöntemde atık sularda bulunan askıdaki katı tanelerin gravite kuvvetinden yararlanılarak ayrılması sağlanır. Tanelerin sıvı ortamda çökelme hızları tane boyutuna, katı tanelerin ve sıvı ortamın yoğunluğuna ve sıvının viskozitesine bağlıdır.

Sedimantasyonun olabilmesi ortamın hareketsizliğine bağlıdır. Bu durum, özellikle çok ince boyutlu tanelerde önem kazanır. Buna karşın, atık havuzlarında katıların tane boyutu şlam mertebesindedir. Öte yandan biyokimyasal oksidasyon için ortamın türbülanslı olması ve rüzgâr hareketinin varlığı olumlu sonuç verir. Görüldüğü gibi, her iki proses farklı koşullarda ve birbirine engel olacak yönde meydana gelmektedir.

Salkımlaştırma (Flocculation): Atık su arıtımında kimyasal yöntemlerle askıdaki maddelerin uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlemde, bir katkı maddesi vasıtasıyla çok sayıda taneciğin bir araya gelmesi ve salkım oluşturmasının bir sonucudur. Böylece, bireysel olarak zorlukla çöken tanecikler, birleşip tek bir iri taneler kütlesine teşkil ettiklerinde kolayca ve hızla çökerler. Tane çapı büyürken, çökme hızı da parabolik olarak artar. Taneciklerin salkımlaştırılması için ortama uzun zincirli organik polimerler ilave edilir. Reaktif molekülleri askıdaki ayrık taneler arasında köprü görevi görmek suretiyle onları birleştirir.

Pıhtılaştırma (Coagulation): Bir fiziko-kimyasal arıtma yöntemi olup demir klorid ya da alüminyum sülfat solusyonlarının atıksuya katılmasıyla bazı katı ve kolloidal maddelerin çözündürülüp duraylı katılara dönüştürülmesi işlemidir. Pıhtılaştırmada, son derece ince kolloidal taneciklerin doğrudan birbirlerine yapışması sağlanır.

pH Denetimi: Tesislerden çıkan suların iyileştirilmesinde, pH denetimi önemli bir yer tutar. Sular, maruz kaldıkları prosesler ve geliş kaynaklarına göre değişik özellikler sergilerler. Proses atıkları ile gelen suların pH'ı genellikle yüksektir. Buna karşılık, yüzey drenajı kaynaklı olanlar ise asidiktir.

Koyulaştırma (Thickening): Bazen çamur kıvamındaki proses artıklarının su içerikleri çok fazladır ve bu durum yer problemi doğurur. Bazen de, fazla su yapısal denge açısından sınırlayıcı bir etmendir. Her iki halde de kısmi susuzlandırma veya koyulaştırma ile belirli miktar su uzaklaştırılır. Koyulaştırıcılar gravite kuvvetinden yararlanarak katı taneleri hızla çöktürüp, süspansiyonun katı konsantrasyonunu arttıran ve aynı zamanda berrak su üreten tanklardır.

Filtrasyon: Sıvı geçişine izin verirken katıları tutan gözenekli bir ortam yardımıyla, katı-sıvı ayrımı yapan bir süreçtir. Taneli ortamlardan faydalanarak su filtrasyonu, bilinen en eski ve en basit su arıtma şeklidir. Tane şekli ve boyut dağılımı önemli faktörlerdir. Yuvarlak şekli ve eşit çaplı taneler daha küçük boşluklu ortam oluştururlar. Bu ise daha büyük miktarda katı malzeme tutulmasını sağlar. Ancak, çok az boşluk tıkanmaya neden olur.

Havalandırma: Nötralizasyon ile birlikte uygulanan bir işlemdir. Nötralizasyon ile birlikte yapılmasının nedeni, havalandırma prosesi esnasında ortamın pH'ının 8-11 arasında olması gereğidir. Havalandırmada genel amaç çözünmüş halde bulunan +2 değerlikli demir ve +4 değerlikli mangana yükseltgemektir. pH 8-11 aralığında iken demir ve mangan yüksek verimle oksitlenebilir. Oksitlenen demir ve mangan çözünmez hale geçerler.

Flotasyon: Arıtma esnasında flotasyondan seçimli yüzdürme beklenmez ve tüm katılar birlikte yüzdürülür. Bu yönüyle flotasyon, arıtmada seçenek olma konumuna gelir. Flotasyon yöntemi sıkı bir pH kontrolü gerektirir. Bu zorunluluk, katı maddelerin uzaklaştırılmasında flotasyon tercihini güçleştirir.

İyon Değişimi: Günümüzde, etkin bir metalurjik proses olarak zenginleştirme amacıyla birçok tesiste kullanılan iyon değişim, prosesi su arıtmada ilk kez 1908'de sert suların yumuşatılmasında kullanılmak üzere bu alana sokulmuştur. İlk iyon değiştiriciler alüminyum tuzları ve silikatların karıştırılması ile üretilen yapay zeolitlerdir. Katyon değişimi uygulamalarının genişlemesine öncülük eden reçineler 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. Suyun minerallerin çözümünde etkili olan anyon değiştirici reçineler ise, 1949'da bu alana girmiştir.

Solvent Ekstraksiyonu: Diğer adıyla sıvı-sıvı ekstraksiyonu, birbirine karışmayan iki faz arasında bir kütle transferi söz konusu olan bir denge prosesidir. Metallerin kazanılmasında metalurjik yöntemlerin kullanıldığı bazı tesislerde, atık sudaki asitler ve diğer çözücülerin temizlenmesi bu şekilde yapılmaktadır.

Ters Ozmoz: Bu proses, farklı derişimlerdeki (konsantrasyonlar) iki çözeltinin aynı çözücü içerisinde, bir membran vasıtasıyla birbirinden ayrıldığı sistemlerde gerçekleştirilir. Eğer membran ideal bir yarı geçirgen ise, bir başka ifade ile çözücü için geçirgen değilse, seyreltik çözeltiden yüksek derişimli çözeltiye çözücü akışı olur. Her iki çözeltinin derişimleri eşit oluncaya veya derişimi yüksek çözelti tarafında basınç belirli bir değere ulaşıncaya dek akış sürer. Bu olaya ters ozmoz adı verilir.

Soğurma: Mekanizmaları çok iyi anlaşılamamış olmasına karşın, arıtma teknolojisi alanında umut beslenen yöntemlerden biridir. Soğurma olayı yüzey yüküne bağlı elektriksel çekim, yükseltgenme,

indirgenme, hidroliz, bileşik meydana getirme, kenetlenme ve yeterince anlaşılamayan veya tanımlanamayan diğer birçok alt oluşumu içerir (Fuerstenau, 1976). Sorbent olarak katı, sıvı veya kabarcık halinde gaz kullanılmaktadır. Fenol içeren reaktifler, alkoller, aminler, asitler ve diğer birçok organik madde aktif karbona soğurularak ortamdan ayrılabilir.

Biyolojik arıtma: Biyolojik bozunma, su arıtmada uzun süreden beri bilinen bir yöntemdir. Doğadaki oksidasyonun bir tür yapay tekrarıdır. Doğal oksidasyondan farkı, denetimli ve daha hızlı gerçekleştirilmesidir. Bunun için önce gerekli koşullar hazırlanır. Ardından da, organik ve inorganik kirleticilerle mikroorganizmaların temas etmeleri sağlanır. Mikroorganizmalar ortamda bulunan bu maddeleri metabolizmaları vasıtasıyla tüketirler. Mikroorganizmaların diğer bir fonksiyonu da bazı potansiyel kirleticileri kimyasal değişikliklere uğratmasıdır. Onları sülfatlara, karbonatlara ve nitratlara dönüştürerek zararsız hale getirir. Bu çerçevede sıkça kullanılan nitrifikasyon, bakteri faaliyetleri ile amonyum ya da amonyağın oksitlenerek nitrit ya da nitrata dönüşümü; denitrifikasyon ise nitratın bakteriler tarafından indirgenmesi olarak tanımlanır.

Arıtma yöntemlerinde kullanılan gereçler: Silis kumu, diyatomit, zeolit, perlit, kireç, soda, magnezyum hidroksit, manyezit, kil mineralleri gibi doğal gereçler kullanılmaktadır.

Silis Kumu: Rezervlerinin fazlalığı sayesinde kolayca temin edilebilmesi ve ucuzluğu, silis kumunun mekanik filtrasyonda kullanımını yaygınlaştırmıştır. Kristal silis kumu, boyut aralığı 10-20 μm. olan katıların filtrasyonu için uygun bir filtre ortamıdır. Kumdaki silis yüzdesi, kumun tane şekli, tane boyutu dağılımı, mekanik dayanımı (aşınmaya direnci) ve kimyasal açıdan inert olması önemlidir. Ayrıca, yoğunluk ve homojenlik dikkate alınması gerekli olan diğer hususlardır.

Diyatomit: Gözenekli yapısı, geniş süzme yüzeyi sağlaması, yağ ve bazı mikroorganizmaları absorbe etmesi ve boşluklu olması nedeniyle filtrasyon hızını ve verimini arttıran diyatomit, esas olarak opal silisidir. Doğal diyatomit kimyasal bakımdan inerttir. Bu özellikleri diyatomiti mükemmel bir filtre malzemesi haline getirir. Filtre ortamı niteliklerini iyileştirmek amacıyla, diyatomit bazı proseslerden de geçirilmektedir. Böylece diyatomitin, tane boyutu ve içeriği açısından da istenen özellikleri taşıması sağlanır.

Zeolit: Genel formülü $(Na_2,K_2,Ca,Ba)[(Al,Si)O_2]_x.nH_2O$) olan zeolit mineralleri çeşitli kirleticilerin uzaklaştırılması amacıyla, bir süredir arıtma teknolojisinin gündemindedir. Zeolitlerin arıtma ile ilgili özelliklerinin temelini, yapıyı oluşturan aluminosilikat çerçeve, su molekülleri ve iyon değişimini sağlayan katyonlar teşkil eder. Bu iyonlar Ca^{+2}, Na^{+} veya K^{+} olup, yapıdaki boşluk ve kanallarda yer alırlar. Zeolit suyu ve değişim iyonları bu kanallarda hareket ederler.

Perlit: Sulu alüminyum silikat olan, amorf yapıda ve su içeren camsı volkanik kayadır. Hızla ısıtılırsa bünyesindeki su buharlaşarak uzaklaşır. Bu esnada genleşir ve yapısında ince küresel çatlaklar ağı meydana gelir. Yalıtım sağlaması nedeniyle, özellikle inşaat sektöründe aranan bir madde olan perlit, diyatomite benzer filtrasyon özellikleri gösterir. Yoğunluğu çok düşük bir maddedir.

Kireç: Şüphesiz, su arıtımında en önemli malzeme konumundadır. Suların sertliğinin giderilmesi, çöktürülmesi, dezenfekte edilmesi, kokusunun giderilmesi ve oluşan küflerin öldürülmesi kirecin fonksiyonlarından birkaçıdır. Kolay bulunması ve ucuzluğu avantajıdır. Yüksek hacimli çamur üretmesi ve cilt ile temas ettiğinde yakması ise dezavantajlarıdır.

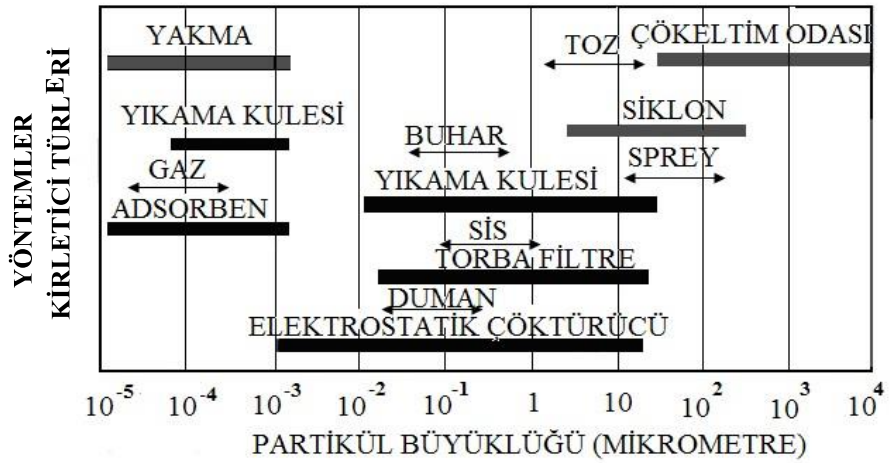
Kostik Soda ve Soda Külü: Sıvı atıkların pH'ının kontrolünde, kostik soda ve soda külü ile sonuçlar alınmaktadır. Kostik soda sıvı halde olduğundan kullanımı kolaydır. Tepkime hızının yüksekliği nedeniyle de tercih edilmektedir. Ayrılan malzemenin çözünmüş toplam katı içeriği kirece oranla fazladır. Göz ve cilt tahrişine neden olması ve pahalılığı dezavantajlarıdır.

Magnezyum hidroksit: Sıvı atıklarda, arıtma için, magnezyum hidroksit kullanımı oldukça yeni bir uygulamadır. Kireç ile kıyaslandığında birkaç kat daha pahalı olmasına karşın, birçok avantajı vardır. Öncelikle daha emniyetlidir ve çok az hacimde çamur üretimine neden olur. Alkali içeriği yüksektir. Kireç ve diğerleri yüksek tepkime hızları dikkate alındığında avantajlı görünseler de, aşırı ilave yapılması ihtimaline bağlı olarak pH değerinin 11-12'ye kadar çıkması söz konusudur. Bu durumun gerçekleşmesi halinde de aşırı alkalilik problem yaratacaktır.

Manyetit: Sıvı atıkların arıtılmasında ince taneli manyetitin kullanıldığı teknoloji, son yıllarda yapılan araştırmalarla geliştirilmiştir. Sıvı atık içinde askıda ve çözünmüş halde bulunan fosfatlar, florürler, organik maddeler, mikroplar ve ağır metallerin ayrılmasında yararlanılan bir yöntemdir (Lin ve Spevakova, 1994). İnce tane boyutundaki manyetit sıvı atık içine ilave edilir. Manyetik olmayan kirleticiler bu taneciklere tutunur. Yüklü taneler manyetit ayırma işlemine tabi tutularak ayrılma sağlanır.

Kil mineralleri: Pıhtılaştırma ve salkımlaştırma proseslerinde, katkı maddesi olarak eklenen kil minerallerinin büyük çoğunluğunda iyon değişim ve soğurma özelliği vardır. Kaolen, anyon değişim özelliği fazla olan bir kil mineralidir. Pıhtılaşmanın yoğun gerçekleşmesine yardım eder. Çamurun susuzlandırılması işleminde performansı arttırır.

Gaz atıklarının uzaklaştırılması için de çeşitli önlemler öngörülebilir. Bu önlemler planlanan faaliyet sonucunda hava kirliliği standartlarının aşılacağı ortaya çıkarsa alınmalıdır. Öncelikle gaz ya da hava kirleticilerinin türü belirlenmelidir. Çeşitli gaz ve partikül emisyonları sonucunda oluşan kirliliği önlemek için uygulanabilir genel teknolojik önlemler, Şekil 8' de partikül büyüklüğüne bağlı olarak sunulmuştur (Vesilind, 1978).



Şekil, 8. Teknolojik önlemlerin kirleticilerin boyutlarına göre sınıflandırılması (Vesilind, 1978; Yılmaz, 2008' den).

Genellikle çökeltme odaları, siklonlar, tekstil filtreler (torba filtreler), ıslak tutucular (yıkama kuleleri) ve elektrostatik çöktürücüler kullanılmaktadır. Gaz halindeki kirleticilerin tutulması için ise yakma, katalitik yakma, soğurma (adsorpsiyon) ve yıkama yöntemleri uygulanabilmektedir. Burada söz konusu teknolojik önlemlerin ayrıntılarına girilmeyecektir. Önlemlere ilişkin çağdaş kimi kaynaklara da başvurulabilir. Hava kirliliğini önlemek için alınacak teknolojik önlemlerin seçiminde bunların ekonomisi ve işletme sorunları gibi hususlar da dikkatle gözden geçirilmelidir.

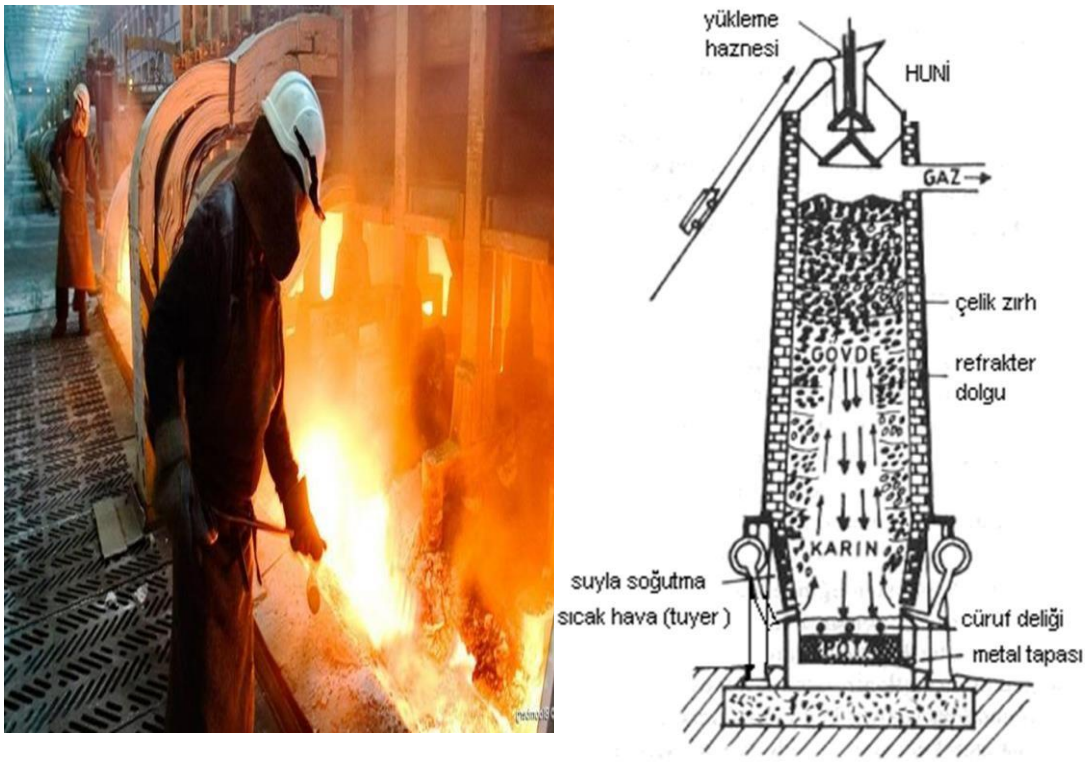
İzabe (Metalurjik) evresi

Zenginleştirilmiş olan cevherin, kullanılabilir bir forma dönüştürülmesi için gereken tüm çalışmaları içermektedir. Dolayısıyla, bu evrede, izabe tesislerinin yer seçiminden, yönetimine değin tüm faaliyetler yaşanmaktadır. İzabe evresi, başlı başına çok disiplinli ve çok yönlü bir planlama ile gerçekleştirilmektedir. Bu evre layıkıyla gerçekleştirilmeden, madenciliğin bir anlamı yoktur.

Örneğin, en azından zenginleştirilen metalik madenlerin özellikle demir cevherlerinin çoğu, cevher işletildiğinde yüksek sıcaklıkta (Şekil 9A) fırında izabe edilebileceği beklentisiyle değerlendirilir. Dünya demir üretiminin %1'inden azı diğer yollarla izabe edilir. İzabe iki aşamalı bir işlemdir (Higgins, 1976):

1. Metalik cevherin, kok ve bundan çıkan karbon monoksit gazıyla kimyasal olarak indirgenmesi;
2. Fırından dışarı atılacak biçimde ergimeye elverişli bir cüruf oluşturmak üzere, katık eklenmesi ile gangın ayıklanması.

A **B**



Şekil 9. **A,** Kitimat izabe tesisi, alüminyum izabe işlemlerinden bir görüntü "Madencilik Türkiye Dergisi'nden alınmıştır"(http://www.madencilik-turkiye.com); **B,** Bir yüksek fırının şematik görünümü (Higgings, 1976).

İzabe işleminde kullanılan yüksek fırın üst üste oturmuş iki koniden oluşur. Fırınının boyutları 10 metreden 30 metre yüksekliğe kadar değişir (Şekil, 9B). Fırın kapasitesi günde 100 ile 4000 ton sıvı demirdir (1970). Yüksek fırının etkinliği ve verimi, boyutlarının bir fonksiyonudur.

Metalik cevhere, kok ya da odun kömürü ve gerektiğinde katkı maddeleri (flux) üstten yüklenir, yanma için gerekli hava ise alttan verilir. Katkı maddesi olarak genellikle kireçtaşı, bazı özel durumlarda ise, silis, florit ya da tuz kullanılabilir. Bu karışıma **Möller** adı verilir (Scheer, 1971). Katkı gereçlerini kullanmanın amacı, cevherin ve kokun bütün pisliklerini toplayan ve kolay ergiyen bir cüruf oluşturmaktır. İzabe işlemleri sırasında yoğunlaştırılmış cevherden ayrılan gerece **gang** ya da **cüruf** adı verilir.

İzabe evresinde mutlaka bir enerji türünü kullanma zorunluluğu vardır. İşte böylesine önemli bir işlemde, enerji girdisi olarak çeşitli fosil yakıtları kullanma zorunluluğu da ortaya çıkmaktadır. İzabe işlemi, hem kullanılan yakıtlar dolayısıyla hava kirliliğine neden olabilir hem de ortaya çıkan cürufun uzaklaştırılması gibi yeni bir sorun da yaratmaktadır. İzabe tesislerinin yer seçiminde gerekli özenin gösterilmesi gerekir. Ayrıca bu tesislerin planlama, hazırlık, tasarımı ve inşaat evresi, işletme evresi ve işletme sonrası evrede çeşitli çevresel sorunların yaşanabileceği göz ardı edilmemelidir. Çünkü bu evrelerin her birinde toprak, su ve hava kirlenebilir, doğal ekosistem ve kültürel miras etkilenebilir.

İşletme sonrası izleme ve iyileştirme evresi

Madencilikte çoğu zaman yeterince özen gösterilmeyen bir evredir. Madenci, ilgili cevher yatağını işletmiş ve kazancını cebine koymuştur. Bundan sonrası, artık göz ardı edilebilir bir aşama olarak algılanmaktadır. Oysa madencilik faaliyetinin sonunda çevrenin eski konumuna getirilmesi işletme sırasında ortaya çıkan sorunların denetim altına alınıp alınmadığının izlenmesi zorunludur. Dolayısıyla işletme sonrası, madencilik yapılan **sahanın kapatılması, doğaya kazandırma ve geri dönüşümü içeren** bu evrenin en çok ciddiye alınması gereken önemli bir evre olduğu unutulmamalıdır.

Ancak yukarıda sunulan çeşitli evrelerde ortaya çıkan etkiler, günümüzde çevre bilimlerinin ve

teknolojilerinin ulaştığı bilgi düzeyinde tümüyle ortadan kaldırılmasa bile denetim altına alınmaları mümkündür. Bunun için ciddiyet ve sorumluluk yeterlidir. Gerçekten uzman kişilerin hazırladığı ÇED raporlarında ortaya konulan öneriler uygulanırsa hem madenciliğin hem de çevrenin birlikte korunması kolaylaşır. Ancak, bunun için önce samimi olmak gerekir.

Bir maden alanında, üretim öncesi ya da üretim sürecinde ortaya çıkan atık malzemenin atılması amacıyla alınan önlemler, şüphesiz ki gereklidir. Bu alanda çeşitli çalışmalar da yapılmıştır (Dean, 1972; Ludeke, 1973; Easton, 1991; Ünal ve diğerleri, 1992; OSİB, 2015). Ancak, konu, çevrenin geleceğini koruma açısından ele alındığında, bunlar yalnız başına yeterli değildir. Üretimin her evresinde ve ocağın kapanmasından sonraki dönemlerde de gündeme gelebilecek sorunların da önlenmesi zorunluluğu vardır. Örneğin hazırlık evresinde yolların, kuyu ve yarmaların açılması, sondaj ve diğer hazırlıkları içeren kazılar, gerekli tesislerin inşası (idari bürolar, zenginleştirme tesisi ve araç parkları gibi) ve atıkların atılması kapsamındaki faaliyetlerin tümü çeşitli çevre sorunlarını yaratır.

Atık barajları, gerekli önlemlerin alınmaması halinde, emniyetli konumunu uzun süre devam ettiremez. Baraj tasarımında hatalar varsa, drenaj yeterli değilse ve bunlara yağmur ve deprem gibi dış etkenler katkıda bulunursa, duraylılığını kaybeden baraj yıkılabilir.

Ömrünü tamamlamasıyla birlikte terk edilen bir maden alanı, önlemler alınmazsa fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal çevrede sorunlara yol açabilir. Onun için bazı iyileştirme çalışmaları gerekmektedir. Bu çalışmaların bazıları aşağıda sunulmuştur.

Fiziksel iyileştirme

En tercih edilen iyileştirme yöntemi işletme alanı kapatıldıktan sonra bu bölgede çeşitli bitkilerin yetiştirilmesidir. Ancak koşullar doğrudan bitki yetiştirmeye olanak vermiyorsa yani erozyon olasılığı yüksek ise böyle bir yer bitkinin büyümesine elverişli olmadığından, ıslah edilmesi gerekebilir. Bu durumla karşılaşıldığında, en uygun seçenek ortamın fiziksel olarak iyileştirilmesidir.

Bu işlemin temel amacı, yağışların ve rüzgârın neden olacağı erozyonu önlemek veya geciktirmek, yüzeyden tane kayıplarına meydan vermemek ve bitki yetiştirme öncesinde toprağın ıslahına yardımcı olmaktır. Bunun için, atık yığınının yüzeyi çeşitli tarıma uygun gereçlerle örtülür. Atık yığınlarının örtülmesinde kullanımı en yaygın olan malzeme, yerli kaya, taş ve topraklardır. Bilhassa topraklar, iyi bir örtü görevi yapar.

Kimyasal iyileştirme

Mineral artıkları ile kimyasal tepkime yapabilen gereçlerin atık yüzeyine uygulanmasıdır. Kimyasal iyileştirmenin bir başka amacı, sülfürik asit gibi kirletici gereçlerin zarar vermeyecek hale getirilmesidir.

Mineral atıkları bitkiler için zehirli (toksik) veya büyümelerini geciktirici unsurlar içerirler. Bu, bitkisel iyileştirme öncesinde toprağın ıslah edilmesini gerektirir. Kimyasal iyileştirme toprağın ıslah edilmesi dışında, bitkilerin büyümelerinin ilk aşamasında, tahrip olmalarını da önlenmiş olur.

Hangi gereçlerin kullanılacağına karar verilmeden önce, geçirgenlik, pH ve tuzluluk gibi atığa ait bazı özelliklerin bilinmesi gerekir. Bunlar, işlem sonrasında oluşacak bağların etkinliğini belirleyen faktörlerdir.

Bitkisel iyileştirme

Fiziksel iyileştirmenin yanı sıra bitkisel iyileştirmede, atık yığınının üzerini ve kazı yapılan maden alanını tümüyle bitki örtüsü ile kaplama işlemidir (Şekil 10). Yapılan uygulamalar, söz konusu madenciliğin yapıldığı alanlara ekolojik değer kazandırır. Estetik bakımdan bozulan saha düzeltilmiş olur. Yağışlardan ve rüzgârlardan kaynaklanan erozyona direnci arttırır. Bilhassa, eğimi fazla olan yüzeylerde bunun önemi büyüktür. Ekin alanları meydana getirmek suretiyle, üretkenliğe katkı yapar.

Suyun toprak içinde süzülmesi ve depolanması, atığın mineral içeriği ile ilgili olan tane yoğunluğuna ve sıkışması oranında artan yığın yoğunluğuna bağlıdır. Birim hacimdeki tanenin ağırlığı, tane yoğunluğu olarak tanımlanır. Birim hacimdeki toprağın toplam ağırlığı da yığın yoğunluğudur. Bu iki faktör ile porozite arasında yakın bir ilişki vardır. Toprağın porozitesi, yığın yoğunluğunun tane yoğunluğuna oranının yüzde olarak ifadesidir. Sıkıştırılmış bir malzemenin yığın yoğunluğu yüksektir. Buna göre, sıkışma oranı yüksek olan atıkların yığın yoğunluğu daha büyük bir değere ulaşırken, porozitesi düşecektir. Neticede, toprağın ısı iletkenliği, mekanik direnci ve nem tutma kapasitesi artar. Ancak, bitki büyümesinde gerekli olan havalandırma, gözeneklilik, süzülme ve oksijen difüzyonu azalır (Morrey, 1995).

(A) (B)



Şekil 10. İstanbul-Kemerburgaz'daki eski kömür madeni sahalarının üretim (A), ve doğaya yeniden kazandırma çalışmaları bittikten sonraki görünümü (B) (Orman ve Su İşleri Bakanlığı-Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı, 2015; JMO, 2017'den).

Tuzluluk, bitki büyümesinde engel oluşturan önemli bir kimyasal sorundur. Kalsiyum, potasyum, magnezyum ve sodyumun, sülfatlar ve klorürlerle yaptıkları bileşikler, toprağın tuzluluk düzeyini belirler. Atığın tuz oranını yükselten faktörler; atık barajlarında kullanılan suyun geri beslenmesi, kurak bölgelerde artık yüzeyinde birikmesi, pirit-karbonat tepkimesinin meydana gelmesi ve boşaltma öncesinde, pH ayarlamak için atık havuzlarına kimyasal maddeler ilave edilmesidir.

Fiziksel özellikleri istenen nitelikleri taşımayan atıklar, belirli bir derinlik çerçevesinde ıslah edilebilir. Eğer çevreden yeterince sağlanabilirse, atık yüzeyi bitkiler için elverişli toprakla örtülebilir. Sıkışma meydana gelmişse, yüzey kazılır veya çapalanır. Böylelikle, gevşetilmiş olur. Ayrıca, sulama, havalandırma, drenaj ve toprak yapısını iyileştirme bitkinin büyümesine katkı yapar. Organik maddelerin ilave edilmesi, atığın su ve besleyici maddeleri tutma kapasitesini arttırır. Bu maddelerin bir başka faydası, toprak yapısını değiştirerek yüzey duraylılığını, havalandırma koşullarını ve suyun toprak içinde nüfuzunu iyileştirmesidir. Zenginleştirme esnasında, eğer mümkünse, uygun boyut küçültme yöntemi ve boşaltma şekli seçilerek, tane boyut dağılımı düzeltilebilir. Bitki türünün doğru tercih edilmesi de önemli bir faktördür.

Atıkların besleyici eksikliğini gidermek için tercih edilen yöntem, suni gübre kullanımıdır. Doğal gübre kaynakları, çiftliklerde beslenen büyük ve küçükbaş hayvanlar ile kümes hayvanlarıdır.

Alternatif kullanımlar amacıyla iyileştirme

Fiziksel ve kimyasal iyileştirme uygulamaları, madencilik faaliyetleri ile bozulan sahaların olası zararlarını önleme temeline dayalıdır. Bu sahalara başka bir katkıları yoktur. Bitkisel iyileştirme diğer iki yöntemin bir adım ilerisi olup, kıyas kabul etmeyecek üstünlükleri vardır. Bununla beraber, sahadan gerçek anlamda yararlanma söz konusu değildir. Halbuki, alternatif kullanım için iyileştirme ve düzenleme yapıldığında, saha belli ölçüde de olsa, eski ekolojik değerini geri kazanır.

Yeraltı üretim yöntemleri uygulanan madenlerde, bozulan sahalar, genellikle geniş alanlar kapsamaz. Küçük alanlar ise, alternatif kullanım amaçlı düzenleme ve iyileştirme çalışmaları gündeme gelmez. Konu daha ziyade, geniş alanların tahrip edilmesine yol açan, büyük çaplı açık ocak işletmeciliğini ilgilendirir.

Alternatif kullanıma yönelik iyileştirme ve düzenleme çalışmaları 4 ana başlıkta toplanabilir. Bunlar da başlıca yaban hayatı kazandırma, tarıma hazırlama, ormanlaştırma, dinlenme ve eğlenme amaçlı alanlar yaratma biçiminde sıralanabilir.

Bunların dışında, balıkçılık amaçlı göletler yapılması, yerleşim alanlarının kurulması ve ticari veya endüstriyel tesisler inşa edilmesi de mümkündür. Tahrip olan bölgeye yaban hayatının kazandırılması, öncelikle yabani hayvanların yaşam tarzına uygun bir mekân hazırlanmasını ve ardından bu canlıları ortama çekebilmeyi kapsar. Üç önemli unsur; su, besin maddesi ve bitki örtüsüdür. Göletlere ve sulak alanlara, su bitkileri ve hayvanları yerleştirilebilir veya yumurtaları konulabilir. Böylece ek besin gereksinimi giderilmiş olur.

Tarımsal kullanıma yönelik iyileştirme bazı güçlükleri içerir. Atığın kimyasal ve fiziksel karakteri sınırlayıcı faktördür. Atığın pH değerinin çok yüksek veya düşük olması, kabul edilebilir seviyenin üzerinde ağır metal varlığı ve besleyici eksikliği tarımsal faaliyetleri engeller.

Terk edilen bir maden alanında, dinlenme ve eğlenme alanları kurulması, sahanın bir yerleşim alanına yakın olmasına veya ziyaretçilerin ilgisini çekecek bir özellik taşımasına bağlıdır. Düzenleme ve iyileştirme maliyetlerinin yüksekliği ve yapılan harcamaların geri dönüş ihtimalinin zayıflığı, bu şekilde kullanıma yönelik çalışmaların önündeki en büyük engellerdir. Eğer bu engeller aşılabilirse, park alanları, golf sahaları, muhtelif spor tesisleri ve kamp yerleri kurulabilir. Göletler, balık yetiştirme havuzlarına dönüştürülebilir. Hatta yeterince büyük iseler marinalar oluşturulabilir. Ayrıca askeri eğitim amaçlı tesislerin kurulması mümkündür.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnsanoğlu bulunduğu her yerde ve yaptığı her faaliyet ile çevresinde bir değişime neden olmuştur. İnsanların, doğal gereksinimlerini karşılamak için yaptığı endüstriyel faaliyetlerin çevreye olan etkileri de büyüktür. Madenciliğin her evresinde katı, sıvı ve gaz atıklar ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan atıkların türleri ve nitelikleri gözetilerek bertaraf edilmeleri yönünde çaba harcanmalıdır. Kirlenmiş bir çevrede yaşama şansı yoktur. Üstelik, kısmen de olsa kirlenmiş bir çevreyi yaşanabilir hale getirmek için bazen çok büyük bedeller ödeme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Ülkenin doğal kaynakları en verimli şekilde değerlendirilmeli ve kullanılmalıdır. Ancak, her sektörde üretim yapılırken, üretimin yan sıra çevresel kaygılar da gözetilmelidir. Üretim gerçekleştirilirken mutlaka çevresel etkileri gözetilmelidir. Madencilik sektöründe, tüm teknolojik gelişmelere rağmen çevresel sorunlar yıllar geçtikçe artmaya devam edecektir. Bu nedenle çevrenin geleceğe yönelik planlaması giderek önem kazanmakta ve zorunlu bir hale gelmektedir.

Maden atıklarının uzaklaştırılması sırasında ortaya çıkan yüksek maliyetlerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Buna yönelik ilk seçenek atıkların uzaklaştırılması yerine onları bir şekilde geri dönüşüm yolu ile yeniden değerlendirme yoluna gidilmelidir. Böylece işletme için yeni bir gelir kaynağı da elde edilmiş olur. Öte yandan katı, sıvı ve gaz atıklarının uzaklaştırılmasında çevre teknolojileri belli bir düzeye ulaşmıştır. Bu teknolojilerin yardımı ile çevrenin korunması mümkündür. Ancak bu teknolojilerin uygulanması da madenciliğe ek bir yük getirdiği de açıktır. Ne var ki söz konusu önlemler alınmazsa çevresel sorunları ilerde ancak çok daha yüksek bedeller ödeyerek çözebiliriz. Bu dünyada yaşamak istiyorsak buna da mecburuz.

Çevre konuları günlük siyaset malzemesi yapılmamalıdır. Çünkü böylesi bir durumda, bir taraf madenciliği savunurken, diğer taraf da kendiliğinden çevreyi koruma güdüsüyle karşı çıkacaktır. Ayrıca bu durumda, sadece devlet desteği ya da zorlamasını arkasına alarak madencilik yapmak doğru değildir. Önemli olan, yapılacak işin doğru olarak planlanmasıdır. Yani, madenciliğin mevzuata ve teknik standartlara ne ölçüde uygun yapılıp yapılmadığı tartışılmalıdır. Bilim ve teknolojide toptancı bir anlayışla yaklaşımda bulunmak sakıncalı ve sağlıksızdır. Projenin, halkın refahına ve kültürel birikime katkısı, yerleşim yerlerinin yanı sıra toplumun sağlık ve güvenliği de dikkate alınarak ve sosyal onayı gözetilerek, kümülatif olarak değerlendirilmesi önemlidir.

Doğal kaynaklarını değerlendiremeyen ülkelerin kalkınma şansı yoktur. Ancak, doğal kaynaklar, tüm insanlığın yararı gözetilerek sahiplenilebilir. Bu durum ise ancak, dünya ölçeğindeki çevre bilinci ile

sermayenin kâr dürtüsü arasındaki dengenin sağlanması ile gerçekleştirilebilir. Ayrıca, madenciler, kamu yararına olmayan alanlarda madencilik yapılamayacağını, çevreciler ise madenciliğin çevreyi koruyarak da yapılabileceğini anlamak, öğrenmek ve kabul etmek zorundadırlar. Bu bölümde sunulan temel bilgiler, işte bu anlayışı ortaya koymak amacıyla ayrıntılı olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

Acarkan, N., Yüce, H., Gürkan, V., Yüce, A.E, Açma, E. ve Önal, G., 1992, TDÇİ Divriği 24. Artıklarındaki Kıymetli Metallerin Zenginleştirilme Olanakları, 4th Int. Min. Proc. Symp., Antalya, s. 589-598.

Alpan, S., 1969 a, Maden işletme metotları. MTA yayını, Eğitim serisi, No 2, Ankara, 21 s.

Alpan, S., 1969 b, Sondaj tekniği. MTA yayını, Eğitim serisi, No 3, Ankara, 27 s.

Alpan, S., 1969 c, Cevher zenginleştirme. MTA yayını, Eğitim serisi, No 4, Ankara, 15 s.

Dean, K.C., 1972, Reclamation of Mineral Milling Wastes, Proceedings of the 3rd Mineral Waste Utilization Symp., Schwartz, M.A. (Edit.), Chicago, s. 140-142.

Dilek,S., 2009, Yüzey Madenciliği ve Çevresel Etkiler,TMMOB Mad. Müh. O., Altın Pol. Sim., s. 12-13.

Doğan, M.Z., Özbayoğlu, G. ve Atalay, Ü., 1981, Çinkur Tesislerinde Elde Edilen Liç Atıklarının Zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik Kongresi 7, Ankara, s. 231-238.

Down, C.G. ve Stocks, J., 1977, Environmental Problems of Tailings Disposal, Mining Magazine, s. 25-33.

Easton, J., 1991, Mining Rehabilitation in South Africa, Success by Cooperation, Min. Tech. 91, s. 197198.

Elevli, B., 1998, Madencilik, Çevre ve ÇED Raporu, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No:78, s. 43-49.

Emrullahoğlu, F., Kara, M., Çelik, M.S. ve Tolun, R., 1993, Kalsine Kolemanit Atıklarının Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirilmesi, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, İstanbul, s. 629-638.

Environment Australia, 1997, Managing Sulphidic Mine Wastes and Acid Drainage, Best Practice Environmental Management in Mining,

EPA, 1994 a, Acid Mine Drainage Prediction, US Environmental Protection Agency, EPA 530-R-94-036.

EPA, 1994 b, Design and Evaluation of Tailings Dams, US Environmental Protection Agency, EPA 530-R-94-038.

Fuerstenau,M.C. (Ed.), 1976, Flotation A.M. Guadin Memorial Volume, Volume II, AIME Inc., Port City Press, Inc., New York, s. 250-257.

Fuerstenau, M.C., Wakawa, B.M., Price, R.K. ve Wellik, R.D., 1974, Tokxicity of Selected Sulfhydryl Collectors to Rainbow Trout, AIME Transactions, Volume 256, s. 337-341.

İSG, 2015. 28 Nisan 2015 tarihinde güncellenen 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası (İlk çıkış, 30.06. 2012 tarih 28 339 sayılı Resmi Gazete).

JMO, 2017, 1. Çevre Jeolojisi Çalıştayı Sonuç Raporu, Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO), 3-4 Kasım 2017, Gürkent Otel, Ankara, 217s.

Kalender, L. Kırat, G., Bölücek, C. ve Sağıroğlu, A., 2009, Görgü (Malatya-Türkiye) Pb-Zn yatağının eski imalat pasalarının jeokimyası: Türkiye Jeoloji Bülteni, 52/2, s. 49-56.

Karadeniz, M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Atıkları, Çevreye Etkileri ve Önlemler, MTA Genel Müdürlüğü Cevher Zenginleştirme Servisi Raporu, İstanbul, s. 21-37, 174-325.

Lin, I.J., Spevakova, I., 1994, Utilization of Natural Minerals in Water Treatment, Progress in Mineral Processing Technology Proceedings of 5th Int. Min. Proc. Symp., Demirel, H., ersayın, S. (CoEdit), A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, s. 289-294.

Ludeke, K.L., 1973, Vegetative Stabilization of Copper Mine Tailing Disposal Berms of Pima Mining Company, Aplın, C.L., Argall, G.O. (Co-Edit.), Miller Freeman Publications Inc., San Francisco, s. 377-410.

Morrey, D.R., 1995, Using Metal-Tolerant Plants to Reclaim Mining Wastes, Mining Engineering, s. 247-249.,

OSİB, 2015, Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı 2014-2018, Orman ve Su İşleri Bakanlığı.

Oygür, A. V., 2018, Çağdaş Madencilik Faaliyetlerinde Sosyal Onay, Türkiye Madenciler Derneği Sektörden Haberler, Sayı 69, Sf. 64-80.

Oygür, V., 2019. Çevre Korumanın Başlangıcı: Maden Arama, Madencilik Türkiye Dergisi, 78, 114-118. https://alivedatoygurmadencilik.wordpress.com/2019/04/25/cevre-korumanin-baslangicimaden-arama/

Swaisgood, J. R. ve Toland, G. C., 1973. The control of water in tailing structures, in 1st Int. Symp. Tailing Disposal Today, Tuscon, s. 138-163.

Tarhan, F., 1989, Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Basımevi Trabzon, 255s.

Ünal, E., Kara, D. ve Vatan, B., 1992, Açık Ocak Kömür Madenciliği Sırasında Bozulan İşletme Sahalarının Yeniden Düzenlenmesi ve İyileştirilmesi, Madencilik Dergisi, s. 5-16.

Vesilind, P. A., 1979, "Environmental Pollution and Control"; Ann Arbor Science Pubhishers Inc.; Ann Arbor, Michigan. www.blogcu.com.
www.altinmadencileri.org. www.mta.gov.tr.
Yıldız, N., 2022. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, 4 Cilt, (IV. Baskı), Ertem Yayınevi, Ankara, 1900 s.
Yılmaz, A. 2008, Çevresel Etki Değerlendirmesi: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 111, Sivas, 275s.
Yılmaz, A. 2009, Çevre Kaynakları: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 117, Sivas, 348s.
Yuva, H., Bilen, B., Eroğlu, O., Harmanşah, H. ve Seyhan, S., 2011, Madencilikte ortaya çıkan atıkların çevresel etkileri ve alınması gereken önlemler: Cumhuriyet Ünversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Sivas, 92s.

1. 4, ÇEVRE EKONOMİSİ VE DOĞAL KAYNAKLARIN VERİMLİ KULLANIMI

GENEL BİLGİLER

Sunulan bu bölüm, ağırlıklı olarak Botkin ve Keller'in (1995) 'Environmental Science, Earth As a Living Planet' ve Mather ve Chapman'nın (1998) Environmental Resources adlı kitaplarından yararlanarak hazırlanmıştır. Her iki kitabın önemli referansları da KAYNAKLAR bölümünde yer almaktadır. Sunulan metin, çevre ekonomisinin temel kavramlarını tanıtmakta ve bunların çevrenin korunmasına nasıl uygulanacağını değerlendirmektedir.

ABD yalnızca kirlilikle baş edebilmek için bir yılda 115 milyar dolar harcamak zorunda kalmaktadır. Bu da ülkenin toplam ulusal gelirinin yaklaşık yüzde ikisidir. Savunma bütçesi ise yukarıda belirtilen rakamın sadece iki buçuk katıdır. Bu rakamlar, kamu hizmetlerinin yanı sıra özel şirketler ve tüketiciler tarafından harcanan miktarları da içermektedir. Oysa Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) bütçesi 6 milyon dolar olup, bu da ülkenin kirliliğin denetimiyle ilgili bir bütçedir. Sunulan bu veriler gelişmiş bir ülkenin bile kirliliğin denetimini önemsemediğini göstermektedir.

Çevre ekonomisi kapsamlı bir çaba gerektirir. Özü itibarıyla çevreyi korumanın ekonomik gelişmenin bir parçası olduğu, temel politikaları da buna göre oluşturmanın gerektiğine karar vermemiz gerekmektedir. Ekonomik analiz iki farklı konuyu içerir: Doğal kaynakların kullanımı ve kirliliğin en aza indirilmesi. Çevresel kararlar, hem doğal/görsel ve kültürel değerler, hem de ekonomik etkenler (faktör) gözetilerek analiz edilir. Bunların birlikte değerlendirilmesi zordur. Çünkü söz konusu değerlerin sayısal olarak hesap edilmesi zordur. Özellikle görsel ve kültürel kaynakların değerlendirilmesi, çevresel çözümlemeler (analizler) ve arazi kullanımının ulusal planlaması, bölgesel ve yerel olarak gittikçe daha çok önemli bir hale gelmektedir. Dolayısıyla, değerlendirme yöntemlerinin anlaşılması kolay ve göreceli olarak güvenilir olması beklenir.

Çevre kaynaklarının sağlıklı yönetimi, sadece kaynaklara yönelik tutum ve davranışlarımızla değil, aynı zamanda kaynakların nasıl denetlendiğine ve yönetildiğine de bağlıdır. Kaynakların sadece birkaç kişinin kısa vadeli yararları için değil, toplumun uzun vadeli yararları ve verimliliği gözetilerek yönetilmesi egemen kılınmalıdır.

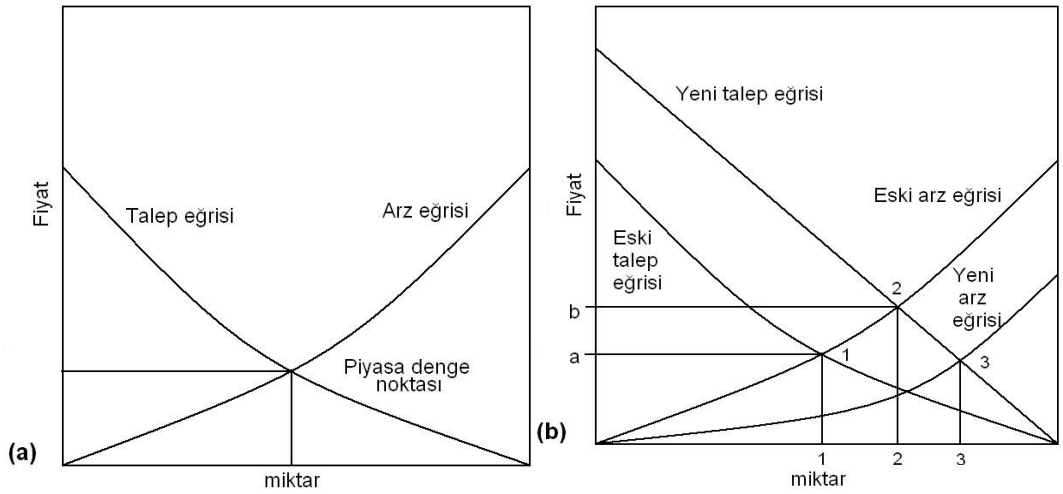
EKONOMİK SİSTEMLER VE KAYNAKLARIN KULLANIMINDA GÖZETİLMESİ GEREKEN ETKENLER

Ekonomik sistemler, mal ve hizmet üretiminin, dağıtımının veya tahsis işlemlerinin nasıl yapılacağına karar vermek için kullanılan birer araçtırlar. Dört temel ekonomik sistem irdelenmiştir: geleneksel, serbest pazar, denetim sistemi ve karma.

Geleneksel sistemlerde, insanlar yaşamak üzere yeterli mal üretirler. Üretim, büyük oranda geçinmek içindir. Üretimin satış ya da takas için hemen hemen hiç fazlası yoktur. Takas işleminde pazar ve para önemsizdir. Gelenekler ve görenekler neyin üretileceği, nasıl dağıtılacağı ve kullanılacağı ile ilgili ana etkenlerdir. Geleneksel ekonomik sistemler günümüzde pazarlama sistemleriyle geniş çapta yer değiştirmişlerdir.

Pazarlama sistemleri altında, kararlar arz-talep ve fiyatın karşılıklı etkileşmeleri ile yönetilir. Serbest Pazar olarak tanımlanan bu etkileşimler Şekil 1'de yalınlaştırılmış olarak görülmektedir. Petrol benzeri bir ürün için talep; fiyatlar yükseldiğinde düşme eğilimi, fiyatlar düştüğünde yükselme eğilimi gösterir. Arz ve talep miktarları ile fiyatlar arasındaki ilişki, arz ve talep eğrileri ile gösterilebilir. Arz ve talep eğrileri, arz edenlerin satmayı istedikleri miktarın talep edenlerin almayı düşündükleri miktar ile aynı olduğu noktada kesişir. Bu kesişim noktası, pazarlamada ya da piyasada bir denge noktasıdır (Şekil 1a).

Talepteki bir artış, kısa dönemde sabit kalan arz miktarıyla, ya da yeni bir pozisyona hareket eden taleple değişen arzla da bir dengeye ulaşacaktır (Şekil 1b). Burada, görüldüğü gibi talepteki artış, arzda bir artışı teşvik edebilir. Kimi zaman, eğrilerin her ikisi yer de değiştirebilir. Talep artarsa fiyatlar yükselir ve üreticiler daha fazla ürettiğinde, dönüşümlü bir şekilde, denge sağlanana kadar fiyatların yeniden düşmesiyle karşılığını bulur (Şekil 1b; 1,2,3 kesişim noktalarını inceleyelim).



Şekil 1. Arz ve talep eğrileri (Mather ve Chapman, 1998).

Ne var ki, **'Serbest piyasa iyi bir hizmetkâr, ancak kötü bir sahiptir'**. Çevre sorunları genellikle düzensiz piyasa mekanizmaları ile etkin ya da adil bir biçimde çözülemediği için kamu müdahalesinin dışında başka bir seçenek de yoktur' (Schramm ve Warford, 1989).

Denetim sisteminde yönetimin (hükümet) müdahalesi geçerlidir. Kararlar piyasadan ziyade basit bir şekilde sadece yönetim tarafından alınır. Piyasa sistemi kaynaklarının kötü etkilendiği ve ciddi bir şekilde kaynaklarının üretilmesi ve dağıtılmasında yetersiz ve etkisiz olduğu gözlenmiştir. Bu yüzden yönetimler neyin ne kadar üretileceği ve ürünlerin nasıl dağıtılacağı kararları için sorumluluk üstlenirler. Kuramsal olarak, özel kârın itici güçten daha fazla olmadığı bu tür bir sistem, kaynakların aşırı ve ölçüsüz kullanımlarını azaltmak için benzer şekilde aynı değerde ya da daha az olmalıdır. Fakat ne kuramda ne de pratikte, farklı çevresel ürünler için arz ve talep bağlantısını sağlamak amacıyla açık bir mekanizma bulunmamaktadır.

Karma sistem ise piyasa ve denetim ekonomilerinin unsurlarını birleştiren ve günümüzde dünyanın pek çok yerinde uygulanmaktadır. Piyasa ve denetimin bağıl öneminde geniş çapta bir değişim vardır. Fakat çoğu karma denetimler aslında nitelikleri açısından kapitalisttir. Bu karma sistemlerde hükümetler, piyasa ekonomisinin çalışmalarını düzenlemek için daha fazla ya da daha az kapsamlı hareketlere müdahale edebilirler. Hükümetler bazen, meydana gelen tekelciliği önlemek ve serbest rekabeti sağlamak için, göreceli olarak az bir müdahalede bulunur. Birçoğu onlara, piyasa güçleri tarafından kolayca belirlenecek şekilde değil, tarım ürünlerinin fiyatları üzerinde bir etki bırakacak şekilde müdahale ederler.

Tüm ekonomik sistemlerde Fayda-Maliyet Analizi yapılabilir. Örneğin, bir proje düşünülürken, özel bir şirket tarafından yapılan finans analizi, sadece o şirketi etkileyen doğrudan finans maliyetlerini ve kârlarını içerir. Şirket dışında meydana gelen sosyal ve çevresel maliyetlerin göz ardı edilebilecek şekilde kabul edilmesi olasıdır. Öte yandan, tekniğin hükümetin çevre bakanlığı veya kalkınma ajansı tarafından kullanılmasının daha zor olması olasılığı vardır. Bunun nedenlerinden bazılarına daha önce değinilmiştir. Parasal değerlerin pazar olmayan veya gerçek değerlere sahip olmayan kaynaklara aktarılmasının zorlukları; dışarıda kalma sorunu, zaman ölçümleri ve gelecekte kâr/maliyetin nasıl değerlendirileceğidir. Bir başka tehlike, kâr/maliyet analizlerinin sonuçlarının, dayandığı varsayım ve süreçlerin ve içerdiği faktörlerin bakış açısı veya sınırının uyumlu bir şekilde düşünülmesi olmaksızın, kabul edilebilir olmasıdır. Aynı zamanda, teknik özellikle, sağladığı ölçülebilir kâr veya maliyetin sayısal ve parasal değerlerini azaltarak istenilen sonuçlarına ulaşmak için kötü kullanılabilir. Başka bir deyişle; sözde- ya da aldatıcı-objektiflik bir soruna dönüşebilir (Chapman, 1981).

Kaynakların kullanımında, ortak alanlar, dışsallıklar ve indirim faktörlerinin gözetilmesi önemli hususlardır.

Ortak alanların kullanımı

Geçmişte bir "ortak alanlar" kavramı İngiltere'de herkesin, yani tüm çiftçilerin hayvanlarını otlattığı yerler olarak kullanılmıştır. Günümüzde herkes için ulaşılabilir alanlar, halkın ortak alanlarıdır. Buna ek olarak, kıyılardan uzak olan okyanuslar uluslararası bölgelerdeki kaynaklar yalnızca bir ülke tarafından denetlenmez. Halklar, toprak ve su gibi kaynakları denetlemek ve çevresel hedeflerine ulaşmak için birçok sosyal mekanizmalara sahiptir. Yasal düzenlemeler söz konusu mekanizmaların bir parçasıdır. Bir toplum, en iyisinin kendilerince bulunabileceği öngörülerek kolayca yönlendirilebilir. Bu yaklaşım bireysel düzeydeki tüm özgürlük hareketlerinden ayrılır.

Bir kaynak paylaşıldığında, bireyler, serbest piyasada kendilerine yönelik kârın harcamadan daha fazla olması için çaba harcar. Ayrıca her birey, kârını en üst düzeye çıkarmak için uğraşır. Hardin (1968) bunu "ortak alanlar trajedisi" olarak adlandırır. Hardin'e (1968) göre mera gibi bir ortak alanın paylaşımı, aşırı otlatmayı engellemeye yetecek düzeye erişene kadar işe yaramıştır. Fakat böyle bir durumda her çoban kişisel kazancını en yükseğe çıkarmaya çalışırsa ve periyodik olarak sürüye daha fazla sığır eklerse işe yarayamayacağını düşünmelidir.

Aslında sığırların artmasının ekonomik değerler açısından hem olumlu hem olumsuz yönleri vardır. Olumlu yön, çoban fazladan sığır satarak yarar sağlar. Olumsuz yön ise hayvanların artması aşırı otlamaya neden olur. Böyle bir durumda da kişisel kâr için bir sığırın sağlayacağı yarar, ortak alanların azalmasındaki kayba yol açar. Sonuç olarak, ortak alanlardaki hareket özgürlüğü de kaçınılmaz bir şekilde meranın yok olmasına yol açar. Yani denetim ya da çevresel yönetim olmadan bütün ortak alanlar kaçınılmaz olarak yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalır. Aslında tüm biyolojik kaynaklar ulaşıma açık ulusal ve uluslararası bölgelerde yer aldığından ortak alanlar gibidir. Ulusal parkların aşırı kalabalıklaşması ve atmosferin kirlenmesi bu trajedinin örneklerinden birkaçıdır.

Ortak alanların birçok örnekleri de vardır. Örneğin, değerli doğal kaynakların yer aldığı okyanuslar tipik bir ortak alandır. Çünkü okyanuslar her zaman ve herkese açık alanlar olup, sadece bir ülkeye ait değildir. Diğer bir örnek Antarktika kıtasıdır. Bu kıta üzerinde iddiada bulunan birkaç yerel ülke olmasına karşın, kıtanın çoğu ortak alandır. Antarktika'nın korunması ve bölgedeki kaynakların kullanılması ile ilgili görüşmeler/müzakereler yıllardır devam etmektedir.

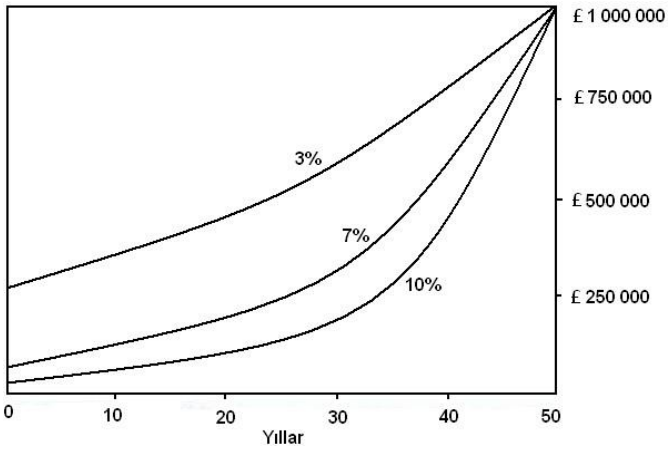
Dışsallıklar

Dışsallık, genel olarak sadece üreticilerin fayda/maliyet analizlerinden oluşmayan bir yapıdır. Dışsallık, genel olarak, mal ve hizmet üretiminin, söz konusu mal ve üretime dışındaki kişilere olumlu ya da olumsuz maliyetidir. Hava ve su kirliliği, dışsallıklar için örnek olarak verilebilir. Örneğin, "dolaylı maliyetler" olarak adlandırılan tesislere dair emisyonlarının yol açtığı sorunlarla ilişkili maliyetler, geleneksel dışsallıklar olarak kabul edilir. Bu maliyetlerin yüküne kim katlanmalı? Bazı uzmanlar, bu maliyetleri ücretlendirme ya da takas vasıtasıyla üretim maliyetlerinin içinde yer almaları gerektiğini ileri sürmektedir. Buna göre, tesislerden doğrudan kâr elde eden anonim ortaklıklara söz konusu maliyetler ücretlendirilmelidir. Bazı uzmanlar da bu maliyetlerin tüm toplum tarafından paylaşılması ve böylece genel bir vatandaşlık vergisiyle ödenmesinin yararına inanmaktadır. Yani dışsallıklarla ve dolaylı maliyetlerle nasıl baş edileceği, çevre ekonomisinde tartışılmalı olup, çözülmesi gereken bir konudur.

İndirim etkenleri

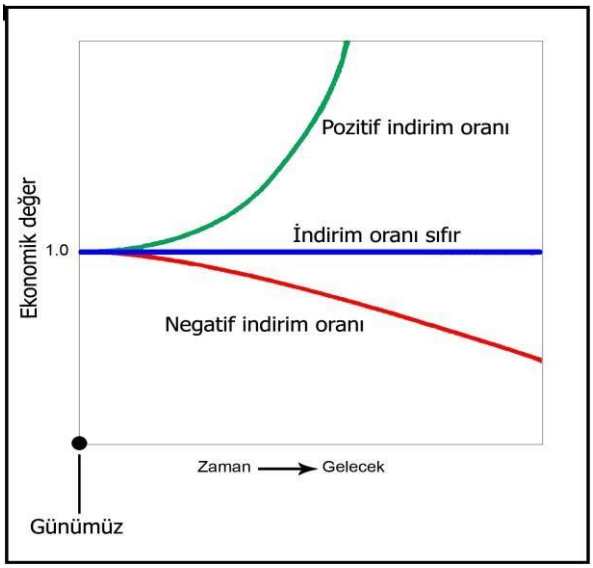
Çevre kaynaklarının değerlerinin ekonomik terimlerle ifade edilebileceğini kabul edilse bile, gelecekte yükselecek kâr ve maliyetlerle ilgili sorunlarla karşılaşılır. İnsanlar genellikle bugünün veya bu yılın kârını, yarının veya gelecek yılın kârına tercih ederler. Gelecekten çok, günümüz için sosyal bir zaman kavramı tercihi vardır. Günümüzün gelecekten daha önemli olması, **indirim** olarak bilinir.

Kâr oranı, indirimi açıklamamıza yardımcı olur. İlk yıl % 10'luk bir kâr oranı ile £1, ikinci yılda £1.10 olacaktır. Üçüncü yıl içinde £1.21 değerine ulaşacaktır ve bu durum böyle devam edecektir (£1.00+0.10+0.11). Bunun tersi olarak, yüzde 10'luk bir indirim oranı ile günümüzden itibaren bir yıl içinde £1, £0.90 değerine ulaşır ve yüzde 5'lik değer ile aynı süre içinde 0.95 değerine ulaşır. £x' in t yılsonunda günümüzdeki değeri var olan değeri $x/(1 + i)^t$ ile ifade edilir. Burada i indirim oranıdır. 50 ya da 100 seneden daha uzun zamanlar için indirim çok yüksek toplam miktarlarını çok düşük miktarlara indirebilir (Şekil 2). Pearce ve diğerlerinden (1989) alınan bu örnek, günümüzden itibaren 100 yıllık toprak kirliliğini içeren bir çevre afetinin değerlendirilmesidir.



Şekil 2. İndirim ve mevcut değerler (Mather ve Chapman, 1998).

Tipik bir örnek bize eski bir söylemi hatırlatır. "Elindeki bir kuş, çalılıktaki iki kuş kadar değerlidir" Yani şu andaki kâr, gelecekteki kârdan daha fazla değerlidir. Bu ekonomik kavram, çevresel değerlendirmeler açısından, gelecekteki değeri şimdikiyle karşılaştırıldığında önemli bir yaklaşımdır. Ekonomistler bu kavramı **indirim faktörü** olarak tanımlar. İndirim faktörü, ekonomik değerin gelecekteki değerinin şuan ki değerine oranıdır (Şekil, 3). Örnek olarak, indirim faktörünün önemini kavramak üzere, farz edin ki bir çölde susuzluktan ölüyorsunuz ve iki kişiyle karşılaştınız. Birisi size şuanda bir bardak su satmayı öneriyor, diğeri eğer iyi olursanız size yarın bir bardak suyu daha ucuza satmayı öneriyor. Eğer susuzluktan bugün öleceğinize inanıyorsanız, bugünkü bir bardak su için tüm paranızı verirsiniz. Yarınki bir bardak su ise hiçbir şey ifade etmez. Bu indirim faktörünün bir uç örneğidir.



Şekil 3. İndirim faktörü oranı gelecekte bir şeye sahip olma ile şimdi sahip olma karşılaştırıldığında ortaya çıkan bir orandır (Botkin ve Keller, 1995).

Pratikte, indirim faktörleri, nadiren basit ve açıktır. Örneğin bir kaynağın gelecekteki ekonomik değeri günümüzdeki değerden yüksek ise söz konusu indirim oranı da günümüzden çok yüksek de olabilir. Buna pozitif indirim oranı denir. Eğer, bir kaynağın gelecekteki ekonomik değeri günümüzdeki değerden düşük ise söz konusu indirim oranı da günümüzden çok düşük de olabilir. Buna da negatif indirim oranı denir (Şekil 3).

Çevre ile ilgili değerlendirmelerde, indirim faktörü yeni bir vurgudur. Çevreciler sıklıkla şunu vurgularlar: Biz geleceği önemsiyoruz ve en azından çevreyi bulduğumuz kadar iyi bırakmalıyız. Buna göre, gelecekteki çevre şimdikinden daha az değerli değildir. Çevresel sorunların ekonomik

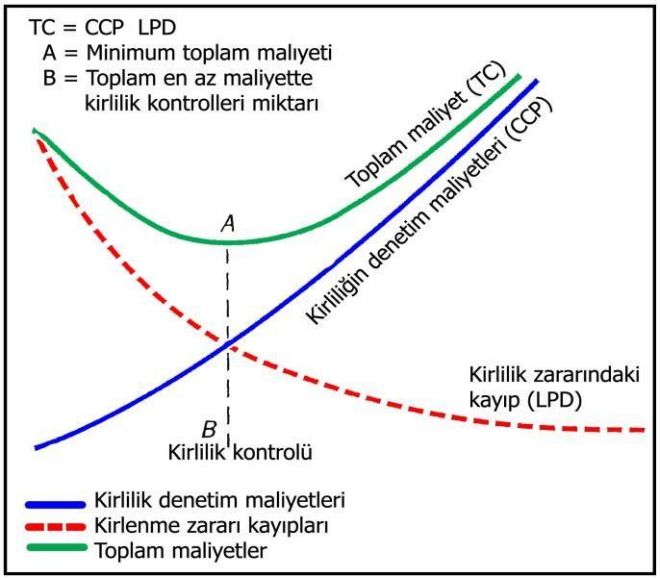
çözümlemesinde indirim faktörü ile nasıl baş edileceği ise çözülmeyen bir konudur. Ancak indirim etkeni kavramı önemlidir. Çünkü biz arzu ettiğimiz çevreye ulaşmayı hedeflemekteyiz.

KİRLİLİĞİN AZALTILMASI

Kirliliğin azaltılması için, öncelikle kirliliğe dair risklerin tanımlanması, hesap edilmesi ve analizi, kabul edilebilirliği ve denetimi gerekmektedir.

Risklerin tanımlanmasında, kirliliğin ortaya çıkma olasılığı ve neden olduğu ekonomik yük belirleyicidir. Kirleticilerin etkisi sıklıkla fark edilemez. Dolayısıyla risklerin konumunu ve düzeyini belirlemek kolay değildir. Ancak, kirleticiler rahatsızlıklara, yaralanmaya ya da ölüme neden olduğunda fark edilirler. Kirleticilerin göreceli riskleri şu anki kirlilik düzeyleri, süresi ve dozu ile gelecekteki değerleri karşılaştırılarak tahmin edilebilir.

Kirliliğin hesap edilmesi ve analizinde, **kirliliğin toplam maliyeti,** kirliliğin zararından ortaya çıkan kayıplar ve kirlilik denetimi dolayısıyla ortaya çıkan maliyetlerin toplamı olarak kabul edilmektedir. Kirliliğin toplam maliyetine dair hususlar Şekil 4' de görülmektedir. Şekil 4'de A noktası, kirliliğin toplam maliyetinin minimum değerine, B noktası ise toplam en az maliyetteki kirlilik denetim değerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4. Kirliliğin toplam maliyeti, kirlilik zararlarından çıkan kayıplar ve kirlilik denetiminin maliyetlerinin toplamıdır (Botkin ve Keller, 1995).

Riskin kabul edilebilirliği toplum ve bireylerin psikolojik ve etik tutumları belirler. Çeşitli risklerin kabul edilebilirliği hakkında birkaç genelleme yapabiliriz. Örneğin, nüfusun küçük bir bölümünü etkileyen riskler (nükleer enerjide çalışan bütün işçiler gibi) genellikle bütün toplumu etkileyen risklerden (radyoaktif patlamanın riski gibi) daha uygun olarak kabul edilebilir. Sonuç olarak, benzer bir şekilde uzun süreli olası riskler, kısa süreli olanlardan daha çok kabul görebilir.

Kirliliği doğrudan denetiminin iki temel yolu vardır: (1) Kirlilik yayılımının maksimum düzeyde iken belirlenmesi; (2) Kirliliği azaltan bilimsel yöntem ve süreçlerin ortaya koyulması. İlk durumda, politik bir bedel, bir sanayinin bacasından yayılan sülfürün miktarı maksimum düzeyde iken konulabilir. İkinci durumda, sanayicinin kullandığı yakıt türü sınırlandırılabilir. Örneğin genel çerçevede, yüksek sülfürlü kömürü yakma yasaklanarak, yerine yenilenebilir enerji kullanımı teşvik edilerek sorunun çözümüne gidilebilir.

Doğal ve kültürel miras, görsel ya da diğer duygusal deneyimlerin yaşandığı mekânlar olup, ekonomik olarak bunları değerlendirmek son derecede zordur. Bu zorluk çevre ekonomisinin "aşil" topuğudur. Çünkü böylesi bir değerlendirmenin herkesçe kabul edilebilir somut göstergeleri yoktur. Kimisi için ender bulunan bir mineral çok değerlidir. Kimisi için sisli bir sabahta kıyı gelgitlerini izlemek ya da vahşi alanda kano gezisi çok daha değerlidir. Ancak bu varlıklar ekonomik bir değerle ifade edilemezler. Eğer çevre analizinde estetik açısından görsel varlıkları değerlendireceksek, bireysel tercihlere izin veren yöntemleri geliştirmek gerekmektedir.

Ancak 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 ya da kültürel yapı böyle bir şeydir. Bunlar, insanı uhrevi dünyaya taşıyan değerlerdir.

Doğal ve kültürel mirası değerlendirmede seçilen yöntemlerde ölçütler; çeşitliliği, canlılığı ve bütünlüğü içermelidir. Bütünlük bir topluluk olarak değil, tek ve uyumlu birlik olarak algılanan manzara bütünlüğü ya da kalitesine işaret eder. Canlılık; temizlik, yenilik ya da derinliği yansıtan bir manzaranın kalitesine işaret eder. Çeşitlilik; aynı zamanda benzersizliği de içerir.

Özellikle doğal ekosistemler, küresel çevre sorunlarından etkilenmektedir. Bu etkileşim, ekonomik sorunlara da yol açar. Örneğin, küresel ısınmanın yer kürede yaşamını sürdüren tüm ekosistemleri doğrudan etkileyebileceği, bunun da devasa ekonomik sorunlar yaratabileceğine dair veriler günümüzde belirgin hale gelmiştir. Çeşitli ekonomik faaliyetler sonucu, karbondioksit ve diğer sera gazları atmosfere salınmakta, bu da küresel ısınmaya yol açmaktadır. Böyle bir sorunun doğrudan çözümü, söz konusu gazların salınımını azaltmaktır. Yani, fosil yakıtların dünya ölçeğinde yakılmasını azaltmak zorunludur. **Çevrenin korunamadığı bir ortamda 'gayrisafi milli hasılayı' yükseltseniz de 'yiyemezsiniz'.**

POLİTİKA ARAÇLARI

Bir toplum; kaynakların kullanımı ve korunması ile kirliliğin azaltılmasına birlikte nasıl ulaşabilir? Aslında, toplumların bu hedeflere ulaşmak için kullanabileceği çeşitli yöntemler vardır. Bunlar; arz/talep ilişkilerinin değerlendirilmesi, toplumu etik çerçevede ikna etmek, denetleme amacıyla çeşitli yasal düzenlemeler yapmak, vergilendirme/ceza, verilecek izinler ve devlet desteği (teşvikler) gibi hususlardır. Toplumun bu politikaları uygulaması, iktisatçılar arasında politika araçları olarak tanımlanır. Toplum, aynı zamanda seçilen politika araçlarının gerçek hayatta işlevlerini yerine getirmesi için birtakım idari mekanizmalara da sahip olmalıdır.

Örneğin, etik açıdan ikna etmenin oldukça güvenilir bir yöntem olduğu kabul edilmektedir. Ancak bunun etkilerinin kalıcı olduğu söylenemez. Bir taraftan, kaynakların kullanımına dair seçimin özgürlüğünü devam ettirmek, diğer taraftan belirli sosyal hedeflere ulaşmak zordur. Sorumluluk karşılığında ruhsat verilmesi ya da verilecek olan çeşitli izinler, sorunların çözümünü kolaylaştırabilir.

Konuyu okyanus balıkçılığı özelinde örnekleyelim. Okyanus balıkçılığı örneği, diğer politika araçlarını görmek için kullanılabilir. Okyanuslar, ortak kullanım alanlarıdır. Bu yüzden balıkların ve memelilerin yaşadığı okyanuslar ortak mülkiyettir. Ancak ortak kullanımın da sınırları vardır. Örneğin, bir devletin kendi sahilinden 325 km (200 mil) uzaklığındaki sular, uluslararası sulardır ve tamamen ortak kullanıma açık alanlardır. Bu mesafeden içeride bulunan sular ise ulusal mülkiyet kapsamına girer ve sadece yerli balıkçıların kullanımına açıktır.

Okyanus balıkçılığında; bir toplum bütün bireylerinin balık avlayıp avlamayacağına nasıl izin verebilir ve aynı toplum, herkesin aynı anda balık tutmasını ve balık türlerinin neslinin tükenmesini nasıl engelleyebilir? Burada bireyin yararı ile kamunun yararı arasındaki çelişki, çevre sorunlarının merkezinde yer alır. Bir görüşe göre, piyasanın bizzat kendisinin uygun bir denetim sistemini

sağlayabileceğini ileri sürmektedir. Örneğin, daha fazla fayda sağlanamadığı takdirde insanların balık tutmayı bırakacağı görüşü tartışılabilir. Ancak iki temel etken bu tartışmaya engeldir: (1) Balık türleri ve sayısı azaldığında artık balıkçılar için ekonomik bir kazanç söz konusu değildir ve balık neslinin tükenmesinden kaçınmak için geç kalınmış da olabilir, (2) Yıllık kârı sürdürmek mümkün olduğunda dahi, bütün kaynağın hasadı bir avantaj olmayabilir. Yani söz konusu ticari iş sona erebilir.

Yukarıdaki temel etkenler gözetildiğinde, balıkçılığı sürdürmek üzere, izinlere dair dört yönetim seçeneği önerilebilir:

1. Balıkçılık için bir avlanma kotası oluşturmak ve herkese, söz konusu kotaya göre izin vermek,
2. Balıkçılık yapan yeni avcılara ruhsat verirken bazı sınırlamalara gitmek; ancak daha önce ruhsat verilen kimselerin daha fazla avlanmasına izin vermek,
3. Avlanma (avlanan balıkların) miktarı ya da diğer hususlar (gemilerin maliyeti, yakıt ve diğer gereçler) için vergilendirme yapmak,
4. Balıkçılık haklarını paylaştırmak, yani her balıkçı için transfer edilebilir ve devredilebilir bir kota tayin etmek.

Sonuç olarak, toplam avlama kotasındaki düzenlemelerin balık avlamaya yardımcı olmasına rağmen, balıkçı ve tekne sayısındaki artış, balıkçıların geçim darlığı çekmesine neden olabilir.

Son zamanlardaki ekonomik çözümlemeler, ekonomik kalkınmada hesaplanamayan vergilerin balıkçılar için büyük bir avantaj olduğunu göstermektedir. Her balıkçıya bölüştürülen devredilebilir ve satılabilir kotalar için benzer sonuçlara rastlamak mümkündür.

Ekonominin politik araçları, sosyal bir çevrede en iyi şekilde uygulanabilir yöntemleri de belirlemek için kullanılmalıdır. Ülkemizde mevcut çevre mevzuatı da yukarıda sunulan balıkçılığa özgü sorunların yaşamın her alanında olabileceğini öngörülerek ekonomik faaliyetlerin işleyişini kolaylaştırırken çevrenin korunmasını da güvence altına alacak bir şekilde yapılandırılmalıdır. Bunun için toplumun beklentileri ve doğal kaynakların potansiyelini birlikte gözeten ve kaynakların verimli kullanımına yönelik bir politik yaklaşım esas alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Botkin, D. B., M., Caswell, J. E., Estes, ve A. Orio, ed., 1989, Changing the Global Enviroment: Perspectives on Human Involvement. New York: Acedemic Pres.

Botkin, D.B. ve Keller, E. A., 1995, Environmental Science, Earth As a Living Planet. John Willey and Sons, Inc. Newyork, 627s.

Chapman, K., 1981, Issues in environmental impact assessment. Progress in Human Geography, 34, 405-16.

Hardin, G., 1968, The Tragedy of the Commons. Science 162:1243-48.

Mather, A.S. ve Chapman, K., 1998, Environmental Resources: Addison Wesley Longman Edinburg Gate Harlow Essex CM 20 2 JE, England, 279s.

Schramm, G. and Warford, J.J. (eds), 1989, Environmental management and economic development. Washington: World Bank.

Aşağıdaki KAYNAKLARA da Botkin ve Keller'den (1995) ya da Mather ve Chapman'dan (1998) erişilebilir:

Anthony, V.C., 1993, The State of Groundfish Resources off the Northeastern United States Fisberies 18(3):12-17.

Berkes, F., Feeny, D., McCay, B.J. and Anderson, J.M., 1989, The benefits of the commons. Nature, 340, 91-3.

Block, W., ed., 1990, Economics and the Enviroment: A Reconciliation. Vancouver: Fraser Institute.

Clark, C., 1976, Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Correia, S.J., 1992, Flounder Population Declines: Overfishing or Pollution? Division of Marine Fisheries News. Boston: Massachusetts Division of Marine Fisheries.

Helm, D. and Pearce, D. (1990) Economic policy towards the environment. Oxford Review of Economic Policy, 6, 1-16.

Keen, E. A., 1988, Ownership and Producticity of Marine Fishery Resources: An Essay on the Resolution of Conflict in the Use of the Ocean Pastures. Blacksburg, Va.: McDonald and Woodward Pub. Co.
Keen, E. A., 1991, Ownership and Productivity of Marine Fisheries Resources, Fisheries 16:18-22.
Lawren , B. 1992, Net Loss, National Wildlife, 30(6): 47-52.
Leal, D. R., 1992, Using Property Rights to Regulate Fish Harvest, Christian Science Monitor, p.18.
Pearce, D. W., ve Tunner R. K., 1990, Economics of Natural Resources and the Enviroment. Baltimore: Johns Hopkins Univercity Press.
Pierce, D., 1992, New England Council to Cut Fishing Effort in Half over Next 5 Years. Division of Marine Fisheries News. Boston: Massachusetts Division of Marine Fisheries.
Satchell, M., 1992, The Rape of the Oceans, U.S. News ve World Report 112(24):64-75.
Stevenson, G.G. (1991) Common property economics: a general theory and land use applications. Cambridge: CUP.
Tietenberg, T. H., 1992, Environmental ve Natural Resource Economics. 3rd ed. New York: Harper Collins Publisher.
Tisdell, C.A., 1990, Natural resources: growth and development, economics, ecology and resource scarcity. New York: Praeger.
Tisdell, C. A. 1991. Economics of Environmental Conservation: Economics of Environmental and Ecological Management. Amsterdam ve New York: Elsevier Science Pub. Co.
Warford, J.J., 1987, Natural resources and economic policy in developing countries. Annals of Regional Science, 21, 3-17.
Wilson, R., 1980, Risk/Benefit Analysis for Toxic Chemicals. Ecotoxicology ve Environmental Safety, 4, 370-383.
Young, O.R., 1982, Resource regimes: natural resources and social institutions. Berkeley: University of California Press.

1. 5, ÇEVRESEL DEĞİŞİMİN YÖNETİMİ

GENEL BİLGİLER

Çevre yönetimi, aslında çevresel değişimin yönetimidir. Amaç olumsuz değişimleri denetlemek ve iyi yöndeki değişimleri geliştirmektir. Ancak değişim basit değil ve değişimin önceden kestirilmesi zordur. Ne var ki değişimi öngörmek yaşamsal önem taşımaktadır. Bu yüzden çevre yetkilileri olası değişiklikleri öngörecek her bir senaryo ile ilgili değerlendirmeyi sunan fiziki coğrafyacıları anlamaya çalışmaktadır. Değişim çizgisel ya da çizgisel olmayan, geri dönüşümlü ya da geri dönüşümü olmayan bir yapıda olabilir. Yavaş değişim bir eşiği geçip daha sonra önemli ölçüde başka bir değişime yol açabilir. Örneğin, akarsu kanallarının aniden kendi yatağını değiştirmesi tipik bir örnektir.

Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) çevre yönetiminin önemli bir aracıdır. Bunlar bize yönetim seçeneklerinin türlerini ve göreceli yararlarını belirlemeye izin verir. Seçeneklerin sosyal etkilerini (Brownn, 1997), ekonomik avantajlarını ve dezavantajlarını tahmin etmek genellikle mümkündür. Ancak çoğu zaman bu gibi programlar tüm yaşam döngüsünün analizini ve yapılan faaliyetin ya da teknolojinin daha geniş etkilerinin maliyetlerini içermemektedirler.

Karar vericiler, kaynakları sağlarken, çevre yönetimi için de harcanacak para sağlayabilir. Politik destek verilen bir faaliyet, desteği veren ve etkilenen herkesin görüş birliği içinde olduğu bir yönde gerçekleştirilmelidir. Görüş birliği de tüm katılımcıların ortak bir zeminde yer almasıyla sağlanabilir. Yapılan faaliyetlerin uygulanması izlemeyi gerektirir. İzleme sonuçlarının proje için ödeme yapan ya da projede yer alan ya da etkilenecek tüm katılımcılara bildirilmesi gerekmektedir.

Çevre yönetimi, beş yıl önce bile ekonomiye bağlı sadece az sayıdaki firma tarafından önemsenmekteydi. Örneğin, B&Q gibi kendin-yap malzemelerini satan mağazalar bir fark yaratarak iyi yönetilen ormanlardan uluslararası onay görmüş ölçütlere uygun kerestelik ağaç teminine başladı. Oysa bugün dünyanın en büyük firmaları çevre sorunlarını ele alarak ve çevre üzerine eğilerek ilgilenmektedirler. Öte yandan, Dünya'nın en büyük petrol firmalarından biri olan BP "Petrolsüz" yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde araştırmalar yapmaktadır (McDonald, 2008).

Günümüzde, çevre yönetimi, bir bakıma çevresel değişimin yönetimi olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bu bölümün hazırlanmasında Holden'nın (2008) kitabı ve bu kitapta bir bölüm halinde yer alan McDonald'ın (2008) 'Çevresel Değişimin Yönetimi' makalesi yol gösterici olmuştur. Artık tüm büyük firmalar, yaptıkları etkinliklerin amaçları ile birlikte, çevresel değişime yansımalarını değerlendirmektedir. Örneğin TESCO'nun (Avrupa'da en büyük AVM'lerden biri) aşağıda maddeler halinde sunulan üç önemli amacı bulunmaktadır (McDonald, 2008):

- Müşterilerimizin çevre dostu ürünleri seçmelerini kolaylaştırmak ve çevreye zarar vermeyen ürünlerin fiyatlarını bütçelerine uygun hale getirmek;

- TESCO'nun tüm dünya üzerindeki tesislerinin sera gazı salınımı değerlerini ölçüp azaltarak örnek oluşturmak;

- Baştan sona tüm tedarik zinciri içinde düşük karbonlu yeni teknolojiler geliştirecek kişi, kuruluş ve firmalarla birlikte çalışmak;

TESCO, ayrıca kendine özgü bazı taahhütlerde de bulunulmaktadır. Örnekler:

- Araç filosunun yarısında biyodizel kullanmak;
- 300 petrol istasyonunda satılan benzine ve diğer çeşitlerine %5 oranında biyoetanol eklemek;
- Enerji tasarruflu elektrik lambaları kullanarak elektrik enerjisi giderlerini yarıya indirmek;
- Uçakla taşınmış gıdalar üzerine uyarı işareti koymak ve uçakla taşınan ürünleri %1 oranında azaltmak.

Şimdi, günümüzdeki bu durumu, çevresel yönetim konusuna yaklaşımın sadece konuşmadan ibaret olduğu ve konuşulmasından başka hiçbir işlemin yapılmadığını ifade eden yaklaşımların yayınlandığı 2004 yılıyla kıyaslayalım. Kıyaslamanın nedeni belki de iklim değişikliği ile ilgili 2003 yılında düzenlenen Johannesburg konferansından çıkan kötümser havadır. Johannesburg konferansı daha önce hiç görülmemiş bir şekilde sanayi odaklı bir konferanstı. Bunun sonucunda birkaç eylem dışında çevre

konusunda hiçbir şey ortaya koyulamadı. Bununla birlikte, çevresel uygulamaların ilerlemesi için öncülük eden pazar piyasasının gelişen gücünün iyimser bir görüntü yarattığı görülmektedir.

Oysaki George Monbiot gibi bazı eylemciler, yaşam tarzı değişim hızının çok yavaş olduğunu ve günümüzde değişmiş olan yaşam biçiminin kapsamının da büyük çaplı olmadığını savunmaktadırlar. Bu yaşam biçiminin değişim hızı ve kapsamının dünya için bir fark yaratmaktan uzak olduğu ileri sürmektedir. Bu hızla gidilirse durumun vahametinin ancak **"hayal edebilirsen yapabilirsin"** felsefesindeki gibi üzerinde yaşam olmayan bir dünya algılandığında anlaşılabileceğini ileri sürmeye devam etmektedirler. Böyle bir durum biyosferde pestisitlerin aşırı ve pervasızca kullanımı karşısında ancak sessiz kalan bir dünyada olabilir (McDonald, 2008 ve içindeki kaynaklar):

Carson'un (1962) **"Sessiz Bahar" (Silent Spring)** isimli kitabı bir dönüm noktasıdır. Kitapta DDT'nin (Diklorodifeniltrikloretan) tehlikeleri anlatılmıştır. 1930'lar dan itibaren dünyada tarım ürünleri üzerine sıkılarak kullanılan ve kalıntılarının varlığını 15 yıl sürdürebildiği bilinen DDT son derece güçlü bir böcek öldürücü ilaçtır. Bu pestisitdeki sorun toprak, bitki ve hayvanların bünyesinde birikmesi ve besin zinciri içinde alıkonulabilen toksinleri içermesidir. Bu toksinler zaman içinde toprak, bitki ve hayvanların bünyesine de yerleşip yoğunlaşarak insana ve çevreye çok daha fazla zarar verirler. Bu nedenle DDT dünyanın çoğu ülkesinde 1970'lerin sonlarından itibaren yasaklanmıştır.

Büyük bir olasılıkla Carson'un (1962) kitabı, çevrenin önemine ve zaman geçtikçe daha da kötüye giden çevresel bozulmanın kötü gidişine dikkat çekerek dünyayı uyaran ve en sonunda da ayağa kaldıran bir işlev görmüştür. İnsanlar, kendi kendilerine doğayı bozduklarını ve çevrelerine zarar verdiklerini anlamaya başladılar. Bu kitabın yayınlanmasından sonra oluşan çevre bilincindeki artış, çevre konusundaki araştırma ve halka yönelik habercilik faaliyetleri hiç umulmadık şekilde bir gelişme kaydetmemiştir. Ancak, oluşan bilinç uygulamalara yansıması beklendiği kadar etkili olmamıştır. Çevresel bozulmanın ilk başlarında tarım faaliyetleri ve kereste sağlamak için orman açma gibi faaliyetler küçük çaplıydı. Bu faaliyetlerin tüm sonuç ve etkilerini okumaya çalışırken var olan ile yok olanın karşılaştırması yapılmıyordu. Yani olayın önemi anlaşılmamıştı.

Günümüzdeki durum o zamanlardaki gibi değildir. Artık, değişimin ve dallanıp budaklanan şekillerinin ne kadar anlaşıldığı, tüm dünyada küresel olarak görülmektedir. İlk olarak hangi sorunun üstesinden geleceğimize ya da ilk önce hangi soruna tepki göstereceğimize karar vermek için elimizde araçlarımız, olanaklarımız ve yeteneklerimiz vardır. Bu bölümün amacı da söz konusu yönetim araçlarını ayrıntılarıyla açıklamaktır.

Öte yandan, Fiziki Coğrafya ile ilgili bir kitapta (Holden, 2008), çevre yönetimi ile ilgili bir bölüm niçin bulunur? Bunun iki temel nedeni vardır. Birinci temel neden şu anda yaşadığımız doğanın biz yaşarken geçirmiş olduğu tüm süreçlerini ve değişimlerini anlamaya yönelik duyulan ve dünyayı daha iyi anlamaya yönelik düşünsel merak ile ilgilidir. İkinci temel neden, bizzat yaşamdan ve doğal kaynakların işletilmesinden kaynaklanan çevresel etkiler ile ilgilidir. Çeşitli faaliyetler sonucunda çevre üzerinde yaratılan etkiyi öngörmek ve olası olumsuz sonuçlarını erken evrede önlemek üzere bunların yönetim şeklinin nasıl olacağını belirlemek için çevreyi şekillendiren süreçleri anlamak gerekmektedir. Dolayısıyla, Fiziki Coğrafya biliminin çevre yönetiminde uygulanabilecek önemli olanaklara sahip olduğu çok açıktır.

Çevresel değişimin yönetimi ve halen tehdit altında bulunan türlerin korunması gibi konuların, çevre yönetiminin en önemli konuları olduğu tartışılamaz. Çevredeki değişimi yönetmek ve bu konuya önayak olmak için harekete geçildiğinde birçok belirsizliklerle karşılaşılır. Belirsizlikler yüzünden erken evrede harekete geçilmelidir. Bu da **ön koruma (ihtiyatlılık) ilkesi** olarak bilinir. Bu ilkeyi anlamadan bazı olası sorunlara çözüm bulmanın öngörülemeyeceği açıktır. Bununla birlikte var olan biçimiyle de harekete geçilmesi de riskler içerir. Bizi harekete geçiren öngörülerimiz bazen bizi yanlış yönde gelişen fiziksel risklerle baş başa bırakabilir. Yani, harekete geçmemiz gerekmezken harekete geçmemizin ekonomik bedeli yüksek olabilir. Çevrenin bir yönetim eylemine nasıl tepki vereceği konusundaki belirsizlikleri azaltmaya yardımcı olacak bilgiler, bu kitabın önceki bölümlerinde sunulmuştur. Bu bölümde tartışılacak konu yönetim araçlarıdır. Çevre yönetimi, Fiziki Coğrafya'nın iyi bir uygulamasıdır. Çevre yönetimi, gelişerek yeni bir bilim dalı olmuştur. Sunulan bu bölüm, Fiziki Coğrafya'nın birikimlerinden yararlanarak çevre yönetimine katkıyı ve kullanılan önemli tekniklerin çerçevesini çizmeyi amaçlamaktadır. Bu çerçevede, ağırlıklı olarak, McDonald'ın (2008) makalesi Türkçeye çevrilmiştir. Ayrıca, konunun iyi anlaşılması ve yer yer, ülkemize uyarlamak amacıyla kişisel görüşlerimiz de eklenmiştir.

ÇEVRESEL DEĞİŞİMİN ANLAŞILMASI

Holden'nın (2008) kitabının önceki bölümlerinde farklı zaman dilimlerinde çevresel değişim ile ilgili sorunların çerçeveleri (Owen ve Unwin, 1997; Asente-Duag, 1998; Nath ve diğerleri, 1998; Ericson ve King, 1999; Barrow, 2006) çizilerek sunulmuştur. Örneğin, öncelikle 2.4 milyon yıl öncesindeki çevresel değişimler tartışılmış daha sonra insan etkisiyle oluşmuş daha yakın zamanlara ait çevresel değişim ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bunu izleyerek bitki örtüsü ile iklim değişikliği arasındaki karşılıklı etkileşimlerin ayrıntıları verilmektedir. Daha sonra yerel ve küresel çevre değişiminin yönünü sürekli olarak izleyen günümüzdeki çağdaş teknikler tartışılmaktadır. Son bölümde ise çevre yönetimi açısından anlamlı olan değişimin özellikleri hakkında genel görüşler sunulmaktadır.

Değişimin özellikleri

Çevre değişimini yönetmek için değişimin kendisini de bir ölçüde anlamaya gereksinim vardır. Örneğin, bir akarsu için hem "Memba" yani "kaynak" hem de "Mansap" da değişimleri anlamamız gerekmektedir. Bu da bütünsel bir yaklaşımla ortaya koyulabilir. DPSIR aşağıdaki 5 terimin İngilizce' lerinin başlangıç kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuştur. DPSIR, sosyal, ekonomik ve çevresel sistemlerin birbiriyle ilgili çeşitli bileşenlerinin arasında neden-sonuç ilişkisini gözeten bir yapıdır (McDonald, 2008):

- **D** Çevresel değişime yol açan kuvvetler olan itici güçler (**D**riving forces) (örneğin daha büyük oranda tarımsal üretim)
- **P** Çevre üzerindeki baskılar (**P**ressures) (örneğin atmosfere kimyasal maddelerin salıverilmesi)
- **S** Çevrenin hali hazırdaki durumu (**S**tate) (örneğin kentin konumu ve hava kalitesi)
- **I** Bir faaliyetin ekosistem, ekonomi, nüfus vd. üzerindeki etkiler (**I**mpacts) (örneğin sağlık etkileri, solunum ile ilgili rahatsızlıklar)
- **R** Sosyal kurumların ve toplumun verdiği tepki (**R**esponse) (örneğin çevre yasası, temiz hava yönetmeliği, taşıt emisyon denetimi)

DPSIR esnek bir yaklaşım olup gelişmiş ülke ekonomileri ve ortak akla dayalı sistemler gözetilerek hazırlanmasına rağmen, gelişmemiş kırsal bölgelere uygulanan çevre yönetimi, beklenenden daha erken etkin sonuçlara ulaşmıştır.

Belki de değişimin en önemli özelliği, değişimin doğası ile değişimi yöneten faktörler arasındaki ilişki ile ilintili olmasıdır. Değişimin doğası Çizelge 1' de özetlenmiştir. Örneğin eğer değişim duraysız, geri dönüşü mümkün olmayan ve hızlı ise, böylesi bir değişim; duraylı, geri dönüşü mümkün, yavaş ve sınırlı olan değişim tipine göre çok daha fazla sorunlu davranışlara neden olacaktır.

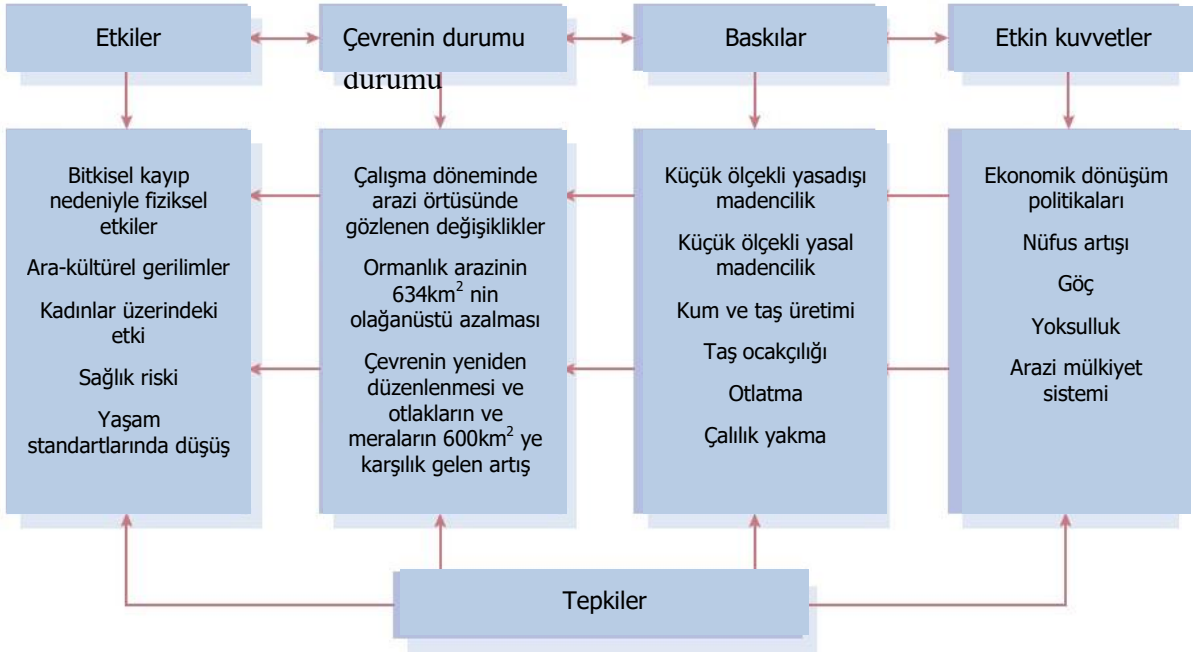
Çizelge 1. Değişimin doğası (McDonald, 2008):

İyi hususlar	Sorunlu hususlar
Duraylı	Duraysız
Dönüşümlü	Geri dönüşümsüz
Yavaş Değişim	Hızlı Değişim
Sınırlı	Sınırsız
Hoşgörü sınırları içinde	Hoşgörü sınırları dışında
Çizgisel	Çok yönlü
Küçük ölçekli	Küresel

Değişimin bir faktör ya da faktörler grubu tarafından yönlendirildiği söylenebilir. Örneğin artan asit yağmurlarını harekete geçiren unsurun, enerji elde etmek için yakılan kömürden açığa çıkan kükürt tarafından oluşturulduğu bilinmektedir. Fakat kömür yakma ile asit yağmuru arasındaki ilişki için yönetim açısından çıkarılan sonuçları belirlerken bu ilişkide iyi olan hususlarla sorun yaratan hususları bir bütün olarak düşünerek, hem iyi hem de sorunlu hususlar gözetilerek değerlendirilebilir.

Söz konusu hususlar ve ilişkiler Şekil 1'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Örneğin etkiler geri dönüşü olan ya da geri dönüşü olmayan, basit (doğrusal) ya da karmaşık (doğrusal olmayan), hatta

yapılarında zamana bağlı uzun süreli olabilir. Bir ilişki geri dönüşü olan ve doğrusal olarak kabul edilirse o zaman bu değişimi geriye döndürmek için iyi bir yönetim stratejisi devreye sokulabilir.



Şekil 1. Kuzey Gana DPSIR çerçevesinin analiz sonuçları (Isaac Agyemang'ın izniyle, McDonald, 2008'den).

Oysa değişimin çizgisel olmadığı ve geri dönüşü de olmayan bir durum söz konusu ise faaliyeti gerçekleştirmekten vaz geçilmelidir. Buna örnek olarak akaçlaması iyi yapılmış turbalık alanları gösterebiliriz (Şekil 2).

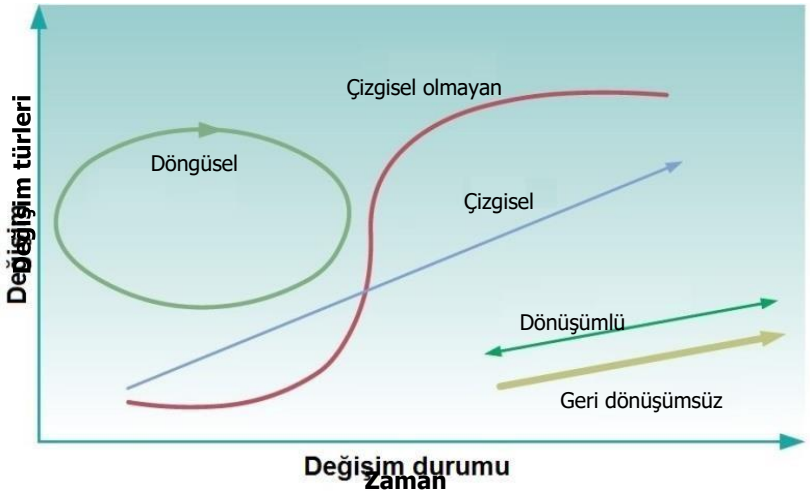


Şekil 2. Geniş bir kanal halinde açılmış turbalık alanda bir akaçlama hendeği. Arazinin Güneş'e açık olması turbalık alanın kurumasına ve çatlamasına neden olmuştur (Alona Armstrong'un izniyle, McDonald, 2008'den).

Yukarıda görüldüğü üzere turbalık bir alanda akaçlama amacıyla hendeklerin açılması turba alanı zeminin çoğu kez tümüyle kurumasına ve çatlamasına neden olmaktadır. Yağmur yağması halinde bile akaçlama kanallarındaki su deviniminin genellikle daha hızlı olmasına yol açar. Bitki örtüsü ile kaplı olmayan bir alanda, akarsular, daha fazla sellerin ve erozyonun oluşmasına yol açarlar. Çevresel yönetim çerçevesinde söz konusu değişim, baraj yaparak denetim altına alınabilir. Yapılacak baraj, yağış

nedeniyle oluşan akarsuyun baraj rezervuarının memba bölgesinde toplanmasını sağlar. Bununla birlikte kimi durumlarda baraj rezervuarı içinde yamaçlarda ve ana yatak içinde yeni çatlaklar da oluşabilir. Daha fazla su bu çatlaklardan yeraltına sızarak akar ve bu su da toprakta daha fazla erozyona neden olur (Holden ve diğerleri, 2006). Çatlakların arazide oluşumu geri dönüşü olmayan bir değişimdir. Çünkü turbalık alan tamamen kuruduğunda turbanın özelliklerinde de değişim olur ve kuru turba artık eskisi gibi daha fazla su tutamaz (Holden ve Burt, 2002).

Sonuç olarak zemindeki çatlaklardan türbülanslı suların geçmesi ve erozyonun artması çevrede hızlı bir değişimin oluşmasına neden olabilir. Değişimin türleri ile zaman arasındaki ilişkiler Şekil 3'de tanımlanmıştır. Değişim türlerinin zaman içindeki davranışları farklıdır. Çizgisel, çizgisel olmayan, döngüsel, dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz olsun, hangi tür değişim ile karşı karşıya olduğumuzu kestirmek önemlidir.



Şekil 3. Grafikle temsil edilen değişimin bazı özellikleri.

Değişimin hızı

Değişimin başlangıçtaki hızının bilinmesi, araştırılması ve ortaya çıkarılması yaşamsal öneme sahiptir. Çünkü başlangıç hızı yavaş ise;

i. Bitki ve hayvan türleri ya değişen ortama uyarlar ya da yavaş olarak değişen bu doğal yaşam alanlarını değiştirirler.

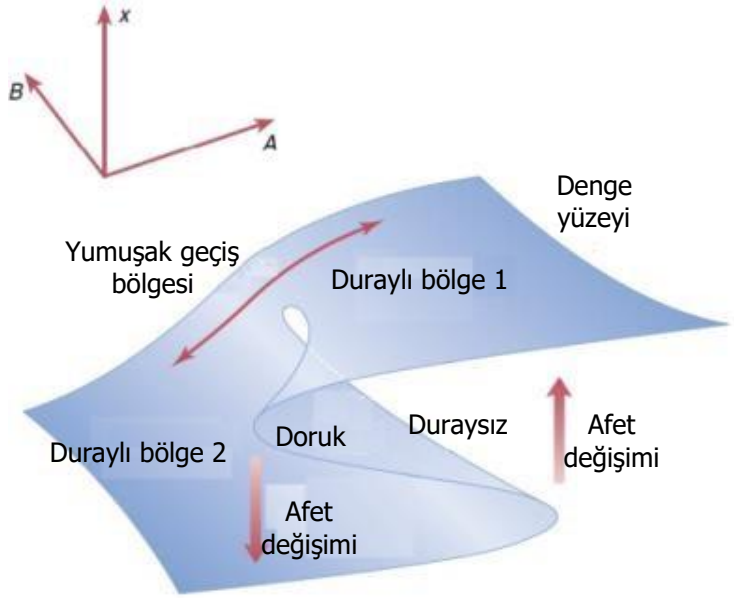
ii. O bölgedeki çevreden sorumlu yönetim, bir iyileştirme stratejisi tasarlayarak bir proje üretmesi ve bu iyileştirme projesini de uygulaması için gereken zamana sahiptirler.

iii. Siyasetçilere o bölgedeki olası zararı görmeleri ve anlamaları için yeterli zaman verilerek o bölgedeki çevreden sorumlu yönetimin gereksinim duyacağı kaynaklar da sağlanmaktadır.

Değişimin başlangıç hızının yavaş olduğu bu son durum bir dezavantaj da olabilir. Örneğin, bazı karar vericilerin zamanlarının sınırlı olması ve değişimin başlangıç hızının yavaş olması ile **"burada henüz sorun yok"** şeklinde düşünerek, sorunu göz ardı etme olasılığı vardır ve bu da zaman içinde ciddi bir soruna dönüşebilir.

Çizgisel olmayan ve hızlı bir şekilde bozulmuş olan bir çevrede değişimin başlangıç hızı konusu ileri uzmanlık gerektirir. **Afet kuramı**, Thom (1968) tarafından tanımlanmıştır. Şekil 4'de bir afet halinde oluşan çevresel değişim ile tepkisel değişim arasındaki ilişkiler üç boyutlu olarak görülmektedir. Bu ilişkilerde duraylı ya da sabit bir konumdan, yine duraylı bir konuma yumuşak bir değişim olabileceğini de göstermektedir. İstatistiksel verilere dayanan tahminler, yüzeyin hafif bükülen bölümü, başlangıcı yavaş olan bir değişime işaret edebilir. Bu da öngörülecek müdahale için çok fazla zaman geçmesine yol açar ya da yeni bir dengeye ulaşma durumuna olanak verir. Ancak, böyle bir durumda da söz konusu duraylı alana yapılan küçük çaplı müdahale arazide büyük çaplı bir değişime neden olabilir. Şekil 4'de görülen yüzeyin bir sonraki "sivri uçlu" kısmı, duraylı bir duruma verilen çok hızlı tepkiyi göstermektedir.

Diğer bir deyişle, çok yavaş bir değişim aniden sanki sistem bir eşik düzeyine ulaşmış gibi çok hızlı bir değişime dönmekte ve aniden kararlı durumun içinden dışarı çıkmaktadır.



Şekil 4. Afet kuramı. Burada sunulan yüzey üç boyutludur. A ve B çevresel koşullardaki değişiklikleri, x ise söz konusu değişiklere olan tepkisel değişime işaret eder. Doğal çevrede çok daha fazla değişken vardır. Ancak yalın bir hal için sadece iki değişken çizilmiştir. Afet iki okla sunulmuş, doruk en duraysız bölgedir. Bir sistemin koşullarında duraylılığın bozulmasıyla hızlı değişim meydana gelir.

Afet kuramındaki değişim termohalin sirkülasyon sistemi çerçevesinde örneklenebilir. Bu sistem, genel olarak derin okyanuslarda gelişen sirkülasyon sistemidir. Yani günümüzde ekvatordaki ısıyı kutuplara doğru taşıyan ve duyarlı bölgelerdeki suyun tuzluluğu nedeniyle çok güçlü bir sistemdir. Okyanuslarda tuzlu su yoğundur. Bu nedenle tuzlu su çökelir. Bu da okyanus tabanındaki suyu yukarı doğru yer değiştirmeye zorlayarak büyük bir sirkülasyon yaratır. Bununla birlikte küresel ısınma ile birlikte her geçen gün kutuplarda daha fazla buzul erimektedir. Örneğin Kuzey Atlantik Okyanusu'na dökülen akarsular daha fazla tatlı su üreterek Kuzey Atlantik Okyanusu'na karışıyorlar (Dickson ve diğ., 2002).

Akarsular çok fazla tuzlu olmadığı için akarsulardan gelen tatlı su, mevcut tuzluluğu etkileyerek tuzlu suyun derine çökelmesini önleyebilir. Bu da okyanusun sirkülasyon sistemini kapatabilir (Paillard, 2001). Bu değişim çok ani olabilir ve iklim sisteminin okyanus sirkülasyonundaki değişimler nedeniyle aniden duraylı olan ılık bir konumdan yine duraylı olan ancak soğuk bir konuma geçiş olabilir (Broecker ve Denton, 1990). Bunun sonucunda Avrupa'nın birkaç derece ile dramatik bir şekilde soğuması ve devamında da Avrupa kıtası üzerinde buzullar oluşabilir. Bu buzullar güneşten gelen ışınların yansıyan yüzdesini de arttıracak ve böylece gezegeni daha da fazla soğutarak bir buzul devrine girilebilir. Böylece iklim koşulları açısından duraylı ve ılık bir dönemde çok yavaş bir değişim geçirirken sonuç olarak nihayetinde sistemi hızla duraylı soğuk faza iten afeti getiren okyanus sirkülasyon sisteminin durması ile karşı karşıya kalınabilir. Bu durum elbette insanlığın tarihi süreci içinde geri dönüşü olmayan bir olgu yaratabilir. Geri dönüş beklentisi olmayan duraylı uluslararası sular, çizgisel olmayan geçişe tipik bir örnektir.

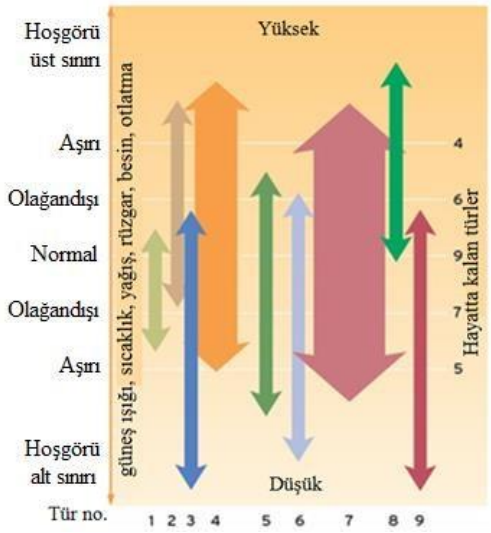
Çevresel açıdan hoşgörü

Çevrenin yapılmış olan tanımlarının birçoğunda çevrede yaşayan canlı organizmalarla ilgili ekolojik tanıma daha fazla ağırlık verilmiştir. Oysa bu tür çevre tanımının eksik olduğunu söyleyebiliriz. Çevrenin tanımı nasıl olursa olsun çevresel değişimin, yeryüzünün – okyanusların – atmosferin – biyosferin dünya üzerindeki herhangi bir noktasında yerel düzeyde olabileceği gibi, küresel düzeyde de meydana gelebilen bir yapısı da vardır. Çevreden sorumlu yönetimler de elbette ekolojik duyarlılığa sahip olmalıdır. Yeryüzünde, okyanuslarda ve atmosferdeki süreçler ve bunların fiziksel özellikleri de çevredeki değişime yansırlar. Küresel açıdan da, yeryüzündeki tüm elementlerin son derece karmaşık olan etkileşimlerinin olduğu kabul edilmektedir. Dünya'nın küresel ölçekte bir canlı organizma olduğu

düşünüldüğünde, Dünya'ya verilen bir zarara karşı tepkisinin de karmaşık ve öngörülemez olacağı kabul edilebilir (Lovelock, 1979).

Çevre ile ilgili koşulların ekolojik çevre içindeki anlamı çok önemlidir. Her canlı türünün yaşayabildiği çevresel koşullara ait hoşgörü, yani alt ve üst eşik sınırlar vardır. Örneğin bu -2 °C'den +30 °C'ye kadar olan bir sıcaklık aralığı olabilir. Gerçekte tüm canlı türlerinin toprağın su içeriği, oksijene doygunluğu, sıcaklık ve pH'ı tarafından denetlenen ancak alt ve üst eşik sınırlar arasında hayatta kalabileceği aralıklar vardır. Koşullar eşik değerlerden birisinin kritik bir zaman süresi için (canlı türüne ve belirleyici faktöre bağlı olarak saniyeler ya da saatler) dışına çıkmasına yol açmış ise, bu canlı organizma hayatta kalamaz. Çevresel faktörler dizisinden sadece birisinin bile belli bir zaman aralığında hayati öneme sahip olması **sınırlı faktörler yasası** olarak bilinir. Bunun için genelleştirilmiş sınır değerleri ölçülür ve sürekli yapılan ölçümlerle tek bir faktör için o canlı organizmaya özgü duruma getirilir. Örneğin $LD_{50/24}$ ölçümü 24 saat boyunca incelemeye tabi tutulan canlı organizmaların %50 si için ölümcül sonuç veren bir dozdur (Lawrence ve diğerleri, 1998).

Bir ekosistemde her canlı türünün yaşayabileceği belirli eşik değerler vardır. Ayrıca her ekosistemin de bir bütün olarak yaşayabilmesi için de belirli sınır değerleri vardır. Ekosistemin yaşaması için olması gereken sınır değerleri, bu ekosistemi oluşturan her bir canlı türünün yaşayabilmesi için gerekli olan sınır değerlerinden daha büyüktür. Buradan hareketle, çevresel değişimin ekosistemi yok edebilecek çapta olabilmesi ve o ekosistemde yaşayan canlı türlerini tahrip etmesi için gerekli olan değişim potansiyelinden daha büyük bir değişim potansiyeline sahip olması gerekecektir. Eğer yok olan canlı türü diğer canlı türlerinin yaşamına oluşturan bir tür ise, elbette o zaman ekosistemin diğer bileşenleri de bozulacaktır. Şekil 5, bir ekosistemin yaşaması için olması gereken sınır değer aralıklarının, bu ekosistemi oluşturan türleri yaşayabilmesi için gerekli olan sınır değer aralıklarından hatırı sayılır ölçüde daha büyük olduğunu göstermektedir (McDonald, 2000).



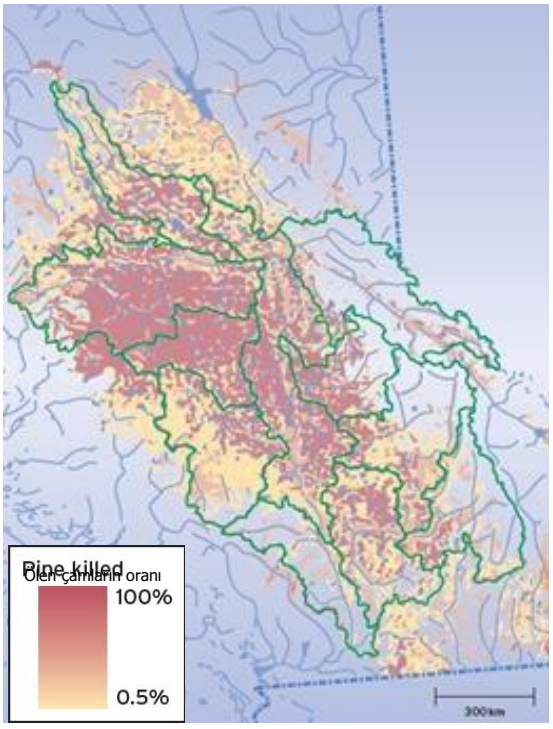
Şekil 5. Bir ekosistemin ve türlerin hoşgörü sınırları (McDonald, 2000).

Örneğin, 8 nolu canlı türü sınır değerinin yukarıdaki en uç noktada da var olmasına karşın diğer türler yok olabilir. "Normal" koşullar altında ise canlı türlerinden dokuz tanesi de hayatta kalır. Canlı türlerinin yaklaşık yarısı olağandışı koşullar altındaki değişimlerde de hayatta kalabilir. Ancak şu noktaya dikkat edilmelidir. Eşik değerlerinin üst sınırları zorlanması sonucunda hayatta kalma ile alt limitler zorlanarak hayatta kalabilme birbirlerinden farklıdır. Sadece iki tür sınır değerler açısından hem alt sınıra hem de üst sınıra zorlanmasına rağmen hayatta kalabilir. Bu da tür çeşitliliğin teşvik edilmesinin neden önemli olduğuna dair de bir nedendir. İçinde biyo-çeşitliliğin fazla olduğu ekosistemler daha dirençli olmaya eğilimlidirler (Bradbury, 1998).

British Columbia'daki Fraser Irmağı'nın memba tarafında iklim değişikliği ve yerel orman yönetimindeki değişiklikler nedeniyle oluşan böcek istilası, tipik örnek bir olayın sonuçları olarak Şekil 6 ve 7' de sunulmuştur.



Şekil 6. Çam biti tarafından zarar gören çam ağaçları (Mickey Gibson/Animals Animals/Photolibrary.com).



Şekil 7. İngiliz Kolombiyası'nda 1999- 2005 yılları arasındaki çam biti tarafından zarar gören çam ağaçlarının oranını gösteren harita (İngiliz Kolombiyası Çevre Bakanlığı izniyle, McDonald, 2008'den).

Değişimi yönetme gereksinimi ve "işlevi"

Bazı çevrebilimciler ekosistemin eski halini alma yeteneğinden teselli bulurlar. Oysa çevre yönetiminin özü, bu konuda rahat değildir. Çünkü karar vericiler açısından, ekonomik ve siyasi tercihlerin her zaman en üst düzeyde önceliği vardır. Diğer bir deyişle para ve güç, çevre yönetimi sorunlarının genellikle önündedir. Çünkü insan türünün ekonomik öncelikleri, çevre yönetimi kararlarında da üst düzeydedir. Oysa insan türünü biyosferdeki diğer türlerden daha üst konuma yerleştiren hem geleneksel hem de çağdaş değerler vardır. Bu değerler çevre ahlakının bir bölümünü oluşturmaktadır. Buna göre, insanın diğer canlı türlerini ve dünyayı korumaya yönelik bir görevi de olduğu ileri sürülmektedir.

Çevre ahlakı, farklı insanların çevre yönetimi ile ilgili farklı bakış açılarına (örneğin dini ve kültürel açılardan) sahip olabilecekleri bir yaklaşımı yansıtır. Bu yaklaşım kendimize nasıl davranıyorsak diğer

canlı türlerine ve çevreye de aynı şekilde bir yaklaşım göstermemiz gerektiğini belirtir. Bu bakış açısı, diğer canlı türleri ile insanı eşit düzeyde tutan bir felsefedir. Dolayısıyla çevre ahlakı savunucuları, çevre yönetimi hususunda sadece çevreden bencil amaçlarla yararlanmak için değil, insanın doğrudan çevrenin bir bileşeni olduğu ve bu çerçevede çevrenin iyiliğine ve geleceğine odaklanarak daha dikkatli ve özenle düşünülmesi gerektiğini ileri sürmektedirler.

Çevre ahlakı yeni bir kavram değildir. Sanayileşmiş toplumları, çevreye bakış açılarını sürekli olarak teknoloji odaklı tutmaya büyük özen göstermişlerdir. Bu bakış açısı teknolojik gelişmeler ile çevreye **"boyun eğdirilebilir"** yaklaşımını içermektedir. Bugün batı toplumlarında çevre ahlakının önemini gözeten bir anlayış yeniden canlanmıştır. Dünyada birçok insan çevreye özen göstermenin ve bakımını üstlenmenin bir görev olarak kabul edilmesi gerektiğine inanmaktadır. Dolayısıyla, çevre yöneticilerinin farklı toplumların sahip oldukları çok farklı değerleri ve çerçeveleri önemsemeleri yaşamsal bir öneme sahiptir (Hargrove, 1989).

Çevre yönetiminde sadece kendimize ait tutum ve davranışları değil, aynı zamanda başkalarının tutum ve davranışları da göz önüne alınmalıdır. Bu duruma iyi bir örnek **mülkiyetlerin trajedisi** (Harding, 1968) olarak gösterilebilir. Bu trajedi, herkesin kullanabildiği ortak bir merayı temsil eder. Her çiftçiden olabildiğince çok sayıda büyükbaş hayvanlarının bu ortak merada tutmaya çalışması beklenmektedir. Bunun nedeni de akıllı bir insan olarak tüm çiftçilerin kazancını en yüksek düzeye çıkarmak için gösterilen çabadır. Çiftçi kendi kendine şunu soracaktır "Sürüme bir hayvan daha eklememin bana ne faydası ya da ne zararı olur?".

Oysa bu biçimde bir davranış türü benimsenmesinin bir olumsuz bir de olumlu tarafı vardır. Olumlu tarafı bir hayvan artırmaya yönelik duyulan istektir. Çiftçi ek bir hayvanın satışından kazancı olacağı için olumlu yarar yaklaşık +1 dir. Bununla birlikte olumsuz tarafı ise fazla bir hayvan tarafından yenen otun yok olmaya yol açması da -1' dir. Paylaşılan bu otlak alanda diğer tüm çiftçilerin de bir hayvanını fazladan otlatmasının etkilerini düşünürsek, kendi kendine bu şekilde karar almış çiftçilerden herhangi birinin yarattığı olumsuz etkilerin toplamı -1'lerin toplamı kadar olacaktır.

Olumlu ve olumsuz yönleriyle kendi açısından akılcı düşünen bir çiftçi şu sonuçlara varacaktır: Sınırlı merada çok büyük çapta gereğinden fazla hayvan otlayacaktır. Zamanla tüm bitki örtüsü ortadan kalkacaktır. Bu nedenle hiçbir hayvan hayatta kalmayacak ve çiftçilerin geliri de toptan yok olacaktır. Toplumun tüm bireylerinin yararlanacağı doğal kaynakların serbestliğine inanan bir toplum kendi çöküşünü kendisi sağlamış olacaktır.

Bu örnekleme, tüm insanlara, sanki atmosfer ve okyanuslar sınırsız kaynaklarmış gibi kirletici maddeleri atmosfere ya da okyanuslara ne zaman ve nerede olurlarsa olsunlar ve ne miktarda kirletici olursa olsun boşaltma izni verilmesi ile aynı şeydir. "Ben çöp kutusuna bir tane daha plastik karton atsam, bu bir şeyi fark ettirir mi? Bir tane daha atmamın bir zararı olacağından emin misiniz?" şeklinde düşünen bireylerin düşünce biçimi de aynı şeydir. Sonuç olarak, Dünya'da sınırlı olan kaynaklar vardır. Bu nedenle de sınırlı olan bu kaynaklar iyi yönetilmelidir.

İnsanlara ne isterlerse yapabilecekleri bir özgürlük sağlanması tüm insanlığı sadece felakete götürecektir. Değişen çevre koşullarına uygun, uygulanabilir faaliyetlerin sonuçlarını kapsamını, maliyetlerini, risklerini, belirsizliklerini ve izlenecek her seçeneğe ait kapsamı, maliyeti, riskleri ve belirsizlikleri ayrı ayrı her seçenek özelinde belirlemek ve uygun olan seçeneği uygulamak için gereksinim duyulan arabuluculuk ve düzenleme için çevre yönetimi zorunludur (Lawrence ve diğerleri, 1998).

Yönetilen çevresel değişimin türleri

Genel olarak "yönetilebilir" üç tür çevre değişimi vardır:

1. Doğal çevresel değişim,
2. İnsan kökenli yapay çevresel değişim, 3. Yerel değişim ve uygulamaları.

Doğal çevresel değişimi tersine çevirecek ya da yapısını değiştirecek olanaklar ve değişimi sürdürülebilir bir biçimde tasarlayan herhangi bir doğal yetenek yoktur. Belli bir bölge ve yere ait olan, yerel müdahalelerin dışındaki olanaklar sınırlıdır. Örneğin İngiltere'nin kuzeyindeki kara kütlelerinin

binlerce yıl buz ağırlığı altında kalması sonucunda kısmen de olsa oturmalara yol açan kuvvetler İngiltere'nin güneydoğu yarısının kıyı şeridinde taşkın riskini artırmış ve bu risk devam etmektedir. Böyle bir durumda **"başa çıkma stratejileri"** devreye koyulabilir. Çizelge 2'de İngiltere'nin güneydoğu kıyılarındaki taşkınlara yönelik başa çıkma stratejileri ve her seçeneğin olumlu ve olumsuz yönleri liste halinde verilmiştir. Seçeneklerin listesi, olumlu ve olumsuz asla dört başı mamur değildir. Fakat bu görüntü uygulanabilir müdahale biçimlerini gösteren örnekleri de içermektedir.

Çizelge 2. İngiltere'nin doğu kıyılarındaki taşkınlara yönelik önlemler.

Taşkınlara yönelik önlemler	Olumlu yönleri	Olumsuz yönleri
Deniz duvarları ve benzeri mühendislik yapıları	Hızlı uygulama Tanımlanan faaliyet Mevcut kullanımı alıkoyma	Kaba Sel potansiyeli artar Pahalı
Sahil bakımı (kum ekleyerek)	Hızlı uygulama Doğal değeri korur	Düzenli faaliyet gerekli Sorgulanabilir sürdürülebilirlik
Arazi kullanımı	Uzun vadeli canlılık Tanımlanabilir risk	Kullanılan değişim Mevcut iş kaybı
Sigorta	Sermaye yok Hükümet harcamaları yok Bireysel sorumluluk	Uygunluk? Pahalı
Yöneterek geri çekilme (denizin karaya ilerlemesine izin verme)	Sürdürülebilir bir savunma Biyo-çeşitlilik sağlar Harcamaları azalır?	Kullanılan değişim Tahmini kolay olmayan gelir
Etkin önlem yok	Sermaye yok Bireysel sorumluluk?	Eşgüdümün zayıflığı Uzmanlığın eksikliği

Çevresel değişimin yönetimini irdelerken sistemin ne kadarlık bir zaman boyunca yönetileceği de dikkate alınmalıdır. Bugün sadece mevcut durumla baş etmek için harekete geçilmesi uzun vadede yeterli olmayabilir. Örneğin deniz düzeyleri yükselmeye devam etmektedir. Uzun vadeli yönetime duyulan bu gereksinim **"sürdürülebilir kalkınma"** çerçevesinde sınıflandırılması zorunluluğuna yol açmıştır. Sürdürülebilir kalkınma sadece günümüzde mevcut nüfusun adil gelir dağılımını değil, aynı zamanda gelecek nesillerin de adil gelir dağılımına sahip olmasını hedefler. Sürdürülebilir kalkınma bugünkü nüfusun gereksinimlerini karşıladığı gibi, aynı zamanda gelecek nesillerin de bu gereksinimlerini tehlikeye düşmeden karşılayabilmesini güvence altına alan bir kalkınmadır (Dünya Çevre ve Kalkınma Örgütü, 1987). Sürdürülebilir kalkınmanın yapısında, çevrenin korunmasını da içeren daha ileri görüşlü ve kapsamlı sosyal ve ekonomik bir işlevi vardır.

İnsan kökenli (beşeri) değişim ya da insan faaliyetlerinden kaynaklanan değişim, doğal süreçlerin yarattığı değişimden genellikle daha hızlıdır. İnsan kökenli değişim (asit yağmurları, aşırı balık avlanma, ormanları tahrip etme, akarsuyun yönünü değiştirme ve benzerleri gibi) yaygındır. İleri boyutlu değişim, hem insan kökenli hem de doğal değişim sonucunda meydana gelen çölleşmedir. Çoğu durumlarda değişim döngüsel olmaktan çok, tek yönlü olup geri dönüşü olmayacak biçimdedir. Çevre yönetiminde iki ana seçenek gözetilebilir:

i. Mevcut başa çıkma stratejilerini kullanarak doğal değişimi yönetmek, ii.

Çevresel değişimi yaratan süreçleri denetlemek,

Elbette çevresel değişim sürecinin geri dönüşü mümkün olduğu bir evrede, söz konusu değişim denetlenebilir. Daha önemlisi de siyasi, yasal ve ekonomik iradenin çevresel değişimi arttıran faaliyetleri engellemek için kararlı bir biçimde var olduğu kabul edilmektedir. Eğer çevrebilimci, faaliyet öncesi ile sonrasında olan değişim arasındaki ilişkiyi, basit ve açık bir şekilde belirleyebilirse ve olası değişimin

üzerine çok ciddi şekilde gidilmesi gerekiyorsa; bu sorun siyasi, yasal ve ekonomik iradenin kararlı bir şekilde sahip çıkması ile aşılabilir. Böylece, sorunları belirleme ve denetim hususunda fiziki coğrafyanın bilim dalları ile çevre yönetimi birbirini tamamlar. Ancak her iki alanda çalışanlar birbirinin katkısının bilincinde olmalıdır.

Yerel düzeyde insanın çevrede değişiklikler yapma gücü vardır. Örneğin yüzyıllardır ya da daha fazla bir zaman diliminde (en azından Nil ve Fırat, Dicle, Syr Darya, Amu Darya nehirleri için bin yıldır) akarsuların kıyıları arazideki yerleşim ve kullanımına uygun biçimde tasarlarken, bu akarsuların akışlarını da sağlayan düzenlemeler yapılmıştır. Bununla birlikte akarsuların düzenlenmesi konusunda yeterli bilgi birikimi olmadığından, insanlar tarafından oluşturulan barajların mansabına çok kısa süreler içinde büyük miktarda su vererek taşkınlara yol açmıştır. Bu akarsular, giderek jeomorfolojik süreçlerle ilgili daha başka sorunlara da yol açmaktadır.

Örneğin bir akarsu, daha yatay konuma erişmek üzere yatağını, sol ve sağ sahillerini daha fazla aşındırabilir. Yatay konuma gelmekte olan alanda ortalama eğim menderes tarafındaki eğime göre artmış olur. Böylece akımın sürükleme gücü daha artar. Bu artan güç mühendislik yapılarının (örneğin köprü ayaklarının) altını oyar. Bu da menderesin birleşim yerinin mansap tarafından daha fazla çökel birikmesine yol açar. Menderesin mansap kısmındaki akarsu yatağının çökellerle dolması, suyun taşıma kapasitesini azaltır. Böylece akarsuyun yatağından daha kolay taşmasına dolayısıyla da taşkınların artmasına neden olur. Dolayısıyla söz konusu süreçlerin ışığında çevre değişim planlarını geliştirmek önemlidir.

YÖNETİMİN ARAÇLARI

Çevre yönetiminin gereksinimleri basittir. Yönetimin, herhangi bir eylemin etkilerinin kapsamını bilmeye ve hızını ölçmeye gereksinimi vardır. Sonuç olarak önce tanı koymak gerekir. Genelde bu tanı insanlardan ya da doğal süreçlerle ilgili olabilir. Çevre yönetimi, açık ve net bir şekilde olumsuz bir tepki olmayacak bir değişim yaratmak için ya da diğer faaliyetlerin etkilerini tersine çevirmek ya da herkesten önce denetlemek için düzenleyici işlemler gerektiğini ortaya koyabilmelidir. Dolayısıyla çevre yönetiminin gereksinim duyacağı ilk şey, öngörebilmek olmalıdır. Daha sonra, istatiksel ve sayısal modelleme, çevre değişimi ve yönetimin etkilerini kestirmede yardımcı olabilir.

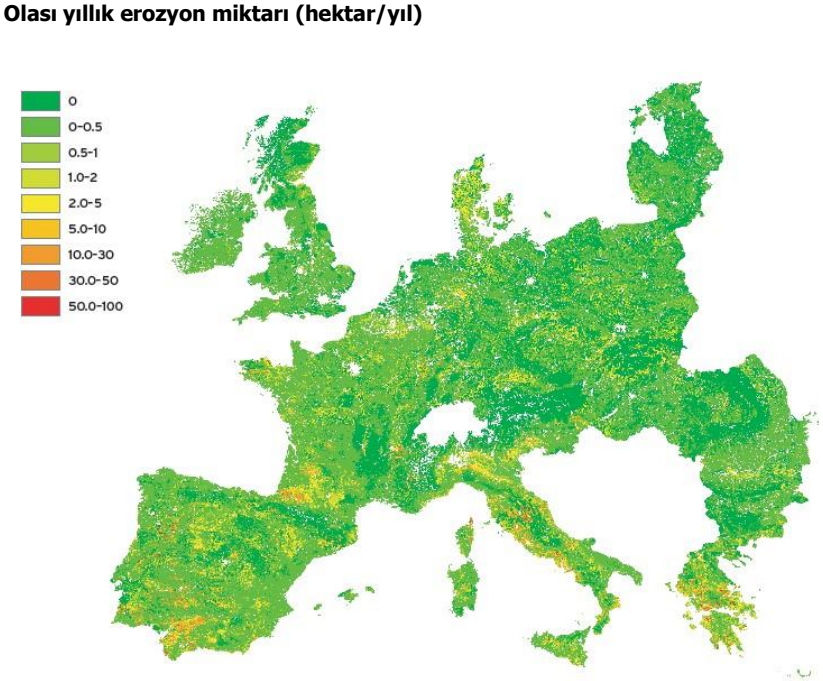
Tehlikelerin değerlendirilmesi

Şev duyarlılığı, çözücüler, tektonik ve fiziki coğrafyanın birçok çalışma alanları bize çevresel tehlikelerin riski hakkında bir fikir sahibi olmamızı sağlamaktadır. **Risk,** bir tehlikenin olası tekrarlanma aralığı (örneğin 1000 yılda bir kez biçiminde) ve bu tehlike gerçekleştiğinde vereceği hasar saptanarak değerlendirilmelidir. Bundan dolayı, çevre yönetiminde bu tehlikeleri oluşturan riskleri öngörebilmek ve çevresel tehlike ve riskler hususunda bilinçli olmak zorunludur. Tehlikeleri öngörmek ve değerlendirmek için bir takım araçlar vardır. Fakat bunların çoğu tehlikenin olduğu evreye ve tehlikenin kendisine özgüdür. Örneğin kentsel yerleşimlerin deprem riskine karşı tanı koymaya yönelik modelleme çalışmaları, ya da yamaç kayması oluştuğu andaki duyarlılığın ne olacağının belirlenmesi, zeminin o andaki su içeriğinin ne olduğu gibi yerel bilgilere bağlı bir konudur. Örneğin, karda, etkin gerilme kar tanelerinin (suyu hiç gözetmeden) birbirine tutunmasıyla tanımlanır. Su, bu gerilmeyi sıfıra indirdiği an yamaç kayacaktır (Şekil 8).

Bu tehlikeleri tanımlamada soruna yaklaşım genelde üç boyutlu olarak ele alınır. Adı koyulan bir çevresel sorunla ilgili riskli bölgelerin haritalanması önemlidir. Örneğin, Şekil 9'da Avrupa'daki toprak erozyonu riskini gösteren bir harita sunulmuştur. Bu tehlike ve risklerinin değerlendirmesi yapıldıktan sonra öncelikle risk içeren alanlara yönelik yönetim stratejileri çerçevesinde bir bütçe (ve gerekiyorsa yeni bir yasa çıkartılması) gerekmektedir. Bunun için karar vericilere, bu tehlikeye ilişkin değerlendirme sonuçlarının sunulması gerekir. Örneğin, yüksek risk altındaki alanların, hayvan otlatma sürelerinin azaltılması, yeniden ağaç dikilmesi ya da başka teknikler kullanılarak korunması gerekebilir (Kirkby, 2001). O zaman yapılan bu tehlike değerlendirmeleri izlenen çevre yönetim politikalarını haklı kılabilir. Örneğin belirli duyarlı alanlarda toprak erozyonunu önlemeye çalışmak için bir bütçenin oluşturulması ya da riskli olan bir alandan (örneğin yamaç kayması olasılığı olan ya da kirleticilerin yayılma riski de olabilir) insanların uzaklaştırılması birer çözümdür.



Şekil 8. İnsanları tehlikeden korumak için çığları tanımlamak ve çığın oluşabileceği zamanı tahmin etmek mümkündür. Yukarıdaki görüntüsü sunulan çığ Nepal Pumori'de meydana gelmiştir (Christophe Boisvieux / Corbis).



Şekil 9. Avrupa için olası erozyon oranlarını gösteren harita (Brian Irvine ve AB PESERA Projesi).

Çevresel etkinin değerlendirilmesi

Çevresel sistemlerin karmaşık bir yapısı vardır. Çevresel sistemin bir bileşenindeki küçük değişimler başka hiçbir yerde öngörülmeyen sonuçlar doğurabilir. Olası etkilerin karmaşıklığını göstermek için çevre yönetimleri, bir projenin ya da insanın etkilerini tam olarak tanımlamaya çalışan bazı değerlendirme teknikleri geliştirmişlerdir. Bilindiği üzere bu çalışmalar başlangıçta **Çevre Etki**

Değerlendirmesi (ÇED) olarak tanımlanmıştır. ÇED, bir çevre yönetiminin yaşamsal öneme sahip araçlarından biridir. Önerilen projenin özelliklerine bağlı olarak birçok ülkede ÇED yasal açıdan zorunludur (Petts, 1999).

Bununla birlikte, fiziki çevreye odaklanmış, ancak bazı unsurların dışlandığı ÇED uygulamaları hazırlama biçimleri ve yürürlükteki yasalara göre birbirinden farklı ÇED uygulamaları, bu raporlarının farklı biçimde hazırlanmasına yol açmıştır. Böylece **çevre teknoloji değerlendirmesi** (olası çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri için yeni bir teknoloji belirlenmiştir), **sosyal etki değerlendirmesi** ve **sağlık etki değerlendirmesi (SED)** gibi yapılar ortaya çıkmıştır. Çevre yönetimi, çevresel sorunlara tanı koyarken ve etkileri bir araya getirip sayısal olarak belirlerken çevre sorunlarının olduğu "alan" dan bağımsız düşünmek zorunda da kalabilir. Yani, etki değerlendirme türüne göre bir içerik belirleme çalışmasına gereksinim duyulacağı açıktır.

Çevresel, sosyal, stratejik ve sağlık etki değerlendirmesi gibi tüm etki değerlendirme biçimlerinin genel özellikleri benzer de olsa hepsinin kendine özgü değerlendirme yöntemleri vardır. İlk evrede hepsinde bir ön eleme ve kapsam belirleme süreci yer alır. Çünkü her şeyden önce bir değerlendirmeye gerek olup olmadığına bakılıp, eğer gerek varsa araştırmanın sınırları tanımlanır. Hepsinin yakın ya da uzak gelecekte (çevre yönetiminin önerdiği müdahaleden önce) doğada olması beklenen olası etkilerin gerçekleşmesi gerekir. Bundan dolayı ÇED bir ön eleme aracı olarak da görülebilir. Uygulamalar, ÇED, kontrol listeleri ve veri tabanları hazırlanarak yapılır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Gloucester de Severn akarsuyu için üç farklı yönetim seçeneği için oluşturulan çevresel etki değerlendirmesi matrisleri: (a) Hiçbir şey yapılmadığında; (b) Mevcut setlerin yeniden onarılması; (c) Yeni setlerin inşa edilmesi.

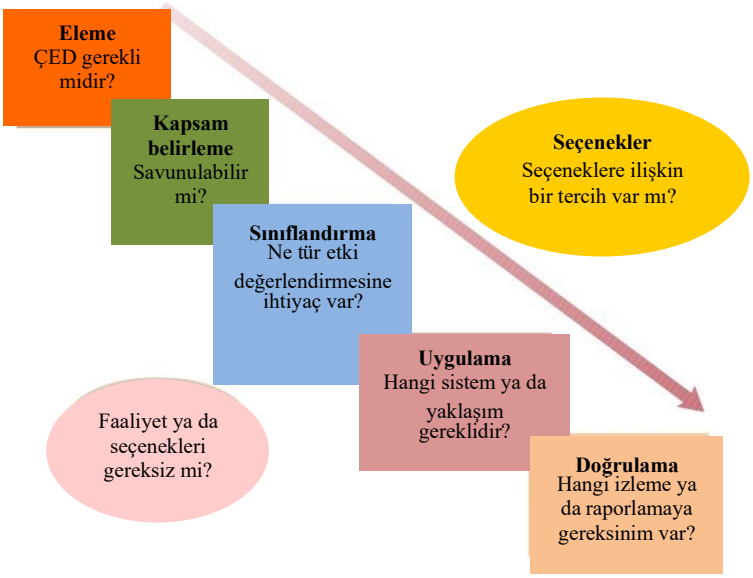
Seçenekler ve Olası etkilerin tanımlanması	**bileşenleri**	**Etki**	**Etkinin önemi**	**Notlar**
		Zarar	Büyük	
(a) Hiçbir şey yapılmadığında İnsanlar	Sel artışı			Sonucunda mevcut önlemlerden dolayı eylemler olabilir (bakım eksikliği nedeniyle) . Artan sel yaşam kalitesinin büyük oranda bozulmasına neden olacaktır (geniş kapsamlı, geçici ve kalıcı etkiler) .
Bitkiler ve hayvanlar	Sel artışı	Habitat değişimi	Orta	Habitatlar sel rejimlerinin değişmesi ile değişebilir - pozitif veya negatif olabilir – (habitatların kayıp ve yerine ne kurulduğuna bağlı olarak). Sellerin olabileceği alanlarda sulak alan teşvik olabilir.
Hava ve iklim	Sel artışı	Etki yok	Yok	
Görsel güzellikler	Sel artışı	Değişim	Orta	Mevcut görünü (olumlu veya olumsuz) değişebilir.
Su	Sel artışı	Su kalitesinin düşme riski olasılığı	Büyük	Kirlenmiş toprak, seller aracılığı ile önemli ölçüde su kalitesini etkileyebilir (Örneğin Hempstead deponi sahası).
Arazi kullanımı	Sel artışı	Değişim	Büyük	Artan sel mevcut arazi kullanımı ve ekonomik değeri (olumlu veya olumsuz) değiştirebilir. Kalkınma kısıtlanmış olabilir. Sel yönetimini desteklemek için tarım-çevre programlarının kullanılması yardımcı olabilir Bazı olumsuz değişim ofset.
Kültürel miras, arkeoloji ve maddi gereçler	Sel artışı	Zarar	Büyük	Yüzey varlıklar daha sık su basmış olabilir ve sonuç olarak zarar görebilir. Yer altı varlıkları olumsuz veya olumlu süresindeki değişimlerden etkilenmiş olabilir ve sel sıklığı.

Trafik ve ulaşım	Sel artışı	Hasar	Büyük	Mevcut ulaşım yolları daha sık yaşanabilir - ilişkili bozulma trafiğe sahip.
Toprak, jeoloji ve hidrojeoloji	Sel artışı	Yer altı suyu kalitesinde azalma	Büyük	Kirlenmiş toprak yeraltı suyu kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir (Örneğin Hempstead deponi sahası).
Doğal kaynakların kullanımı	Sel artışı	Etki yok	Yok	
(b) Mevcut setlerin yonarılması				
İnsanlar	Sellerdeki artışın yönetimi	Belirli alanlar için taşkın mücadele	Ortabüyük arası	Yararlar, gerçekleştirilen ek sel depolama miktarı ile orantılıdır. Binalar üzerindeki etkileri en aza indirmek için seçilmesi gereken alanlar.
Bitkiler ve hayvanlar	Bazı bölgelerde daha sık sular altında	Değişim	Ortabüyük arası	Önemli sulak yaşam yaratılması için fırsatlar. Önemi alana bağlıdır. Mevcut karasal habitatlar olumsuz olarak etkilenebilir.
Hava ve İklim	Sellerdeki artışın yönetimi	Yok		
Görsel güzellikler	Bazı bölgelerde daha sık sular altında	Değişim	Orta	Var olan görünümün dereceli değişimim ile sulak alan ya da benzeri alan oluşturma.
Su	Sellerdeki artışın yönetimi	Su kalitesi üzerinde etkisi yok	Küçük	Zararlı gereçlerin sel sularına salınımını önlemek için seçilen alanlar.
Arazi kullanımı	Sellerdeki artışın yönetimi	Değişim	Orta	Arazi yönetim rejimleri değişikliği deneyim olabilir. Tarımsal çevre programlarının geçişi destekleyebilir. Çekildiler alanlarda gelişimi için Kapsam azaltabilir. Alanlar etkisini en aza indirmek için seçilmiş olacaktır.
Kültürel miras, arkeoloji ve maddi gereçler	Sellerin daha sık olduğu bazı alanlar	Değişim	Orta	Islak / kuru döngüleri değişiklikler bazı eserler bozulmasına yol açabilir. Alanlar bilinen karasal ve gömülü kalıntıların üzerindeki etkisini en aza indirmek için seçilir. Uygun gördüğü yerlerde potansiyel zararı azaltmak için inşaat sırasında kullanılan kısa izliyorum.
Trafik ve ulaşım	Sellerdeki artışın yönetimi	Trafik ve ulaşım üzerinde etkisi yok	Küçük	Etkilerden korunmak üzere seçilebilen alanlar.
Toprak, jeoloji ve hidrojeoloji	Sellerdeki artışın yönetimi	Yeraltı suyu girişinde olası artış	Küçük	Zararlı gereçlerin yer altı sularına girişini önlemek için seçilebilen alanlar.
Doğal kaynakların kullanımı	Savunma setlerinin inşası	Kaynakların kullanımı	Küçük	Yeniden kullanılabilen mevcut dolgu gereçleri.

	edilmesi	Sel nedeniyle oluşan bozulma ve gerilim gibi faktörlerde azalma	Büyük	
(c) Yeni setlerin inşa İnsanlar	Sellerde yerel azalma			Diğer seçenekler yeterli değilse tercih edilir. Sel üzerinde başka yerlerdeki etkileri de incelenmelidir.
Bitkiler ve hayvanlar	Sellerde azalma Yapıların inşası	Habitatlarda değişim Hasar	Büyük	Taşkın frekans azalma mevcut habitatlar (olumlu veya olumsuz) etkiler. Yeni bir savunma inşaat sırasında zarar olasılığı mevcut habitatlar - başka bir yerde yeniden yaratılması bir ölçüde hafifletilmiş olabilir.
Hava ve İklim	Sellerde azalma	Yok		
Görsel güzellikler	Sellerde azalma Yapıların inşası	Değişim	Büyük	Mevcut uzun izleme, yerel peyzaj ve yeni savunma tarafından değiştirilmiş olması muhtemeldir nehir manzarası. Olasılıkla peyzaj kademeli değişim arazi az sıklıkla sular altında eğer.
Su	Sellerde azalma	Su kalitesi üzerindeki riskin azalması	Büyük	Duyarlı/ kirlenmiş yerler böylece daha yaşanabilir. Yüzey suyu kalitesi bulaşma riski azaltılabilir Savundu alanların yüzey suyu sel artmaz böylece savunma ile Drenaj yeterli olması.
Arazi kullanımı	Sellerde azalma	Mevcut arazi kullanımı üzerinde riskin azalması	Büyük	Arazi kullanımı mevcut çok az sel, uzun vadeli etkileri, örneğin deneyim olabilir sigorta yanıklığı, azalabilir. Arazi daha az sıklıkla sular ise arazi kullanım çeşitlendirilmesi için fırsatlar olabilir ancak, taşkın kalkınma sıkı kontrolüne ilişkin Çevre Ajansı politika alanında savunuldu bile muhafaza edilecektir.
Kültürel miras, arkeoloji ve maddi gereçler	Sellerde azalma Yapıların inşası	Değişim Hasar	Büyük	Mevcut varlıklar (gömülü) döngüsü ıslatma / ağlama değişim yaşaması muhtemeldir, Hangi Onların korunması etkileyebilir. Karasal varlıkların az sık sel deneyim olabilir. Defans inşaat varlıklar (gömülü veya karasal) zarar verebilir.
Trafik ve ulaşım	Sellerde azalma	İyileştirme	Büyük	Sellerin oluşumu nedeniyle oluşan trafik ve ulaşım aksaklıklarının azalması.
Toprak, jeoloji ve hidrojeoloji	Sellerde azalma	Değişim	Küçük	Sel sularının siltleri, tarımsal arazileri verimini artırmak için kullanılabilir. Sel azaltılması ise silt birikimi de azaltabilecek - Bu da bir yan etki olarak kabul edilebilir. Sellerin azaltılması, hasarları da önler.
Doğal kaynakların kullanımı	Yapıların inşası	Kaynakların kullanımı	Küçük	Geri dönüşümlü ve ikincil gereçlerin mümkün olduğu yerlerde kullanılması.

Bu kontrol listeleri ve veri tabanları hazırlanırken tüm doğa kaynaklı olayların incelendiğinden emin olunmalıdır. Ayrıca, faaliyetin etki alanı, şiddeti, maliyeti, geri dönüşü olup olmadığı ve uzun süreli olup olmayacağı gibi konular açıklığa kavuşturulduktan sonra soruna doğru tanı koyulmalıdır.

ÇED'in önemli aşamaları Şekil 10'da sunulmuştur. Ön elemede ÇED'e gerek olup olmadığı belirlenir. Eğer gerek varsa önce kapsamı belirlenir. Daha sonra diğer aşamalarda gereksinim duyulan bilgilere karar verilir. Ön elemeden sonra, kapsam belirleme, konum ve yasal açıdan araştırmanın sınırlarını belirlemek ve söz konusu sınırları, alt bölümlere de ayırarak daha da ayrıntılara girişilir. Üçüncü aşamada etki değerlendirmesinin türünün tanımının yapılması (stratejik, sosyal, çevresel, sağlık gibi) gereklidir. Dördüncü aşama ÇED'in uygulanmasıdır.



Şekil 10. Bir çevresel etki değerlendirmesinde temel aşamalar.

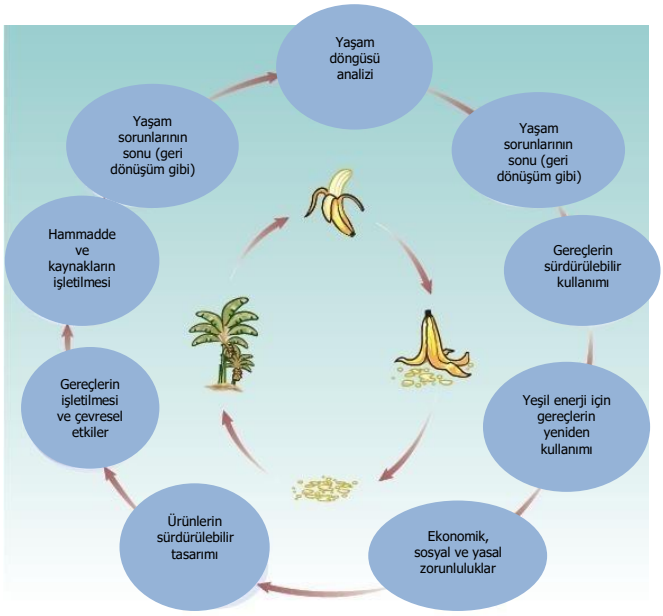
Uygulamada analizi yapacak uzmanların işlerini gecikmeden yapabilmesi için bir kontrol listesi formu hazırlanır. Analizi yapan uzman buraya olası her etkinin unsurlarını not eder. Örneğin bu kontrol listesine yazılan bilgi kirletici bir sıvı, gaz ya da iri parçalı katı bir madde olabilir. Beşinci aşama rapor hazırlama ve incelenen alandaki olayların yönünü sürekli izleme ve denetleme aşamasıdır. Bu aşamaların ÇED'in amacı çevre yönetimi kararlarının tutarlı bir yapıya kavuşturulması içindir. Bu aşamada farklı yerlere ait benzer projelerin sonuçları arasında kıyaslamalar yapılabilir. Açık ve net kararların verilmesi gereken durumlarda, başka insanların, söz konusu karara nasıl vardığını görmelerine de olanak sağlanır.

Sağlık Etki Değerlendirmesi (SED) raporları, ÇED'in yeni bir biçimi olup, olağan ÇED raporlarından belirgin bir şekilde farklı olarak halkın gündemini oluştururlar. Bu raporlar yönetim tarafından geniş çapta kabul görmüştür. SED raporları bir nüfusun sağılığı üzerindeki potansiyel etkiler hususunda bir proje, program ve politikalar çerçevesinde bir yargıda bulunulmasını sağlayan araçların, süreçlerin, yöntemlerin bileşimidir. İnsan sağlığı üzerindeki çevresel etkiler nüfusun tümünde izlenebilir (Dünya Sağlık Örgütü, 1999).

Bu yöntemlere dünya çapında destek ve onay verilmektedir. Çevresel değişim ile ilgili yürütülecek politikalar yerel düzeyde değil, küresel düzeyde büyük çaplı politikalardır. SED raporlarına gereksinim açıktır. Sağlık, fiziksel ve ruhsal olarak toplum içinde mutlu olabilme, yani sosyal olarak iyi olma halidir. SED, içinde sürdürülebilir kalkınma ilkelerinin olduğu bir süreçtir. SED, giderek gelişmekte ve sürdürülebilir kalkınma ilkelerine ait daha net görüşleri de yapısına almıştır. Birçok ekonomik, sosyal ve çevresel (ek olarak doğasında var olan biyolojik) faktörler bireylerin ve toplumun sağlığına etki eder. Örneğin, kişisel koşullar, yaşam biçimleri, sosyal ve fiziksel çevre sağlığına etki eder. Her faaliyetin eğitim, gelir düzeyi, işsizlik, kişinin kendi davranışları, kültürü, sosyal destek ağları, halkın katılımı, hava kalitesi, barınacak yer, yaşanan kentin suç durumu, kentsel tasarım ve ulaşım üzerinde etkileri vardır. Ayrıca tüm bunlara ek olarak SED çalışmalarının, herkesin aynı sağlıklı yaşam kalitesinden yararlanmasını sağlamaya çalışan manevi ve ahlaki bir boyutu da vardır.

Maliyet

Etki değerlendirme ve öngörü bir araya getirildiğinde **yaşam döngüsü analizlerinin (YDA)** gelişimine olanak sağlanmış olur. Çevre yönetimi kavramın gerçek doğasını anlama yeteneği ile ilgili ilginç bir soru gündemdedir. Çevre yönetimi doğada insan tarafından yaratılmış bir etkinin dallanıp budaklanan tüm alt bölümlerini öngörecek bir çerçeveye sahip midir? Yoksa doğrudan sonuçlarını görme eğiliminde midir? Ya da olayın gerçek doğasını anlama yeteneklerini hesaba katmadan olayı gelecekte yaratabileceği etkilerden sadece bir kaçı ile sınırlı sorunu bitirme eğiliminde midir? Bir çevre yönetiminin eksik yönlerini tanımlamak için yapılan birçok çalışmanın ışığında yaşam döngüsü analizlerinin (YDA), yönetim faaliyetlerinin ya da müdahalesinin değerlendirilmesinde, kapsamlı olarak kullanılabilecek bir araç olduğu görülmüştür. Yaşam döngüsü analizleri (YDA) bir ürünün üretilmesi, kullanılması ve atık olarak uzaklaştırılması aşamalarına kadar tüm süreçleri inceler (Şekil 11).



Şekil 11. Yaşam döngüsü analizi (Üretimin ve tüketimin dengelenmesi).

Yani üretimin başlangıcında doğadan hammaddenin alındığı andan, çöp olarak atıldığı ve ekosistemin artık bir parçası olana kadar geçen tüm süre yaşam döngüsü analizlerinin (YDA) inceleme konusudur.

Yaşam döngüsü analizlerinin (YDA) temel amacı, belli bir ürünün tüm çevresel etkilerini değerlendirmek ve belirlemektir (Ciambrone, 1997). Bu bir tür, bir bireyin, bir firmanın ya da bir ülkenin yaşamını sürdürmesi için biyosferde ne kadar bir alana gereksinim duyacağını hesaplamaya, yani **ekolojik ayak izini** belirlemeye benzer. Gelgelelim yaşam döngüsü analizlerinin (YDA) zorluğu "değerlendirmeye tabi tutulacak değişkenlerin" belirlenmesinden ileri gelmektedir. Doğal sistemlerin çoğunun kendilerine yapılan etkileri sönümleme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Gereksinim duyulan bu kapasitenin ölçülmesidir. Bu nedenle temel bilgilerin sağlanması için fiziki coğrafya biliminin ayrıntılı çalışmalarına gereksinim vardır. Örneğin ekolojik ayak izi olarak, ortaya çıkan karbon miktarı gibi göstergeler de kullanılabilir. Çoğu zaman fosil yakıtlar, temel besinler gibi çoklu kaynaklar kullanılmaktadır.

Oysa ekosistemde geri dönüşümü binlerce yıl süren (nükleer atıklar gibi) maddeler de kullanılmaktadır. Çevre yönetimleri diğer sektörlerdeki tüm yönetimler gibi istediklerini yapmada özgür değildirler. Çevre yönetimleri yapılan faaliyetler için bir kaynağa gereksinim duyarlar. Yapılan faaliyetlerin bir gerekçesinin olması gerekir. Ayrıca, çevre yönetiminin bir seçeneği üzerinde anlaşmaya varılmış olması gereklidir. Tüm faaliyetlerin sınırlı bir bütçeden yapıldığını ve çevre için harcanan paranın diğer harcamaları da kısacağını düşünürsek, karar vericilerin önüne bir fayda-maliyet hesabı ile çıkılması faydalı olacaktır. **Çevre ekonomisi** sadece kendi çabası ile sınırlarını genişleterek önemli bir bilim dalı olmuştur. Faaliyetlere dair yaşam döngüsü analizleri (YDA) yukarıda belirtilen fayda-maliyet hesabı ile birleştirildiğinde, ortaya çıkan yaklaşımın adı **tüm yaşam dönemi maliyeti** olmaktadır.

UYGULAMA

Etkin bir uygulama olmaksızın, yukarıda tartışılan çevre bilimi ve yönetimi yaklaşımları boşunadır. Uygulamaya giden yolda iki önemli unsur vardır:

i. Uzlaşmanın sağlanması,
ii. Projenin yönetimi.

Aşağıda, bu iki unsur ele alınmaktadır.

Uzlaşmanın sağlanması

Bir faaliyet için görüş birliğine varılması yaşamsal öneme sahiptir. Ancak bu da zaman alıcıdır. Konu ile ilgilenen tüm taraflara danışılması ve herkesin kendisine danışıldığını hissetmesi gerekir. "Konu ile ilgilenen herkesin" tam olarak belirlenmesi çok basit değildir. Her bilim dalının olaya kendine özgü bir bakış açısı vardır. Geçmişte de mühendisler birbirlerine danışmışlardır. Politikacılar da diğer politikacılarla çeşitli konulara dair görüşmüşlerdir. Bugün projeden yarar sağlayanların analizi adı altındaki bir süreç yardımıyla **'proje ya da programın uygulanabilmesi ile yarar sağlayacak insanlar ya da kurumlar'** tanımlanmaya çalışılmaktadır. Proje ya da programın uygulanması için projeden yarar sağlayacak insanlar, zümre ya da kurumların analizi, basit olarak ifade edilirse, proje ile ilgisi olan herkes ile yapılan görüşmelerden sonra, ortaya çıkacak sonuca göre yapılır. Bu uygulama bir politikacının bir kamu tüzel kişisini aşıp işin sahiplerini, danışman firmaları, tüketicileri ya da bir avukatın belirleyeceği sorumluluk sahiplerine kadar ulaşır.

Proje ya da programın uygulanması ile yarar sağlayacak insanlar ya da kurumların tanımını doğru bir şekilde yapmak demek uzlaşmaya varmanın temelini atmak demektir. Uzlaşma sürecinin tarafı olmayan kişilerden bir uzlaşma çıkmaz. Bu apaçık ortadadır. Çin Hükümeti, Kasım 2003'te HongKong limanının geliştirilmesi projesinde ilerleme kaydedemeyen iş adamlarına tazminat ödemiştir. Bu tazminat ödeme olayı, protestocuların önerilen geliştirme projesi ile ilgili olarak kendilerinin bir uzlaşma içinde olmadıkları ve bu anlaşmazlıklarının hukuka uygun bir şekilde gerçekleştirilmediği, söz konusu projeyi savunan taraflarla uygun bir tartışma ortamının projeden etkilenenlere sağlanmadığı kanısına varan mahkeme kararından sonra meydana gelmiştir.

Bununla birlikte projelerin ya da programların uygulanması ile yarar sağlayan insanlar ya da kurumları doğru tespit etmeyi başarsanız bile, tek taraflı katı bir tutumla proje ya da programın uygulanmasından zarar sağlayan insanlar ya da kurumlar ile uzlaşma sağlanması olası değildir. Gerçeği söylemek gerekirse böyle bir olguda, katı bir muhalefet ile karşılaşmak kaçınılmazdır. Eğer çevre yönetimi tarafından bu tek taraflı çözüm yaklaşımı resmen kabul edilirse, yargı yoluyla yasal süreçlerle sorunun çözülmesi gerekecektir. Ya da sorun, başka ülkelerin hukuku içinde ya da uluslararası hukuk süreciyle çözülecektir. Kuşkusuz bu gibi süreçler çok pahalıdır. Süreçlerin sonunda da olumsuz beklenmeyen durumlar ortaya çıkabilir.

- Örneğin çevresel incelemeler sonucunda bir uçak pisti geliştirme projesinden vazgeçilmesi ile istihdam azalabilir. Aynı projenin uygulanmasına izin verilmesi ise bu bölgedeki insanlar proje sahasındaki arazilerin değerlerinin çok daha altında fiyatlarla yok pahasına satıldığı iddialarını gündeme taşıyabilir.
- Benzer projelere karşı olan bir muhalefetin daha güçlü ve daha organize olması mümkündür. Çünkü muhalifler süreç içinde önemli dersleri öğrenmiş olacak ve geçmiş deneyimleriyle kuvvetlendirilmiş ya da önceki başarısızlıkları nedeniyle sertleşebilirler.
- Böylesi yasal süreçler çok pahalıdır.
- Anlaşmazlığın çözümü için hakeme başvurma ve yasal süreçler uzun sürebilir. Bu gibi süreçler sonucunda yerel kalkınma fırsatlarının yitirilmesi mümkündür. Çünkü insanlar bölgelerinin ne şekilde gelişeceğini ya da projenin, bölgeyi ne şekilde geliştireceği hakkında bilgi sahibi olmayabilirler.
- Uluslararası anlaşmazlık bir açmaza sürüklenebilir. Anlaşmazlığın çözümü için bir ülkenin bünyesinde bir mekanizma kurulabilir. Bununla birlikte uluslararası alanda bu gibi mekanizmalar çok azdır. Çok açık bir anlaşmaya varılsa bile bazen bir taraf anlaşmayı görmezden gelmeye karar verebilir. Yani tıpkı Amerika Birleşik Devletleri'nin Kyoto Karbon Anlaşmasını görmezden geldiği bir durum bile ortaya çıkabilir.

Yukarıda sunulan nedenlerle, faaliyetle ilişkili tek seçeneğin önerilmesi gelecekte olası uzlaşma beklentilerinin kurulmasından çok, faaliyetin çökmesine neden olur. Böyle bir yaklaşım yerine faaliyete ilişkin seçenekler üzerinde çözüm üreten görüşmelerin olmasında yarar vardır. Ancak gerçekte her iki yaklaşım (tek seçenekli çözüm ya da çok seçeneğin önerildiği çözüm) van Ast ve Boot'un (2003) tanımlamasına göre karar vermede katılımcılar üzerindeki basit iki görüşten ibaretmiş gibi bir izlenim var olabilir. Tarafların yönetim biçimlerinin, katılımcıların rolünün ve etkileşim biçimlerinin tümü Çizelge 4'de sunulmuştur. Bu çerçevede yönetimin davranış biçimleri ile proje ya da programın uygulanmasından yarar sağlayacak insanlar ya da kurumların rolü ile etkileşim içinde olduğu görülmektedir. Yukarıda tartışılan iki yaklaşım çizelgede "açık yetki" ve "katılımcı/temsilci" biçimlerine karşılık gelmektedir.

Çizelge 4. Yönetim biçimleri, katılımcıların rolü ve etkileşim biçimi (van Ast ve Boot, 2003).

Yönetim biçimleri	Katılımcıların rolü	Etkileşim biçimi
Kolaylaştırma	Başlatıcı	Etkileşim var
İşbirliği	İşbirliğinde ortak	
Temsil	Ortak karar verici	
Katılım	Rehber	
Danışma	Danışman	Etkileşim yok
Açık yetki	Bilgi alıcı	
Sınırlı yetki	Hiçbiri	

Sorunların seçenekler sunularak çözümlenmesi, kazananları da kaybedenleri de koruyan bir süreçtir. Yani bu süreç sonucunda kazananlara ve kaybedenlere yönelik bir risk yoktur. Seçenekler sıra ile alt alta dizilir. Seçeneklerin hangilerinin uygulanabilir ve geçerli olup olmayacağına proje ya da programın uygulanmasıyla yarar sağlayan insanlar ya da kurumların yanı sıra etkilenenlerin de katıldıkları toplantılarda bir analiz yaparak karar verirler. Programın uygulanmasıyla yarar sağlayan ve etkilenen insanların ya da kurumların karar sürecinde etkin olarak yer almaları sürecine **halkın katılımı analizi** denilmektedir. Seçenekleri değerlendirirken en önemli ölçütlerin belirlenmesine ise **seçeneklerin analizi** denilmektedir. Seçeneklerden biri üzerinde görüş birliğine varılabilir ve uygulamaya başlanabilir.

Proje yönetimi

Uygulamanın ikinci bölümü izleme sürecine sahip proje yönetimini içermektedir. Burada izleme süreci olayın yönünü nasıl seyrettiğini sürekli izleyerek denetlemek anlamındadır. Yani, proje yönetimi üzerinde uzlaşılan bir hedefin yine üzerinde uzlaşılan bir süre içinde teslim edilmesidir. Daha sonra şöyle devam edilebilir. Etkin proje yönetimine temel oluşturan ve uyulması gereken iki temel koşul vardır:

i. Açık ve net bir şekilde belirlenmiş, üzerinde anlaşılmış, uygulanabilir hedef,
ii. O hedefe ulaştıracak kaynaklar.

Proje yönetimi, projenin bir dizi somut alt bölümlere ayrılmasını gerektirir. Her görevin açık ve net bir şartnamesi, tahsis edilen kaynakları, görevi tamamlamak için gereken süre ve projenin tesliminden sorumlu kişi ya da kurum olacaktır. Sorumlular arasındaki ilişkilerin belirlenmesi gerekir. Çünkü bazı durumlarda bir görev tamamlanmadan diğer bir görev tamamlanamayabilir. Örneğin planlama biriminden izin alınmadan, bir HES inşasına başlanamaz. Resmi olarak onaylanmış bir ÇED olmadan da, HES inşaatına izin verilmez. Görevlerin hepsinin bir sıra halinde yapılması tercih edilir. Ancak, birçok görev de aynı anda yapılabilir. Bununla birlikte herhangi bir büyük projede bir görev ağının oluşturulması yararlıdır.

Bir güzergâh boyunca işlerin tamamlanması bazen çok zaman alabilir. Çünkü bu güzergâh kritik bir döngü olabilir ve bu kritik güzergâh içindeki faaliyet ve görevleri tamamlamadan diğer güzergâhlardaki görevlere başlanamaz. Bu kritik döngü üzerindeki görev ve faaliyetleri tamamlarken bir gecikme yaşanırsa tüm proje gecikebilir.

Oysa bu kritik güzergâh üzerindeki faaliyet ve görevler zamanından önce tamamlanırsa proje de daha erken sürede biter. Büyük projelerde dönüm noktaları ve sözleşme gereği teslim edilecek işlerin tanımlarının yapılması gerekir. Gerçekte bunlar büyük bir aşamanın son bulup yeni bir aşamanın başladığı önemli dönüm noktalarıdır. Örneğin baraj işlerinde inşa edilen akarsu derivasyon tesislerinin bitmesi bir dönüm noktasıdır. Çünkü ancak bundan sonra baraj gövde dolgu inşaatına başlanabilir. Yani derivasyondan sorumlu mühendis görevini tamamlayıp, proje sahasını baraj gövde dolgusunu yapacak iş adamına teslim etmelidir.

Bununla birlikte, yukarıda çerçevesi çizilerek sunulan proje yönetimi, çevresel değişimin yönetimi için yeterli olmayabilir. Ya da meydana gelen değişimin çok açık ve net olarak tanımlanmayabilir. Böyle

bir durumda çevresel değişimin yönetimi ile ilgili olan her proje büyük bir belirsizliğe sahip olacaktır. Bu nedenle de tahmin edilen sonuçların gerçekleşip gerçekleşmediğinden emin olmak için girdileri izlemeye gereksinim vardır. Bununla birlikte yönetime sunmak üzere hazırlanan raporlarda genellikle çok sayıda girdiler yer alır. Sunum yapılan gruplarda yer alan kişilerin çoğu ise bilimle ya da bilimsel kavramlara pek aşina olmayabilirler.

Örneğin, kentlerin atık, gürültü gibi zararlı etkenler yoluyla bozulan hava kalitesini eski haline getirmeye yönelik bir gereksinim duyulabilir (Şekil 14).

Kentsel hava kalitesi çeşitli yöntemlerle ölçülebilir. Örneğin partikül derişimi ile düşük oranda ozon, kükürt dioksit derişimi ve görüş netliği ile görüş mesafesi ölçülür. Bunların her biri bir ya da birden fazla kirlilik kaynağı ile ilişkilendirilebilir. Her kirlilik kaynağının azaltılması ve çözümü için bir kaç seçenek olabilir. Bu seçeneklerin uygulanması proje çerçevesinde olmalıdır. Bazı kaynaklar, nedenleri ve çözüm seçenekleri Çizelge 5'da sunulmuştur.

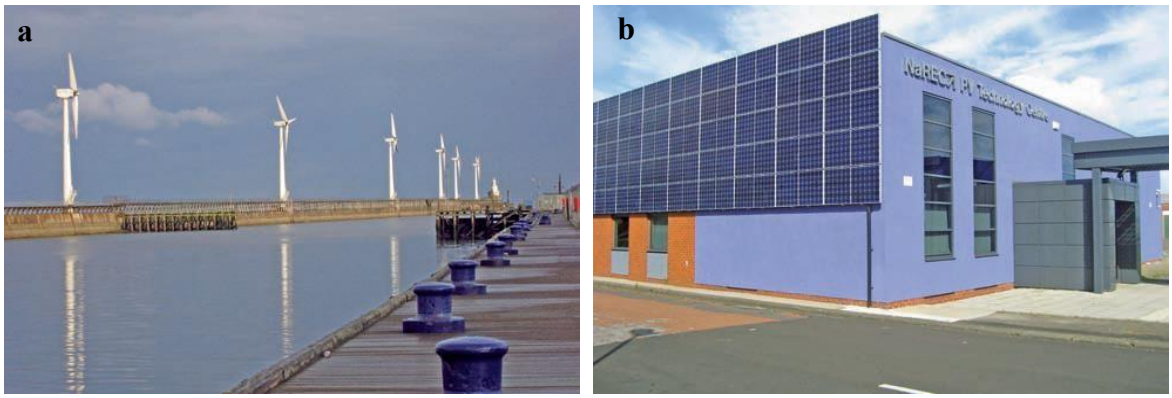


Şekil 14. Çin'in Shenyang kentinde oluşan kirlilik
(Fritz Hoffmann /The Image works çalışmaları/ TopFoto).

Çizelge 5. Kentsel hava kirliliğini sınırlamak için seçenekler. SO_2 ve NO_X ler sırasıyla kükürt dioksit ve azot oksit bileşikleridir. PM_{10} ise 10 µm den daha küçük taneciklerin derişimidir.

Kirlilik kaynakları	Kirliliğin nedenleri	Çözüm Seçenekleri
SO_X	Ev içi emisyonlar	Sigara içilmeyen alan oluşturma Kentsel kötü yakıt kullanımında cezai vergilendirme Evlere yalıtım desteğini sağlama Bileşik ısı ve enerji tesislerini kullanma
NO_X	Trafik emisyonları	Trafik sıkışıklığını giderme Ara sıra ve hatta günlük erişim sağlama Otopark sınırlamaları Toplu taşımanın desteklenmesi Yaya yürümenin teşvik edilmesi Sıfır emisyonlu araçların kullanımı
PM_{10}	Sanayi emisyonları	Daha katı düzenlemelerin yapılması Çağdaş süreçlerin kullanılması Çalışmanın durdurulup yenilenmesi Yenilenebilir enerjiyi kullanımları destekleme

Çevre yönetimi çerçevesinde çözüm seçeneklerine ilişkin görüşler belirtilmelidir. Örneğin dumansız hava sahasının ne olduğu açıkça açıklanmalıdır. Güneş panelleri ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını özendirecek seçenekler teşvik edilebilir (Şekil 15).



Şekil 15. Yenilenebilir enerji üretimi: (a) rüzgâr enerjisi, (b) güneş enerjisi panelleri binası.

Geleceğe yönelik olarak en iyi seçenekler gözetilip üzerinde düşünülmelidir. Yine de sorun, proje yönetiminin ya da bir gözetim grubunun değerlendirdiği bir düzeyde kalabilir. En yalın haliyle geleceğe yönelik tercih yapılabilir. Bununla birlikte yıllık bir hedef saptanmaz ya da soruna yönelik uygun bir yöntem belirlenmezse, denetim olmayabilir. Buna ek olarak önemli farklılıkları birbirinden ayırt etmeyen seçeneklere dair verileri kullanarak bilgi elde etmek güçtür.

Bu nedenle izlemeyi yapan gruplar göstergelere gereksinim duyacaktır. Bunlar önemli ve seçilmiş göstergeler ya da bileşik göstergeler olabilir. Göstergeler "normalleştirilmiş" olabilir. Tüm ölçümler benzer sayısal değerler içinde kalabilir. Ya da değerlendirme harflere dönüştürülebilir. Farklı bir grupla iletişimi kolaylaştırmak için değerlendirme (örneğin gelişme kaydediyor, memnunluk verici, kötüleşiyor, yetersiz, değişim yok) ya da simgeler şeklinde ifade etmek (örneğin tik koymak/çarpı koymak, trafik ışığı renklerini simge olarak kullanmak) bir çözüm olabilir.

SONUÇLAR

Çevresel değişimin yönetimi için geçmişe dair arazi kullanım biçimlerinin tarihi perspektif içinde kayıtlarına da gereksinim vardır. Bir bölgeye özgü 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. Konuyla ilgili örnek bir çalışma Hatheway (1992) tarafından tehlikeli maddelerin depolanması, arıtılması ve uzaklaştırılması hususunda yapılmıştır.

Söz konusu çalışma Şekil 16'da sunulmuştur. Bu şekilde, 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 arazi kullanım değişimleri ve genişleme ile ilgili kayıtları göstermektedir.

İlk işletmeler 1856'da faaliyete geçti. Şekil 16A bir gaz tankının yerini ve dolayındaki yapıları gösteren başlangıçtaki durumu göstermektedir. Şekil 16B bölgenin işletmeye açılmasından 44 yıl sonraki bir planı yansıtmaktadır. Nihayet 2 yıl önce yani 1952 yılında bazı işletmelerin kapanmasından önceki durum Şekil 16C'de sunulmuştur. Bu son döneme ilişkin gaz (hidrokarbon) depolama yerleri ve bunlarla ilgili diğer yapılar görülmektedir.

Sunulan bu haritalar, çeşitli eski sanayi tesisleri ve bunların yeraltı şebekelerinin yerlerini göstermektedir. Bu kayıtlar sağlıklı tutulursa ve yeri geldiğinde yararlanılırsa, geçmişte kullanılmış 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 nerede depolandığı,
- Atıkların nasıl, ne zaman ve nerede değerlendirildiği ya da uzaklaştırıldığı

Elbette verilerin geçerliliği tarihi kayıtların yeterliliğine bağlıdır. Tarihi bilgilerin doğruluğuna bağlı olarak atıkların kimyasal bileşimlerini ortaya koymak üzere bir program da 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, bu durumda çok daha iyi bir analitik programın uygulanması gerekir. Bu da yüzlerce kimyasal analizin yapılmasını, birçok su ve toprak örneklerinin toplanmasını gerektirir.

Yukarıda genel çerçevesi sunulan kayıtlar/haritalar sağlanmadan mevcut durumu belirlemek mümkün değildir. Mevcut durum sağlıklı bir biçimde belirlenmeden öngörülecek yeni faaliyetlerin çevrede yaratacağı değişimin katkısı çok anlamlı olmayacaktır. Dolayısıyla, çevresel değişimin gelecek zaman içindeki yönetimi sağlıklı bir biçimde planlanamaz. Sonuç olarak, çevresel değişimin yönetiminin kapsamlı bir çaba olduğu göz ardı edilmemelidir. Çevrenin korunmasına dair politikalar ve yasal çerçeveyi de yönetimin bir parçası olduğu asla unutulmamalıdır.

Çeşitli laboratuvarlarda sanayi hammaddelerinin, metalik cevherlerin ve kömürlerin fiziksel ve kimyasal yöntemlerle zenginleştirilme çalışmaları yapılmaktadır. Söz konusu laboratuvarların ISO 9001: 2008, ISO 14001:2004, ISO 18001:2007 kalite ölçütlerine sahip olması tercih edilmektedir.

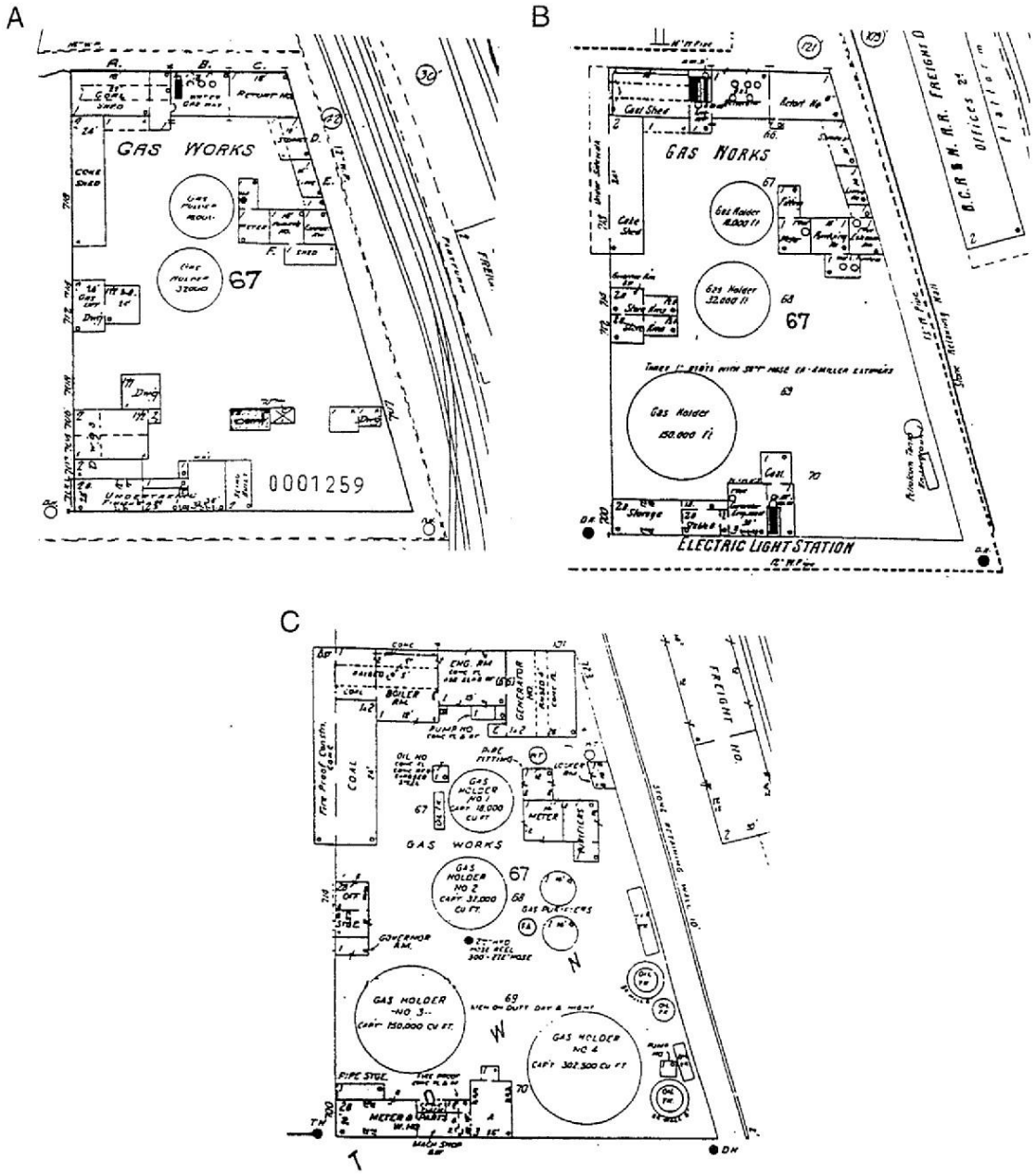


FIGURE 1.5 Sanborn maps of an industrial site in the Midwestern United States (adapted from Hatheway, 1992)

Şekil 16. ABD'nin orta kesimindeki bir yerleşim yerinde endüstriyel alanların tarihi arazi kullanım değişimini gösteren Sanborn haritaları (Hasan, 1996).

KAYNAKLAR

Asante-Duah, D.K., 1998, Risk assessment in environmental management, John Wiley & Sons, Chichester. Bu kitap kirletici problemlerin doğasını açıklar ve farklı şekillerde riskinin nasıl hesaplanacağını gösterir. Bazı karmaşık kuramlar ve biraz matematik bir arada bulunmaktadır.

Barrow, C.J., 1997, Environmental ve social impact assessment: An introduction Arnold, London. Bu kitap ÇED'in gelişimini, rolünü, süreçlerini ve yöntemleri açıklamaktadır. Örnek olay incelemeli bölmeler içermektedir.

Barrow, C.J., 2006, Environmental management for sustainable development, Routledge, London. Bu bölümde, yer alan konuların yanı sıra hukuk, standartları ve ekonomileri kapsayan açık bir metin vardır.

Bradbury, I.K., 1998, The biosphere, John Wiley & Sons, Chichester.

Carson, R., 1962, Silent spring, Houghton Mifflin, Boston, MA.

Ciambrone, D.F., 1997, Environmental life cycle analysis, Lewis, Boca Raton, FL.

Dickson, B., Yashayaev, I., Meincke, J. et al., 2002, Rapid freshening of the deep North Atlantic ocean over the past four decades, Nature, 416, 832–837.

Dünya Çevre Kalkınma Örgütü, 1987, World Commission on Environment and Development, Our common future, Oxford University Press, Oxford.

Dünya Sağlık Örgütü, 1999, World Health Organization, Gothenburg Consensus Paper, (WHO), Geneva.

Erickson, S.L. ve King, B.J., 1999, Fundamentals of environmental management, John Wiley & Sons, Chichester. Bu kitap Kuzey Amerika'da yapılan düzenlemelerin tartışmalarıyla oldukça alakalıdır. Çevresel yönetim denetim çalışmalarının kontrol listesini ve iyi bir sözlüğü içeren çok kullanışlı bir ek bulunmaktadır.

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, 387s.

Harding, G. 1968, The tragedy of the commons, Science, 162, 1243–1248.

Hargrove, E.C. 1989, Foundations of environmental ethics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

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.

Holden, J. (ed.), 2008. An Introduction to Physical Geography and the Environment, School of Geography, University of Leeds, 762, . www.pearsoned.co.uk/holden

Holden, J. ve Burt, T.P., 2002, Laboratory experiments on drought ve runoff in blanket peat, European Journal of Soil Science, 53, 675–689.

Holden, J., Evans, M.G., Burt, T.P. ve Horton, M., 2006, Impact of land drainage on peatland hydrology, Journal of Environmental Quality, 35, 1764–1778.

Kirkby, M.J., 2001, Modelling the interactions between soil surface properties and water erosion, Catena, 46, 89–102.

Lawrence, E., Jackson, A. ve Jackson, J., 1998, Dictionary of environmental science, Longman, Harlow.

Lovelock, J.L., 1979, Gaia: A new look at life on Earth. Oxford University Press, Oxford.

McDonald, A.T., 2000, Ecosystems and their management, In: Kent, A. (ed.), Reflective practice in geography teaching. Paul Chapman, London, 11–25.

McDonald, A. T., 2008, Managing environmental change. In: Holden, J. (ed.), An Introduction to Physical Geography and the Environment, School of Geography, University of Leeds, 762, 675705. www.pearsoned.co.uk/holden

McDonald, A.T., Lane, S.N., Haycock, N.E. ve Chalk, E.A., 2004, Rivers of dreams: on the gulf between theoretical and practical aspects of an upland river restoration, Transactions of the Institute of British Geographers, 29, 257–281.

Nath, B., Hens, L., Compton, P. ve Devuyt, D. (eds), 1998, Environmental management in practice, Routledge, London. Bu kitap çok ayrıntılıdır ve üç cilte sahiptir. Cilt 2 topraklar, su kalitesi, ulaşım, sürdürülebilir tarım, turizm, balıkçılık, vb gibi fiziksel bileşenlerinin yönetimi hakkında bilgi için iyidir oysa Cilt 3 dünyadaki ekosistemler ile ilgilidir.

Owen, L. ve Unwin, T., (eds), 1997, Environmental management: Readings and case studies: Readings and case studies., Blackwell, Cambridge, MA.

Petts, J. (ed.), 1999, Handbook of environmental impact assessment), Blackwell Scientific, Oxford.

Thom, R.F., 1968, Une théorie dynamique de la morphogénèse, In: C.E.H. Waddington, Towards a theoretical biology, Vol. I. Edinburgh University Press, Edinburgh, 152–166.

van Ast, J.A. ve Boot, S.P., 2003, Participation in European water policy, Physics and Chemistry of the Earth, 28, 555–562.

1. 6, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİLİK

GENEL BİLGİLER

Nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve buna bağlı sanayileşmenin yanı sıra kentleşme ve turizm alanlarındaki gereksinimler doğal kaynakların kullanımını giderek artırmaktadır. Doğal kaynakların ürüne dönüşmesi genel olarak madencilik faaliyetleri sayesinde olmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin üretim süreçlerinde doğal olarak çevre olumsuz yönde etkilenmektedir. Ancak bu etkilerin ÇED uygulamaları sayesinde denetimi kısmen de olsa mümkündür (Yılmaz, 2008). Söz konusu denetim ise sürdürülebilirlik çerçevesinde gerçekleştirme çabaları devam etmektedir.

KAVRAM OLARAK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİLİK

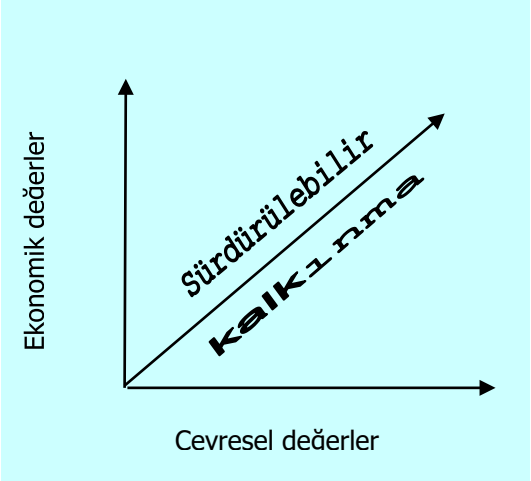
1950'li ve 1960'lı yıllarda dünyada geçerli olan ekonomik ve sosyal düzenlenmeler İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra oluşan dengeler üzerinde kuruldu. Bu düzenlemeler de 1970'li yıllarda göreceli ya da jeopolitik yetersizlikler, yani kıtlıklar nedeniyle tökezlemeye başladı. Bununla beraber çoğu çevre sorunları da zaten vardı. Örneğin nüfusun çok hızlı artması, petrolde ortaya çıkan kısıtlamalar özellikle OPEC' in tavrı, gelişmekte olan ülkeleri derinden etkiledi.

Öte yandan toprağın aşınması nedeniyle oluşan arazi bozulması, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkeleri benzer biçimde vurdu. Atmosfer, denizler ve ırmaklar sürekli kirlenmektedir. Bu olumsuzlukların çevre hareketlerinin gelişmesine yansıması kaçınılmazdı. Çevre hareketleri ışığında çeşitli çözüm yolları da aranmıştır. Örneğin, 1980'li yıllarda kaynakların "sürdürülebilir kullanım" kavramı geniş bir ilgi gördü ve 1970'li yıllarda savunulan büyümenin sınırları kavramına bir seçenek halinde gelişmeye başladı.

Sürdürülebilirlik daha sonra çeşitli biçimleriyle politikacı ya da yöneticilerin söyleminde sıkça geçmeye başladı. 1987 yılında Dünya, Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun (World Commission on Environment and Development) "Bizim Ortak Geleceğimiz" (Our Common Future) başlıklı çalışmanın ana fikri sürdürülebilir kalkınma (sustainable development) konusunda yoğunlaştırıldı. Yüzeysel bakılırsa sürdürülebilir kullanım ya da sürdürülebilirlik basit bir görüş gibi algılanabilir.

Konu daha yakından incelenirse, sürdürülebilirlik anlamı özellikle mal/stok (yenilemez) kaynaklara uyarlandığında oldukça önemli bir nitelik ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilir kullanım sürdürülebilir büyüme, sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilirlik kavramları arasında pek çok incelik gerektiren ayrıntılar vardır. Sürdürülebilirlik genel kavramı ekonomi, çevre duyarlılığı ve çevre kaynaklarını kullanmayı beraber kucaklayan bir yapıyı yansıtır.

Sonuç olarak çevreye zarar vermeden, var olan kaynakları en gerçekçi ve en ekonomik bir biçimde değerlendirme "sürdürülebilirlik ilkesi" çerçevesinde yeniden tanımlanmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, ekonomik değerlerle, çevresel değerlerin birbirini dengelediği, dolayısıyla gereksinime göre kaynakların kullanıldığı bir düzenleme öngörülmekte, bu da "Sürdürülebilir Kalkınma" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik ve çevre değerlerine göre konumu (Yılmaz, 2009).

Böyle bir kalkınma, gelecek kuşakların gereksinimlerini de gözetecek bir planlamayı gerektirir. Ayrıca, **sürdürülebilirlik** sürekli olma yeteneği olarak adlandırılabilir. Ekoloji bilimindeki anlamı ise biyolojik sistemlerin çeşitliliğinin ve üretkenliğinin devamlılığının sağlanmasıdır.

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılı tanımına göre: "İnsanlık, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahiptir." Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik büyüme ve refah seviyesini yükseltme çabalarını, çevreyi ve yeryüzündeki tüm insanların yaşam kalitesini koruyarak gerçekleştirme yöntemidir.

Sürdürülebilir Kalkınma insan ve çevre merkezli olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. Doğal çevreninin korunması kadar ekonomik ve sosyal kalkınmanın da birbirinden ayrılmaz parçalar olduğunu kabul etmektedir.

Ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik sağlandığı takdirde, çevrede sürdürülebilir gelişme gerçekleşebilmektedir (Coddington, 1970; Norton, 1984; Helm ve Pearce, 1990; Rees, 1991). Yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve doğaya karşı sorumlu davranılması çevresel sürdürülebilirliğin gereksinmelerini oluşturmaktadır. Doğal enerjinin verimli kullanımı sonucu ülke ekonomisinde gelişme gözlenir. Ekonomideki kalkınma sürdürülebilir ekonomi kavramını gerçekçi kılmaktadır. Çevreye duyarlı bir yaklaşımla yaşamanın sonucunda sağlıklı toplumlar oluşur. Sağlıklı toplumların ekonomik refah içinde yaşantısı sosyal sürdürülebilirlik olarak adlandırılmaktadır.

Yukarıda sunulduğu üzere sürdürülebilirlik, kavram olarak tanımlanması kolay ve kavramın arka planındaki niyet iyidir. Ne var ki, söz konusu kavramın içeriğini sayısal değişkenlerle oluşturmak iyi niyeti görünür hale getirmek bir hayli güçtür.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİLİĞİN GELİŞMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sürdürülebilirlik kavram olarak giderek gelişmekte ve sürdürülebilirliğin değerlendirilmesine dair değişkenlerin belirlenmesi hususunda yoğun çabalar devam etmektedir. Konuya yeryüzü şartını hatırlatarak başlamakta yarar vardır. **Yeryüzü Şartı** "sürdürülebilir küresel bir toplumun saygı ve kaygı, ekolojik bütünlük, evrensel insan hakları, ekonomik adalet, demokrasi ve barış kültürünün üzerinde kuruluşunu" anlatıyor.

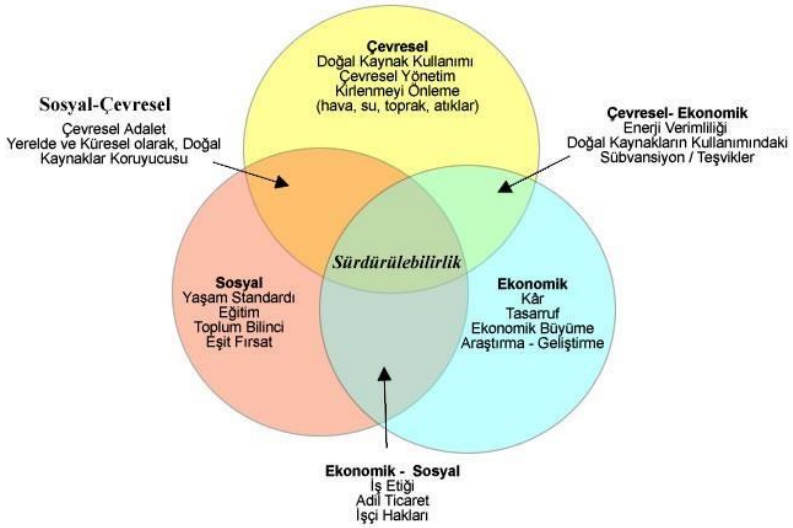
ISO 9126 kapsamında sürdürülebilirlik, yazılımın değişime yatkınlığının ölçülmesidir ve 5 alt nitelik (karakteristik) gözetilir (https://tr.wikipedia.org/).

- Çözümleyebilme
- Değiştirebilme
- Kararlılık
- Sınanabilirlilik
- Ölçütlere (standartlara) uyumluluk

Sürdürülebilirlik, bir bütün olarak algılanmadıkça ve uygulamalar somut verilerle örneklenerek yaşanmadıkça sürdürülebilir bir yola girilemez. Somut örnekler gözetilerek yaşamımızda da önemli değişiklikler yapılmalıdır.

Sürdürülebilirliğe dair değerlendirmeye başlamadan önce, sürdürülebilirliğin diğer yapılarla ilişkisi ortaya konulmalı, sürdürülebilir kalkınmanın gelişimi, konuya dair gözetilmesi gereken unsurlar tanımlanmalıdır. Şekil 2'de sürdürülebilirliğin diğer yapılarla çok yönlü ilişkisine bakıldığında sürdürülebilirliğin önemi de açıkça görülür. Sosyal (insan sağlığı ve yaşam kalitesi, eğitim düzeyi), çevresel (yenilenebilir enerji kullanımı, enerjinin verimli kullanımı) ve ekonomik (altyapı-ulaşım, mobil erişilebilirlik, istihdam oranları, gayrisafi milli hasılanın düzeyi gibi) yapıların birbiriyle ilişkisi gözetildiğinde, bunların kavşağı sürdürülebilirliğe işaret etmektedir. Sürdürülebilirliğe çevre boyutunun eklenmesi bir devrim niteliğindedir.

Şekil 3 irdelendiğinde sürdürülebilir kalkınmaya dair yapıların zamanın ruhuna uygun bir şekilde gözetildiği açıkça görülmektedir. Bu arada sanayi devrimi ile oluşan kirliliklerin yol açtığı sorunların çevre ile ilgili girdilerin oluşmasına yol açtığı belirtilebilir.



Şekil, 2. Sürdürülebilirliğin diğer yapılarla ilişkisi (benkoltd.com-655X443- Google/Görselle ara).



Şekil, 3. Sürdürülebilir kalkınmanın gelişimi (Zanbak, 2012).

Ne var ki, sürdürülebilir bir kalkınmanın alt yapısını oluşturmak için çevre kaynaklarının üretimi, değerlendirilmesi ve kullanımı süreçlerinde yoğun bir bilgi birikimine ve bu birikime uygun bir planlama yapma zorunluluğu vardır. Sürdürülebilirliğin sağlanmasında yapılacak çalışmaların gerekliliği, yer seçimi, uygun proje seçenekleri, , fayda/maliyet analizleri (yani ekonomik boyut) ve çevre duyarlılığı gibi hususları bir arada değerlendirmek gerekmektedir. Ancak, sürdürülebilirliğin koşulları yeterince tanımlanamamıştır.

Şekil 4'de çevre yönetimi açısından sürdürülebilir kalkınmanın temel ögeleri görülmektedir. Buna göre doğal kaynakların günümüzdeki gereksinimler karşılandıktan sonra gelecek kuşakların da hakları gözetilerek kullanılması gerekmektedir. Yani doğal kaynaklar israf edilmemeli, kalkınmanın insan ve çevre sağlığına uygun koşullarda yönlendirilmesi zorunludur.



Şekil, 4. Sürdürülebilir kalkınmanın temel unsurları (Zanbak, 2012).

Dünyanın geleceği, büyük ölçüde tarımsal üretime, enerji üretimine ve küresel iklim değişikliklerine karşı hazırlanan alt yapıya bağlıdır. Ayrıca ulusal gelirin adil paylaşımı önemlidir. Örneğin, ulusal gelirin çok büyük bir bölümü küçük bir azınlığın elinde olursa ekonomi büyüse bile halkın yaşamında önemli bir değişim yaratmaz. Aslında, kişi başına ulusal gelir de çok belirleyici değildir. Örneğin Yunanistan'ın kişi başına ulusal geliri Türkiye'nin üç katıdır. Ama ülke felç oldu. Yani sayısal artışların ve yükselen grafiklerin üzerinde ne kadarı çarpıtma olduğu yazılmıyor. Ücretlerin ne kadar arttığı belirleyici değildir. Yaşam kalitesi, fiyat artışı ve ücretin artması arasındaki ilişkiye göre değerlendirilmektedir.

Bu arada nüfus önemlidir. Örneğin, iki çocuklu bir ailenin üçüncü çocuğu olduğunda, iki odalı bir evden üç odalı bir eve taşınması yaşam kalitesini değiştirmiyor. Her üç çocuk için aynı düzeyde sürdürülebilir sağlık ve eğitim olanaklarının var olması gerekmektedir. Yani sonuç olarak sürdürülebilirlik çok yönlü bir konu olup, bazen konu çarpıtılarak sadece bir kör döğüşüne dönüştürülmektedir.

Kalkınmanın sürdürülebilirliğine (Zanbak, 2012) dair bir eşitlik Şekil 5'de görülmektedir. Buna göre doğal kaynakların kullanılması ve atıkların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Sunulan eşitlikte ise doğal kaynakların potansiyelinden yaşam kalitesi/kalkınma gereksinimleri (Kaynak kullanımı + atık üretimi) çıkarıldıktan sonra ortaya çıkan değerin gelecek kuşakların gereksinimlerine bölünmesinde ortaya çıkan değerin 1'den büyük olması öngörülmektedir. Yani yaşam kalitesi/kalkınmada sürdürülebilirlik 1'den büyük olmalıdır.

Sürdürülebilir Kalkınmayı (SK) değerlendirmek, ölçmek ve analiz etmek üzere çeşitli yöntemler denenmektedir. Bunun için kapsamlı bir yaklaşım (sistem analizi) SK kavramına eklenmiştir. Bunu işlevsel hale getirmek için karma gösterge (KG) tanımlanmıştır. KG, ekonomik (üretimin büyüklüğü ve yapısı, özelleştirme), sosyal (nüfusun büyüklüğü ve yapısı, sosyal dayanışma derecesi) ve çevresel (su kaynakları potansiyeli, toprak, hava ve biyoçeşitlilik kalitesi) değerler gözetilerek tanımlanmaktadır.



Şekil 5. Kalkınmanın sürdürülebilirliği (Zanbak, 2012).

SK kavramının işlevsel hale getirilmesi, ekonomik, sosyal ve çevresel değerlerin sistem analizleri çerçevesinde ayrıntılı incelenmesine dayalıdır. Bu karma göstergeler (diğer anlamıyla sürdürülebilir indeks) daha da alt göstergeler gözetilerek geliştirilmektedir. SK'nın değeri, karma gösterge çerçevesinde ekonomik, sosyal ve çevresel değerlere dair alt göstergeler gözetilerek hesaplanmaktadır. Bu yöntem, farklı sıcaklıklara sahip Kuzey Ege adalarının SK'sını değerlendirmek üzere kullanılmıştır (Kondyli, 2010).

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK GERÇEKTEN KÖKLÜ BİR DEVRİM MİDİR?

Aslında uluslararası ilişkilerde son zamanlardaki çevreye yönelik ön çalışmalarda, temel çevresel sorunların çok nadiren gündeme gelmeye başladığı kanısına varılmıştır (Thomas, 1992). Henüz ne dünya çapında ne de ulusal düzeyde sürdürülebilir bir devrim gerçekleştirmedi. Bazı eleştirmenler bu gelişmelere çok karamsarca yaklaşmışlardır. Örneğin, Myers (1993) hiçbir ülkenin sürdürülebilirliği yakalamaya yakın olmadığı kanısındadır.

"Devrimi" eski yöntemlerde ani ve köklü bir değişime uğrama olgusu belirler. Bu tür değişimler henüz gün ışığına çıkmamıştır. Fakat ne tarımda gerçekleşen devrim ne de sanayi devrimi bu devrim ile kıyaslanabilir. Yapılan iş, eski yöntemlerin değişiminde ani ve köklü bir etki olarak sayılmaz. Devrimler uzun zaman diliminde gerçekleşmiştir. Ayrıca devrimler, kısmi olup aşamalı olarak da gelişim göstermiştir. Tarım ve Sanayi devrimleri daha önceki kaynak sorunlarına karşılık olarak kabul edilirler. Tarım devriminde gıda kıtlığı önemli bir etken olmuştur. Aynı şekilde yakacak eksikliğinin bazı kişiler tarafından sanayi devriminin de ortaya çıkışında büyük rol oynadığı kanısındadır. Eğer sıkıntılar bu tip devrimler için temel etken ise, bu da belki çağdaş dünyamızda yoksullaşmış ve nesli tükenmekte olan canlı türlerini geliştirmede destek olabilecek bir sistemi geliştirme öngörülebilir. Eğer bu sıkıntı bu tür köklü değişim için gerekli koşullar oluşturmuyorsa insanlık tarihini olumsuz etkileyen çok sayıda kıtlığa neden olma bizim için yeterli bir örnek olacaktır.

Temel gereksinimler, sürdürülebilirlik devriminin uygun değerlerini yönlendirmesini ve kurumlarını oluşturacaksa Ruckelhaus (1989) tarafından bir devrim olarak yorumlanmıştır. Yönetim ve bununla ilgili etik değerler uygun değerler olarak insanlığa hizmet eder. Yenilikler, ekonomik girişimlerle ve piyasanın yenilenerek ve değişime uğramış haliyle sağlanabilir. Buna göre kurumsal düzenlemelerde yeni uluslararası kurumların, yönlendirmelerin ve uygun değerlerin birlikte ortaya çıkması oldukça önemlidir.

Son yıllarda sürdürülebilirlik kavramında fazla ilerleme görülmemiştir. Bununla birlikte sürdürülebilirliğin geleceği sadece çevre sorunları ve genel duruma bağlı olmamakla birlikte uluslararası ilişkiler ve dünya ekonomisindeki gelişmelere bağlıdır. 1990'lı yılların başındaki önemli kaygılardan biri ticaretin serbestleşmesi ve ticaretteki engellerin kaldırılmasıdır. Bu yıllardaki Gümrük Tarifeleri ve Ticaret Genel Anlaşması (General Agreement on Tariffs and Trade-GATT) görüşmeleri süresince, çevre grupları, daha önceki Dünya Bankası'yla olan ilişkilerindeki (Thomas, 1992) gibi GATT' ın ekonomik sorunlarla daha çok ilgilenmesini sağlayacak bir reform yapması için güçlü bir yönlendirme çabası içerisinde bulundular. Şu ana kadar, ticaretin serbestleşmesi hakkındaki anlaşmaları içeren çevre koruyucularının birleştirilmesindeki başarı sınırlıydı ve çevreyi korumayı sağlayan ticari malların kullanımı hakkında sert tartışmalar olmuştur. Örneğin, gelişmiş ülkelerden tropikal ağaç ürünlerinin ticareti GATT çerçevesinde yasaklanmıştır. Çevre için kullanılan ticari ölçütlerinin uygun kullanımı hala tartışılmaktadır.

Ticareti serbest bırakmaya yönelik eğilimler tehlikelere neden olmakla birlikte bu eğilimlerin bazı potansiyel yararları vardır. Anderson (1992) tarım ticaretinin serbestleşmesinin, yüksek yoğunluklu sistemlerden destek sağlanarak yapılan üretimlerden vazgeçilirse çiftçilikteki çevre zararını azaltabileceği sonucuna varmıştır. Şimdiye kadar, ticaret ve çevre arasındaki genel ilişki çok açık değildi. Steven (1993) olumlu veya olumsuz olabilen doğrudan etkilerin bazı durumlarda sınırlandırılabileceği ve küresel fiyatlar ve pazarlamadan kaynaklanan dolaylı etkilerin ise daha büyük olabileceği sonucuna varmıştır. Kuramsal olarak, ticaretin özgür hale getirilmesi karşılaştırmalı yararların işleyişlerini kolaylaştırmalıdır. Böylece farklı bölgeler, kendilerine en uygun olan ürünler üzerine yoğunlaşabilir. Bir ürüne yönelik yoğunlaşma ekolojik olarak pek istenmez. Hatta bazı durumlarda bu durum sürdürülemez olmaktadır. Diğer taraftan, potansiyel tarım verimliliği bakımından uygun olan Dünya'nın bazı bölgeleri genellikle biyolojik çeşitlilik açısından uygun olmaz. (Huston, 1993).

En azından kuramsal olarak, yiyecek üretimi artabilir. Aynı zamanda biyolojik çeşitlilik sağlanabilir. Bununla birlikte, bunların pratikte gerçekleşmesi için, maliyetlerin kestirilmesi, paylaşılması ve biyolojik çeşitliliğin korunmasının yararları günümüzde durumdan daha fazla gelişmeye gereksinim duyulmaktadır. Diğer bir deyişle, her iki etik değer (yöneticilik ve sosyal adalet biçimindeki) ve çevre ekonomisi daha çok gelişmeye ve uygulanmaya gereksinim duymaktadır. Etik değerler taslakta buna ilişkin bir gelişme olmadan ticaretin serbestleşmesi çevre etkilerine zarar verebilir. Gelişen ülkelerdeki çevrecilere karşı koyan muhalifler kirletici sanayileri ve yoğun tarım ve ormancılık gibi faaliyetleri neden göstererek muhalefetin kolayca üstesinden gelindiği ve gelişen ülkelerin bunu önemsemediğini eleştiriyorlar

Daha genel anlamda, bazı ülkeler, yüzyıllardır yaptıkları gibi dünyanın diğer bölgelerinde çevre kaynaklarının sürdürülemez sömürüsü boyunca ulusal sürdürülebilirliği aramaya devam edeceği olasıdır. Sürdürülebilir Kalkınma BM Komisyonları gibi sistemlerin olup olmadığıyla başa çıkmak için yeterince sağlam kanıtlar sağlanacaktır. Ama olsa bile, bu tür eylemlerin içerisinde ilgili ülkelerin daha olumsuz algılanması olası değildir. Bu kısmen artan etkinliği ve çevre gruplarının gelişmişliği nedeniyle Dünya'da neler olup bittiğini izleyen söz konusu kurumlar ve yönetimlerle ilgisi olan baskı getirir. Bu da şirketlere büyük ölçüde baskı getirir. Fakat bu baskı görecelidir. Çünkü temel kaynakların küresel boyutlarda biyolojik çeşitlilikte, iklim değişiminde 20. YY'ın sonlarında bu tür sorunların neden olduğu bir baskıya neden olur.

Bazı sektörlerde sürdürülebilirlik "ihraç edilemez" ve olasılıkla kavram olarak daha fazla gelişim gösterir. Dolayısıyla bu da uluslararası küresel dayanışmanın gelişmesinde de yardımcı olur. Yine, kuramsal ve gerçeklik arasında bir farklılık sorunu vardır. Yetkin tercihler küresel ve ekolojik bağlantıların birbiriyle bağlantılı olmasıyla gerçekleştirilir. Fakat bu tercihleri uluslararası düzeyde etkin bir şekilde yönetmek başka bir konudur. Ayrıca gelecek öngören bazı belirtiler her ne kadar birkaç ülkede çevre ulusallığı ve küresel dayanışmayı zayıflatıyor gibi görünse de bu belirtiler en azından bir yere kadar uzlaştırılabilir. Örneğin Brezilya'da 1980'lerin sonunda Amazon ormanlarının geleceği hakkındaki kaygılar ortaya konuldu. Buradaki verimsizliğe etki eden nedenleri ortadan kaldırmak için bazı harcamalar da yapıldı (Hurrell ve Kingsbury, 1992).

Hindistan ve Malezya'nın da içinde bulunduğu bazı ülkeler, başlangıçta uluslararası bir komite tarafından yargılanmayı benimsememiş, bu da çevreye yönelik gelişmelerde aksamaya yol açmıştır. Fakat artık bu yargılama BM Komisyonu'na kimi raporlar sunularak yapılmaktadır (Hughes ve Lea, 1993).

Dünya'nın birçok bölgesinde sağlıklı gıdaya ulaşmak pek kolay değilse de insan nüfusu son yıllarda daha fazla ve daha iyi beslenmeye başladı ve tarihte herhangi bir zamandan genel olarak daha

da iyi bir gelişme gösterdi. Yiyecek ve diğer kaynakların yetersizliği korkusu artık yavaş yavaş ve kısmen ortadan kalkmaktadır. Kaynaklar belki hiç bu kadar bol miktarda olmamışken, yanlış dağıtım sorunu hiçbir zaman bu kadar büyük boyutlarda olmamıştır. Sürdürülebilir gelişim kavramının ortaya çıkışı aslında kendi başına, yirminci yüzyılın son zamanlarında dünyayı çevreleyen sürdürülememeyi yansıtır. Sürdürülememeden sürdürülebilirliğe geçişin olup olmayacağı teknik gelişmelere ve ortaya çıkan fiziksel sorunlara bulunan çözümlere bağlıdır. Ancak çok etik değerlerin yanı sıra daha çok güç ve zenginliğin dağılımına bağlı olarak bir gelişmeye tanık olunacaktır.

Sonuç olarak sürdürülebilirlik yaklaşımının ortaya çıkması önemli bir uyarı olarak kabul edilebilir. Ancak sürdürülebilirliğin içinin, yani somut olarak hangi nesnel değişkenlerin projeler özelinde gözetilmesi gerektiği ortaya konulmadıkça gerçek bir devrim niteliğine ulaşamayacaktır.

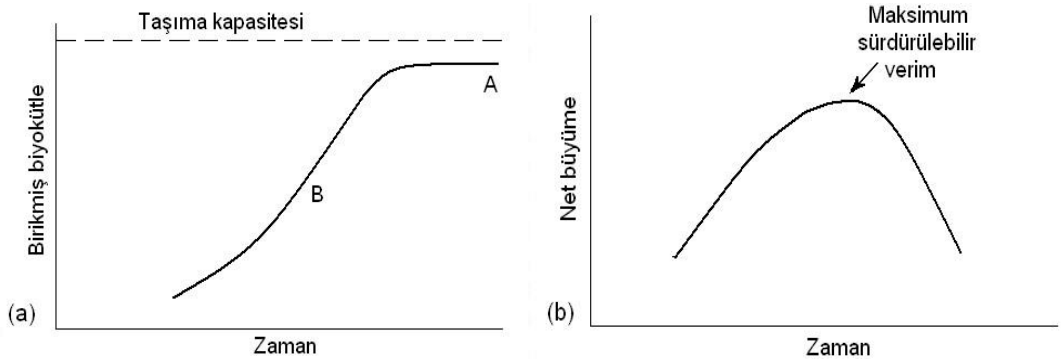
MAKSİMUM SÜRDÜRÜLEBİLİR VERİM

Artık, hangi tür ekonominin ve para birimi kullanımının çevresel kaynakların kullanımıyla ilgili sorulara yanıt vermesi gerektiğini veya verebileceğini belirleyen ölçütler olduğu büyük olasılıkla apaçık ortadadır. Felsefi, ahlaki ve etik yargılar ekonomik analiz sonuçlarını aşmakta ya da en azından aşması gerekmektedir. Bu tür kararların önemi sürdürülebilirlik çerçevesinde özellikle vurgulanır. Zaten yukarıda belirtildiği gibi, bu tanımlar neredeyse sonsuz bir çeşitlilik yeteneğine sahip oldukça geniş bir kavramdır.

Bununla ilgili bir başka görüş ise, her bir neslin bir sonraki sermayeye kalıtımsal olarak, mümkün olan en iyi şekilde katkıda bulunması gerektiğidir. Bununla birlikte, esas anlaşmazlık bu kuralın doğal sermayeye (örneğin, doğal kaynaklara) tek başına uygulanmasını gerektiğini düşünenler ile birleştirilmiş doğal sermayelere ve insan sermayelerine uygulanması gerektiğini düşünenler arasında çıkar. İnsan sermayesi bilgi kadar para, fabrikalar ve binalar gibi zenginlik formlarını da içerir. Anlaşmazlığın odak noktası, tükenmiş doğal sermayenin gelecek nesiller tarafından zenginleştirilmiş beşerî sermaye ile karşılanıp karşılanmadığıdır. Çevreyi korumaya dönük hesapların daha önce tartışılan potansiyel yararı son derece açıktır.

Tekno-merkezci görüşlere sahip olanlar, doğal sermaye kayıplarının insan sermayesiyle sağlanan kazançlarla ve kısmi olarak teknolojideki gelişmelerle telafi edileceğini savunurlar. Açık bir ifadeyle, bu görüş kaynakların sınırsız kullanımını isteyenler tarafından tercih edilir. Bu durum belki de gelecekte doğal kaynakları tanımlamanın olanaksız olduğunu iddia edenler tarafından desteklenmektedir. Ancak, çevrenin hangi bölümlerinin kullanmaya uygun ya da değerli olduğu gözetilmelidir. Çevreyi hoyratça kullanmanın ve doğal sermayeyi insan sermayesine dönüştürmenin mutlaka bir karşılığı olacaktır. Gelecek nesillere tükenmemiş doğal sermayenin aktarımında (nesiller arası eşitlik açısından) adaletli olmak gerekir.

Ormanlar ve balık stokları gibi bazı geri-dönüşüme sahip ya da yenilenebilir kaynaklarda, stok (yani ağacın ve balığın biyokütlesi ve ağırlığı) s-şeklinde (Şekil, 6a) ya da pik yapan eğriye (Şekil 6b) benzer bir yapı sunabilir. Biriken biyokütle taşıma kapasitesine yaklaşırken yataya yakın bir konum kazanır. Örneğin bir balık popülasyonu çevrenin taşıma kapasitesine ulaşınca artık artamaz. Şekil 4a'daki büyüme modeli, Şekil 4b'deki biçime dönüşür. Burada doğal bir kaynağın büyüme oranının maksimum seviyeye ulaştığı ve sonra yavaşladığı açıkça görülmektedir. Bu maksimum değer, **maksimum sürdürülebilirlik verimi (MSV)** olarak kabul edilebilir. Ancak, MSV'nin doğal bir kaynağın maksimum büyüme oranıyla ilişkili olduğu, maksimum stokla ilişkili olmadığı göz ardı edilmemelidir. Yani MSV, taşıma kapasitesinin en üst sınırına yakın bir düzeyde mümkündür.



Şekil, 6. Taşıma kapasitesi ve maksimum sürdürülebilirlik verimi (Mather ve Chapman, 1998' den).

MSV, biyolojik anlamda üretim ya da hasat en yüksek düzeydedir. Ancak uygulamada birçok sorunlar ortaya çıkabilir. Temel sorun fiziksel ya da biyolojik kavramların ekonomik terimlerle örtüşmemesidir. Balıkçılığın farklı aşamalardaki fayda ve maliyetleri Çizelge 1'de örneklenmiştir. Örneğin balık avlamak için yapılan seferlerin sayısı artarken, sefer başına düşen ortalama balık yakalama başlangıçta sabittir. Fakat daha sonra sefer başına ortalama balık yakalama sayısı azalmaya başlamaktadır.

Çizelge 1. Balıkçılığın farklı aşamalardaki fayda ve maliyetleri (1000 £ olarak) [Norton, 1984'den kısmen değiştirilmiştir, * son geziden sonra]. (Mather ve Chapman, 1998'den).

Balık avlama seferlerinin sayısı	Toplam yakalama	Ek yakalama sayısı *	Sefer başına maliyet	Sefer başına ortalama yakalama
10	1000	100	75	100
12	1200	100	75	100
13	1280	80	75	98.5
14	1350	70	75	96.4
15	1380	30	75	92.0
16	1400	20	75	87.5
17	1415	15	75	83.2
18	1425	10	75	79.2
19	1430	5	75	75.3
20	1430	0	75	71.5

Çizelge 1'de görüldüğü gibi, on üçüncü gezi sırasında bir kırılma yaşanmaktadır. On üçüncü seferden sonra, ek balık yakalama sayısı düşerken, sefer başına düşen toplam fayda, maliyetten daha düşük bir düzeye ulaşmaktadır.

Basit olarak ekonomik terimlerle ifade etmek gerekirse, on üçüncü sefer en uygun düzeydir. Bu düzey, doğal olarak, maksimum sürdürülebilir verimin optimum biyolojik düzeyi ile çakışır. Başka bir

sorun doğal kaynağın biyolojik büyüme oranı ile geçerli faiz veya indirim oranları arasındaki ilişkiden doğmaktadır. Bir balina populasyonu, örneğin, % 7'lik bir büyüme oranı ve % 10'luk bir ticari faiz oranında gerçekleşmişse, bugünkü değeri en üst düzeye çıkarma açısından en iyi politika uzun vadede olmasa bile, mümkün olduğunca çok sayıda balina yakalamakla kâra geçilebilir. Böyle bir aşamada, ekonomik sorunlar, kaynağın aşırı sömürülmesini teşvik edebilir.

Bir başka sorun ise doğal kaynağa erişimdir. Çizelge 1'de sunulan örnekte, başlangıçta balıkçılığın, ekonomik açıdan akılcı bir yönetimin denetimi altında olduğu kabul edilmiştir. Uygulamada, tabii ki, balıkçıların çoğu tek bir yöneticinin denetimi altında olmayabilir. Bunun yerine, açık erişim olabilir. Yirminci sefer sırasında, maliyetin faydayı aştığı bir durum açıkça görülmektedir.

Özel mülkiyette, amaç sadece kişisel kârı maksimuma çıkarmak olabilir. Kamu mülkiyetinde ise amaç, sosyal kârı en üst düzeye çıkarmak olabilir. Kaynakların mülkiyeti ve denetimi konusu bir bütün olarak ele almak gerekmektedir. Bu çerçevede Coddington (1970) çevresel sorunlarla ilgili olarak, "ekonomistlerin gelecek kuşaklara verebileceği en büyük hizmetin sessiz kalmak" olduğunu söyleyecek kadar ileri gitmiştir.

Bu tür görüşlerin aşırı olduğu ileri sürülmekle birlikte, çevreciler ve ekonomistlerin son yıllarda bazı ortak noktalarda buluşmaları cesaret vericidir. Bazı çevreciler, ekonomik kalkınmanın ve teşviklerin kaynakları koruma konusunda bir rolü olabileceğini kabul etmişlerdir. Diğer taraftan, birçok ekonomist, pazarı olmayan çevresel kaynakların değeri ve GSMH ile borsadaki eğilimler arasındaki ilişkiler ya da kaynakların niteliği gibi konuları dikkate almaya başladılar. Doğal kaynakların kullanımı ekonomiden ayrı tutulamaz. Çevresel muhasebe ve ekonomik analiz biçimleri doğal kaynakların yönetiminde faydalı araçlar olabilirler.

Devletin rolü, yönetimi düzenleme ve süreçleri denetlemektir. Bunun için, öncelikle maksimum kirlenme düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, pazarın rolü de söz konusu düzeylerin belirlenmesinde önemlidir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

ÇED ile Madencilik hep birbirinin karşıtı, hatta düşmanı gibi görülmüştür. Kimi çevreci kuruluşların halkı yeterince bilgilendirmemesini bir tarafa bırakacak olursak, teknik açıdan bakıldığında, ÇED ile doğal kaynaklar, bütünsel olarak ele alınıp değerlendirilebilir (Yılmaz, 2008). Örneğin, çevre için madenciliğin, madencilik için çevrenin feda edilemeyeceği bir yaklaşım bulunabilir. Bu da yoğun bir bilgi gerektirir. Kirlenmiş bir çevreyi, eski haline getirmenin, çoğu zaman çok daha büyük bir bedel ödemeyi gerektirdiği unutulmamalıdır. Ayrıca, çok büyük çevresel riskler yaratarak zenginleşen bir girişimcinin mutlu olması mümkün müdür? Dolayısıyla ekonomi, doğal kaynakları üretiminin ve çevrenin birbirini tehdit etmediği, tam tersine birbirini güvence altına alabileceği bir düzenleme öngörülmelidir. Dünya'daki tükenebilir tüm doğal kaynaklar sınırlıdır ve bu kaynakları sorumluca kullanmak tüm insanların ortak görevidir.

Gelişmiş ülkelerde artık **'sürdürülebilir kalkınma'** olarak tanımlanan bir model öngörülmektedir. Sürdürülebilir kalkınma bugünkü ve gelecek kuşakların sağlıklı bir çevrede yaşamasını güvence altına alan çevresel, ekonomik ve sosyal hedefler arasında denge kurulması esasına dayalı kalkınma ve gelişme çabasıdır. Bu model, ekonomik ve sosyal değerler ile çevresel değerlerin birbirini dengelediği bir kalkınma modelidir. Yani, sadece ekonomik kazanımlar için çevrenin, ya da salt çevresel kaygılar için kalkınmanın feda edilmemesi gerekir. Bu da ancak bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında kaynakların değerlendirileceği bir iklimi yeşertmekle sağlanır. Yani yoğun bilgi ve bu bilgi çerçevesinde kaynakların değerlendirilmesine ilişkin koşulların sağlanması zorunludur. Böylece hem ekonomik kazanımları yaşama geçiren madencilik sektörü, hem de çevrenin korunması güvence altına alınabilir.

Sonuç olarak 'sürdürülebilir kalkınma modeli' içi boş ve sektörlerin birbirini yanıltabileceği bir araç olarak değil, günümüzdeki bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında kaynakların toplumun hizmetine sunulabileceği bir çerçeve olarak algılanmalıdır. Doğal kaynaklar, insanlığın ve özellikle bu kaynakların yer aldığı toprakların üzerinde yaşayan insanların ortak malı olarak görülürse **'Sürdürülebilir Kalkınma'** dan algılanan çerçevenin yaşama geçirilmesi de kolaylaşır. Aksi halde, eskiden gezegenimizi şenlendiren insan türü, belki eskiden olduğu gibi ok ve mızraklarla ya da insanlık dışı işkencelerle değil,

çevreyi kirletmesiyle yok olma noktasına gelebilir. Dünyamız bugün, geçmişe göre daha büyük bir tehdit altındadır. Yaklaşık 8 milyar dolayında insanın küçücük bir gezegende yaşaması elbette zordur. Ama herkes 'İstediğim gibi yaşarım' derse, yaşanabilir bir dünyayı yaşanamaz hale getirmek oldukça kolaydır.

KAYNAKLAR

Anderson, K., 1992, Agriculturel trade liberalization and the enviroment: a global perspective. World Economy, 15, 153-71.

benkoltd.com-655X443- Google/Görselle ara

Coddington, A., 1970, The economics of ecology. New Society, 9 April, 95-7.

Helm, D. ve Pearce, D., 1990, Economic policy towards the environment. Oxford Review of Economic Policy, **6**, 1-16.

Hughes, P. ve Lea, W., 1993, The Earth Summit: one year on. House of Commons Library Research Paper 93/71.

Hurrell, A. ve Kingsbury, B. (eds), 1992, The international politics of the enviroment. Oxford, Clarendon.

Huston, M., 1993, Biological diversity, soils and economics. Science, 262, 1676-9.

https://tr.wikipedia.org/

Kondyli, J., 2010, Measurement and evalution of sustainable development. A composite indicator for the island of the North Aegean region, Greece. Environmental Impact Assessment Review, 30, s. 347-356.

Mather, A.S. ve Chapman, K., 1998, Environmental Resources: Addison Wesley Longman Edinburg Gate Harlow Essex CM 20 2 JE, England, 279s.

Myers, N., 1993, Population, environment and development. Environmental Conservation, 20, 205-16.

Norton, G.A., 1984, Resource economics. London: Edward Arnold.

Rees, J., 1991, Resources and the environment: scarcity and sustainability. In Bennett, R.J. and Estall, R.C. (eds), Global change and challenge. London: Routledge, s. 5-26.

Ruckelhaus, W.D., 1989, Towards a sustainable world. Scientific American, 261, 114-20.

Stevens, C., 1993, The environmental effects of trade. World Economy, 16, 439-51.

Thomas, C., 1992, The enviroment in international relations. London: Royal Institute of International Affairs.

Yılmaz, A., 2008, Çevresel Etki Değerlendirmesi: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 111, Sivas, 275s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 117, Sivas, 348s.

Zanbak, C., 2012, Madencilikte Çevresel Risk Yönetimi. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Madencilikte Çevre Yönetimi Semineri.12-13 Ocak 2012, Afyonkarahisar (Mühendislik Projelerinin Çevresel Değerlendirmesinde Mühendislik Jeolojisinin Yeri. Sözel Eğitim Konferansı, Jeoloji Mühendisleri Odası, 09 Ocak 2016, Ankara).

Bölüm 2. METALİK MADENLER

Metalik madenler denilince, başlıca altın, demir, krom, bakır, kurşun, çinko, nikel, tungsten gibi kaynaklar anlaşılmaktadır. Bu kaynakların uygarlığın gelişmesine olan katkıları yadsınamaz. Ancak metalik madenlerin aranması (özellikle galeri ve yarma açma ile sondaj çalışmaları), ocak işletilmesi ve cevher zenginleştirme evrelerinde çevrenin çeşitli boyutlarda kirlendiği görülmektedir. Dolayısıyla, çevre açısından metalik madenlerin değerlendirilmesine yönelik tepkiler diğer kaynakların değerlendirilmelerine de yansımıştır.

Bu bölüm, ülkemiz açısından önemli bazı metalik madenlerin genel çerçevede tanımı, özellikleri, oluşumları, kullanım alanları, üretim yöntemi ve teknolojisi, ortaya çıkan çevresel sorunlar ve bu sorunların denetimi konularındaki temel bilgileri içermektedir. Bu bilgiler, metalik madenlere ilişkin faaliyetlerin Çevresel Etki Değerlendirmesi raporlarının hazırlanmasında bir temel olarak kullanılabilirler.

YASAL ÇERÇEVE

25 hektar ve üzeri alanlarda metallere dair yapılan projeler ile metal sanayi tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 faaliyetler listesinde yer almaktadır. Ayrıca fiziksel yöntemler hariç, cevher zenginleştirme tesisleri de bu listede yer almaktadırlar. Metalik madenlerin üretim süreçlerinde ortaya çıkan çevresel sorunlar sanayi hammaddelerine göre daha yoğundur. Dolayısıyla bu projelere, ÇED Genel Formatı uygulanmaktadır. Madencilik (EK-1 listesinde yer almayan; arama ve cevherin çıkarılması gibi) faaliyetleri ile fiziksel cevher zenginleştirme tesisleri ise EK-2 listesinde yer almaktadır. Bu projeler için Proje Tanıtım Dosyası'nın hazırlanması yeterlidir.

Yukarıda sunulan bilgi çerçevesinde, madencilikle ilgili kümülatif ÇED'in, ancak hem arama ve cevherin çıkarılması hem de metallerin işlenmesine dair tesislerin çevresel etkileri dikkate alınarak yürütülüp hazırlanması gerektiği açıktır. Madenciliğin çevresel etkileri derken de kümülatif etkilerin anlaşılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

2. 1, ALTIN

GENEL BİLGİLER

Doğal kaynakların insan ve toplum yaşamındaki önemi bilinmektedir. Yaşamı kolaylaştıran araç ve gereçlerin büyük bir bölümü metalik madenlerden sağlanmaktadır. Bu madenlerden en önemli olanlardan biri de altındır. Eski çağlardan beri insanoğlunun ilgilendiği elementler içerisinde altın hep önemli bir yere sahip olmuştur. Altın tutkusu insanlık tarihini de derinden etkilemiş ve kimya biliminin gelişmesinde önemli bir itici güç olmuştur. Altın, gümüş, platin gibi elementler kıymetli metaller grubunu oluşturmaktadır. Bu metallerin sanayideki kullanımı, teknolojik gelişmelere koşut olarak tüm dünyada çeşitlenerek artmıştır.

Altın tutkusu tarih boyunca birçok savaşlara da yol açmıştır. Bu metalle ilgili ilk bilgiler eski Hindu, Çin ve Musevi el yazmalarında görülmektedir. Ayrıca eski kazılarda, örneğin Fransa'daki Neolitik anıtlarda, Avrupa'nın Kelt mezarlarında, Ur'daki Sümer kalıntıları arasında, Mısır'daki hanedanlar öncesi devirlere ait anıt ve mezarlarda altın boncuklar, altın saplı bıçaklar, kâseler ve süs eşyaları olarak bulunmuştur.

Firavunların mezarlarında bulunan yazıtlarda, MÖ 3500 yıllarında hüküm süren firavun Menes'in yayınladığı fermana göre, ağırlıkça bir birim altının 2.5 birim gümüşe denk olduğu bildirilmektedir. MÖ 1000 yıllarında ise altının sikke basımında geniş çapta kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Eski yazıtlardan öğrendiğimize göre altını putlar, kutsal eşyalar, sunaklar, kâseler, vazolar, içki kadehleri, cenaze maskeleri, lahitler ve süs amacıyla silahların yapımında kullanıldığı bilinmektedir (MTA, 1999; yılmaz, 2009).

Altına ilişkin en büyük keşif ise, Kristof Kolomb'un Amerika kıtasına ilk yolculuğundan sonra gerçekleştirilmiştir. 1492-1600 yılları arasında, Orta ve Güney Amerika'dan, Meksika'dan ve Antil denizi adalarından çıkarılan çok miktardaki altın dünya ticaretini derinden etkilemiştir. XVII.yy boyunca çıkarılan altın, o dönemde bilinen altının % 61'ini oluşturmuştur. Bu oran, XVIII.yy'da % 80'e çıkmıştır (Grolier International Americana Ansiklopedisi).

Eski devirlerde sıradan metallerden de altın yapma çabası yoğun bir biçimde yaşanmıştır. Bu çaba simyacıların sonu gelmez tutkularından biri olmuştur. Ayrıca simyacılar altını kral suyunda erittikten sonra elde ettikleri çözeltiyi eter ile işleme sokarak ortaya çıkan içilebilir maddeden gençlik iksirinin üretilebileceğini bile düşünmüşlerdir.

Bazı tanımlamalar

Altının arama, cevher zenginleştirme ve kullanımına ilişkin pek çok terim kullanılmaktadır. Örneğin, **Listvenit** hidrotermal çözeltilerin etkisi ile karbonatlaşmış ve silisleşmiş serpantinitler içerisinde cıva, arsenik, kobalt, nikel ve altın cevherleri bulunmaktadır. **Sinter,** sıcak su kaynaklarının yerin derinliklerinde mineralleşmesi sırasında oluşan, daha sonra yüzeye bir kanal bularak çıkan sıvıların kimi zaman yüzeye çıkıp depolanmasıyla meydana gelen bir gereçtir. Sinter, genelde sıcak su kaynaklarına ait silisçe zengin atık bir gereç olup değişik oranlarda altın, gümüş, antimuan, arsenik, talyum ve cıva içerir. **Silika kapak (şapka),** sinterin alt kısmında, ileri bir düzeyde silisleşen volkanik kayalarda oluşan epitermal yatakları temsil etmektedir. Breşleşmiş ve ağsı halde bulunan bu zon, hidrotermal ana kanalı temsil eder.

Sınıflandırmalar

Altın yatakları, gerek içinde yer aldığı ana kayalardaki yataklanma, gerekse oluşum biçimi yönüyle çeşitli açılardan sınıflandırılabilmektedir. Örneğin, yataklanma biçimleri gözetildiğinde, altın yatakları yapısal olarak masif damar, damar demeti, düşük açılı damarlar, ağsı ve saçınımlı şeklinde sınıflandırılabilirler. Oluşum biçimi yönüyle altın yatakları, birincil ve ikincil olmak üzere iki temel sınıfta toplanabilir. Birincil yataklara, genellikle mikaşist ve gnayslar içinde yer alan mercekler biçimindeki altınlı kuvars-arsenopirit yatakları, çeşitli volkanik kayalarda ve silisleşmiş ezilme zonlarında yer alan kuvars

damarları, ofiyolitlerin diyabaz daykları arasında yer alan kuvarsça zengin sülfit damarları örnek verilebilir. İkincil yataklara ise, karstik mağaralarda gelişen kimi plaser yatakları ve ofiyolitlere ait listvenitlerde yer alan altın yatakları birer örnek oluşturmaktadır.

ÖZELLİKLERİ

Altının başlıca temel özellikleri (MTA, 1994, 1999) aşağıda, genel görünümü ise Şekil 1'de sunulmuştur:

Kimyasal Bileşimi, Au **Kristal sistemi,** Kübik
Kristal Biçimi, Genellikle saçınımlı halde, nadiren oktahedral ya da kübik kristaller halinde **Sertlik,** 2.5-3
Özgül Ağırlık, 19.297-19.309 (0 ^{o}C'de)
Renk ve Şeffaflık, Altın sarısı, opak
Çizgi Rengi, Altın sarısı
Parlaklık, Metalik parlaklık
Ayırıcı Özellikleri, Renk, düşük sertlik, asitte çözünmeme
Bulunuşu, Hidrotermal kuvars damarlarında, plaserlerde ve epitermal yataklarda oluşur. **Atom no,** 79
Atom ağırlığı, 196.967 **Kaynama noktası,** 2970 ^{o}C **Ergime Noktası,** 1063 ^{o}C

Altının fiziksel ve kimyasal özellikleri, bu metalin tercih edilmesine neden olmaktadır. Altın, hava ve sudan etkilenmediğinden yıllarca kararmamakta ve oksitlenmemektedir. Dövülmeye ve haddelemeye çok elverişli olan altın, kolayca işlenebildiği için özellikle süs eşyalarında ve takılarda tercih edilmektedir.

Örneğin, 30 g'lık bir altın parçası dövülmek suretiyle yarı saydam bir levhaya dönüştürülebileceği gibi 5 mikron (insan saçı çapının onda birine eşit) kalınlığında ve 80 km uzunluğunda bir tele dönüştürülebilir. Diğer önemli özellikler ise sülfürleşmeye ya da oksitlenmeye (yani korozyona) karşı olan direnci, iyonlaşma serbestisi, diğer metallerle kolay alaşım yapabilmesi biçiminde sıralanabilir.

Elektriksel direnci çok düşük, ısısal iletkenliği ise çok yüksektir. Altın atomlarının en dışında bulunan elektronların görünür ışıkla uyarıldıklarında sarı dalga boyunda ışık yayması sayesinde altının ünlü sarı rengi ortaya çıkar. Altın tuzları (AuCl ve $AuCl_3$) eritilmiş haldeki cama katılarak mikro ve nano boyutta altın tanecikleri üretilmektedir. Altın nano taneciklerinin çevrelerinde büyük bir elektromanyetik alan yarattıkları ve buna bir süreklilik kazandırdıkları bilinmektedir. Bu sayede nanoteknolojinin çeşitli alanlarında altından da yararlanılmaktadır.

Altın doğada genellikle metal ve çeşitli alaşımlar halinde bulunmaktadır. Katı alaşımlar halinde, en fazla gümüş, bakır, nikel, paladyum ve platinle birlikte izlenmektedir. Nabit altın dışında en önemli altın mineralleri ise, tellüridlerdir. Altın hidrotermal kayalarda Hg, Bi, Sb, As, Se, Te, Cu ve Ag ile magmatik kayalarda ise sadece platin grubu metalleri (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) ile birlikte bulunmaktadır.

Altının yer aldığı kayalarda gümüş, bakır, demir, bizmut, alüminyum gibi elementler de bulunmaktadır. Gümüş miktarı genellikle % 10-15 arasında değişmektedir.



Şekil 1. Henüz işlenmemiş ham altının genel görünümü (Oygür, 2014'den).

Gümüşten sonra altınla birlikte en çok bulunabilen diğer elementlerin altın ham cevheri içindeki yüzdeleri (%) ise aşağıda sunulmuştur:

Cu en çok % 20.4
Fe en çok % 0.1
Bi en çok % 2.9 Sn
en çok % 0.8
Al en çok % 0.1
Mn en çok % 0.0002

Ticari olarak piyasalarda işlem gören altın için belirlenen standartlar ise aşağıdadır:

Külçe altın teslimi için benimsenen özellikler:

Ağırlık:

- Minimum altın içeriği: 350 saf ons
- Maksimum altın içeriği: 430 saf ons
- Her bir barın ağırlığı, Londra Külçe Piyasası Birliği (London Bullion Market Association-LBMA) tarafından yayınlanan üreticilerle mutabık kalınan değerden 0,025 ons ile çarpılıp Troy Ons cinsinden beyan edilmektedir.

İşaretler:

- Seri numarası,
- Kabul edilebilir bir rafineri ya da analiz evinin (laboratuvarının) damgaları, - Troy Ons ya da kilogram cinsinden ağırlık. - Saflık

Saflık:

- 1000 saf altın 999,9'a kadar belirlenebilmektedir.

Görünüm:

Barlar; yüzeylerinde çukurluklar olmayan, iyi görünümlü olmalı ya da katmanlı, aşırı büzülmeler gibi düzensizlikler olmamalı, kolayca aktarılıp, istife uygun olmalıdır.

Dünyada çeşitli yerlerden alınan metal altın örneklerinde yapılan analizler, altının saf olmadığını ve doğada saf altının bulunmayacağını göstermiştir. Altınla birlikte en çok bulunan elementlerin ise Ag, Cu ve Fe olduğu görülmüştür. Bunlardan başka sırasıyla: Pb, Ti, Al, Sb, Hg, V, Bi, Mn, Si, As, Sn, Mg, Ni, Ca, Zn, Pt, Te, B, Co, Cr, Mo, Cd, Rh, Sr, w, Zr olmak üzere 38 element belirlenmiştir (Aydal, 2000; ÇMO, 1998). Çizelge 1'de, altının diğer metallerden ayıran özellikler de sunulmuştur (MTA, 1999).

Çizelge 1. Altını diğer metallerden ayıran özellikleri (MTA, 1999).

Mineral	**Kristal Sistemi**	**Renk Çiz.Rengi Parlaklık**	**Yoğunluk Sertlik**	**Habitus**	**Tanınma Özelliği**
Nabit Altın (Au)	Kübik	Parlak sarı Metalik	19.3 2.5-3	Lifsel Levha	Kral suyunda erir.
Nabit Gümüş (Ag)	Kübik	Beyaz Metalik	10.1 2.5	Dal, Tel Levha taneli	HNO_3 ile çözünür
Nabit Platin (Pt)	Kübik	Çelik Grisi Metalik Grisi Metalik	21.5 4-4.5	Tane, Külçe Kabuk	Gümüşten sert, asitte erir.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

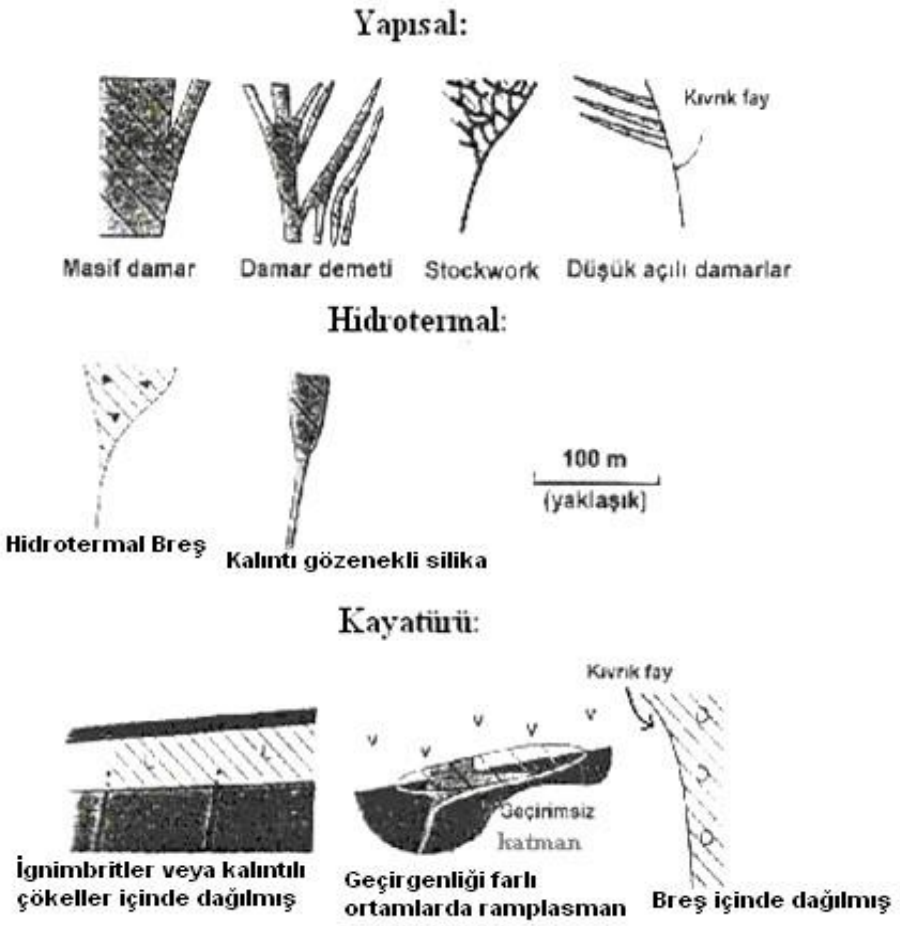
Metalik madenlerin kökeni magmadır. Genel olarak magma yer yüzeyine doğru yükselirken soğuyup katılaşmaya başlar. Bu esnada su ve diğer buharlaşabilen gereçler yüksek basınç altında magmadan ayrılır. Oluşan yüksek basınç çevredeki kayalarda çeşitli boyutlarda kırık ve çatlakların oluşumuna yol açar. Magmadan ayrılan eriyikler bu kırık ve çatlaklara yerleşir. Eriyikler soğurken altın özellikle kuvarstan yapılı damarlara göç eder. Altın aramacılığında özellikle incelenmesi gereken yerler bu kuvars damarlarıdır.

Altın, masif sülfit biçiminde epitermal porfiri yataklara, skarn ya da plaser yataklara bağlı olarak oluşabilmektedir. Masif sülfit yatakları, denizaltı volkanizmasıyla oluşmuş volkanik kayalarla birlikte bulunur. Bazı yataklar, ultramafik kayalarla doğrudan ilişki halindedir. Bu tür kayalarda cıva, arsenik, kobalt, nikel ve altın cevherleşmeleri birlikte bulunur.

Epitermal mineral yatakları eski sıcak su kaynaklarına bağlı olarak yüzeye yakın oluşan yataklardır. Ekonomik değere sahip olan metal yatakları normal olarak 100 ile 1000 m arasında eski sıcak su kaynaklarının bulunduğu yüzeyin altında oluşmaktadır. Bu bölgelerde cevherlerin yerleşmesi, yerleşilen kayanın gözenekliliğine, bileşimine ve diğer fiziksel özelliklerine bağlıdır. Minerallerin oluşum ve depolanması, yukarı doğru çıkan sıvı ve gazın çıktığı kanalların geçici olarak tıkanmasına neden olur. Kanallardaki bu tıkanıklık kimi zaman deformasyona uğradığında breşleşme ve ağsı türü yatakların oluşumuna yol açar.

Sıcak su kaynaklarına bağlı olarak oluşan çeşitli yataklar vardır. Bunlar başlıca, sinter, silika kapak, ornatma, breşleşmiş ve ağsı tip olmak üzere ayırt edilebilirler (Şekil 2).

Sinter, sıcak su kaynaklarını derinlerde mineralizasyon oluşturması sırasında yüzeye bir kanal yolu ile çıkan sıvıların kimi zaman yüzeye çıkıp depolanmasıyla oluşur. Sinter, sıcak su kaynaklarına ait silisçe zengin bir artık malzeme olup, değişik oranlarda altın, gümüş, antimuan, arsenik, talyum ve cıva içerir.



Şekil 2. Epitermal yatak türleri (Sillitoe, 1993; Aydal, 2000).

Silika kapak, sinterin alt kısmında şiddetli bir şekilde silisleşen bir ana kaya vardır. Bu kesim volkanik kayalara bağlı olarak oluşan epitermal yataklarda silika kapak olarak adlandırılır. Breşleşmiş ve ağsı halinde bulunan bu zon, hidrotermal ana kanalı temsil eder. Kökeni önemli olmaksızın sedimenter kayalar içindeki silika kapaklar **jasper** olarak adlandırılırlar. Cevherle birlikte bulunan breşleşmiş zonun, silisleşmiş ve kaolinleşmiş kaya parçalarından kuvars, jasper ve opalden oluştuğu belirlenmiştir. Damarlar ve ağsı türde yataklar, volkanikler içindeki silika kapağın içinde oldukça yaygındır. Yapılan sıvı kapanım çalışmalarına göre, altının oluşum sıcaklığının 150-180 ^{o}C arasında değişmektedir. Hidrotermal sıvı ve gazların oksitlenmesi ve yeraltı suyuyla karışması silika kapağın kimyasal olarak çökelmesinin sonucudur. Sülfürlerin oksitlenmesi sülfatları oluşturması ana kayanın özütlemesi (liçingi) için gerekli hidrojen iyonunu sağlar.

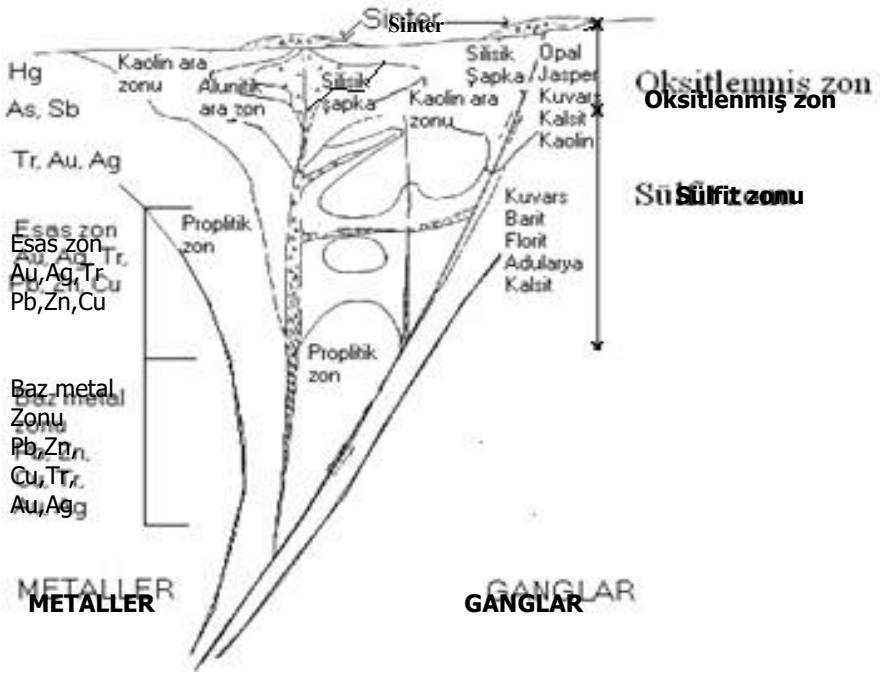
Ornatma yolu ile oluşan cevher, genel olarak karbonatların yan kaya olduğu durumlarda gelişmiş yataklar olup "Carlin tip" olarak da adlandırılırlar. Bu tip cevherleşmeler genellikle epitermal sıvıların rahatça nüfuz edebileceği sedimenter kayalardan karbonatça zengin düzeylerde oksit ve sülfit ornatması ile oluşur. Sıvı kapanım çalışmaları yüksek piritli jasperoitlerin 170-230 ^{o}C arasında oluştuğunu ve genel olarak 200 ^{o}C dolayında oluşum sıcaklığının belirlendiğini göstermiştir.

Epitermal yataklar değerlendirilirken hipojen ve süperjen etkiler ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Çünkü atmosferik koşullarda oluşan alterasyon cevherin yan kayanın ve hatta silika kapağın mineralojisini belli ölçüde değiştirebilir.

Breşleşmiş ya da **ağsı** bir yapıda olan cevher, silika kapağın hemen altında sıvının geldiği ana kanalın çevresinde ve çok yakınında bulunur. Burada, cevher oldukça yüksek bir orandadır. **Bonanza**

zonu olarak adlandırılan bu cevher zonu, su tablasının altında olup, sülfit zonuna karşılık gelir. Yapılan sıvı kapanım çalışmalarına göre, altının 230-280 ^{o}C dolayındaki bir sıcaklıkta oluştuğu belirtilebilir. Skarn yatakları ise, yerkabuğunun derinliklerinde sokulum yapmış magmatik kayalarla, kireçtaşı ya da dolomit gibi karbonat kayalarının dokanaklarında gelişebilirler (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Volkanik kayalarda gelişen epitermal bir cevherleşme modeli ve böyle bir yapıda izlenebilen cevherlerin dizilimi Şekil 3'de görülmektedir. Buna göre, bakırca zengin yataklar, ayrıca altın üretilebilir bir yapıda da oluşabilir.



Şekil 3. Volkanik kayalarda görülen epitermal bir cevherleşme modeli (Hollister, 1985; Aydal, 2000).

Öte yandan çeşitli altın yatakları daha önce oluşmuş epitermal yatakların kimi yer süreçleri ile taşınarak **plaser yataklar** olarak oluşmaları da mümkündür. Bu gibi yataklarda, cevher içeren çökellerin ton başına en azından 6-7g altın içermesi halinde ekonomik olarak işletilebilirler.

ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE TEKNOLOJİSİ

Değerli metallerin üretiminde kullanılan yöntemler ve teknolojiler, diğer madencilik sektörlerindeki uygulamalara benzemektedir. Maden işletmeleri, cevherlerin doğal olarak bulunduğu yerlerde kurulmalıdır. Altın madenciliğinde, altının aranmasından elde edilmesine kadar izlenen bir süreç vardır. Bu sürecin aşamaları aşağıda sıra ile ele alınmıştır (Yüce, 1997):

Ocak İşletmesi

Altın madenciliğinde cevher üretimi, diğer madencilik çalışmalarında olduğu gibi **açık ocak işletmesi** ya da **yeraltı işletmesi** biçiminde yapılmaktadır. Ayrıca **Plaser yatakları** da konumuna uygun bir işletme gerektirir. İşletmenin türünü cevher yatağının konumu belirler. Bir açık ocak işletmesi örneği Şekil 4'de, ekskavatörlerle cevherin çıkarılmasına dair bir görüntü de Şekil 5'de sunulmuştur. Sunulan bu görüntüler ocak işletmesinin kapsamlı bir çaba olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Temel ayrıntılar Bölüm 1.2'de izlenebilir.



Şekil 4, Açık ocak işletmesine dair bir genel görünüm (Oygür, 2014'den).



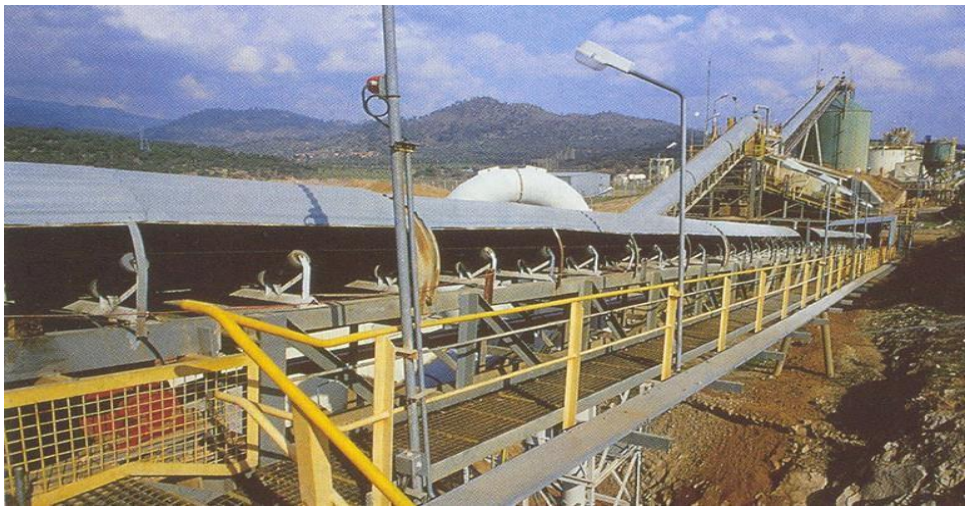
Şekil 5, Ekskavatörlerle cevherin çıkarılmasına dair bir görüntü.

Cevher zenginleştirme

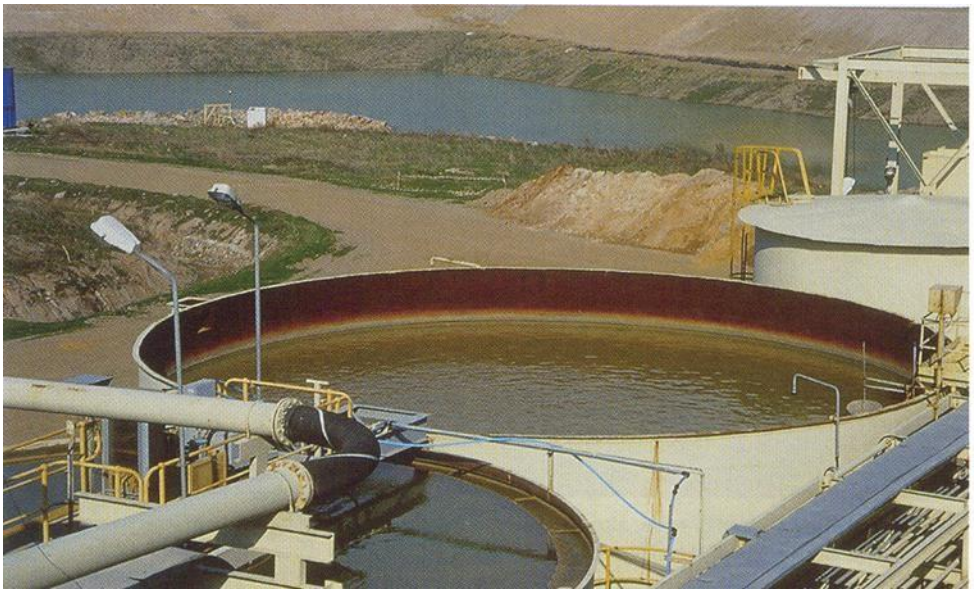
Ocak işletmesinden sonra altının üretimi için çeşitli zenginleştirme süreçlerine gereksinim vardır. Bu süreçler çeşitli yöntemler kullanılarak sürdürülebilir. Örneğin, yerçekimi (gravite), flotasyon, özütleme, sıyırma, iyon değiştirme, ergitme, elektroliz, saflaştırma gibi yöntemlerin kullanılması gerekmektedir (Yıldız, 2022a). Yöntemlerin uygulanması, genellikle fiziksel olarak başlar, kimyasal olarak devam eder. Söz konusu yöntemlere dair bazı ayrıntılar aşağıda sunulmuştur.

Cevher zenginleştirme yöntemleri, cevherin mineralojisine bağlı olarak seçilmektedir. Cevher zenginleştirme, cevherli kayaların ocaktan çıkarılmasından sonra başlar. Çeşitli boyutlardaki cevher, önce kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutulur, sonra yürüyen bantlarla kırıcıya geçer ve titreşimli elekle arzu edilen boyuta getirilir. Bu çerçevede, siyanürlü altın üretim tesisi atıklarının arıtma yöntemleri de Çelik ve diğerleri (1997) tarafından irdelenmiştir.

Şekil 6'da lastikli bir bant görülmektedir. Bu bantta belirli açıklığı olan elekten geçemeyen taneler yeniden kırıcıya gönderilir. Cevherdeki altın taneciklerinin yüzeyi ne kadar çok açığa çıkarılabilirse altın taneciklerinin sıvı faza alınması o kadar yüksek düzeyde gerçekleşir. Altın kazanımının sağlanabileceği boyuta kadar öğütülen cevher, daha sonra özütleme tanklarına (Şekil 7) aktarılır (ÇMO, 1998).



Şekil 6. Lastikli bant, genel yapı.



Şekil, 7. Özütleme amacıyla kullanılan tanktan bir görünüm.

Elekten geçen kırılmış cevher bantlarla kireç ilavesi yapılan birime gönderilir. Daha sonra değirmene taşınan karışım altının serbestleme boyutu olan 38 mikrona kadar öğütülür. Ancak, 75

mikrondan daha iri altın tanecikleri bate (özel bir tepsi), elek, sarsıntılı masa gibi yerçekimi yöntemleri ile zenginleştirilebilir. Bate ile yüksek kapasitede zenginleştirme yapılamaz, genellikle öğütülmüş cevher ve plaser yataklarına dair örneklerde altın tanelerinin olup olmadığın bakmak için kullanılır. Bakır ve pirit içeren ve 44 mikrondan küçük taneli cevherlerden altın, yüzdürme yöntemi ile gözle görülemeyecek kadar küçük taneli altın içeren cevher ise seyreltik siyanür (CN) çözeltisi kullanılarak zenginleştirilir.

Tanklara alınan öğütülmüş pülp halindeki cevhere siyanür eklenir. Çözeltinin altın içermeyen katı atık filtrelenerek ayrılır. Kalan çözelti ise karbon adsorbsiyonu ve diğer işlemler için öteki tanklara aktarılır. Siyanürlü çamur, arıtma ünitelerinde kükürt dioksit, hava ve su verildikten sonra siyanür siyanata dönüştürülür. Siyanat, siyanüre göre daha az zehirlidir. Altın üretiminde her zaman sülfirik asit kullanılmaz, ancak kullanıldığında da, asit sisteme eklenen kireçle kireçtaşına ya da jipse dönüştürülür. Tanklarda suyla hidrolize uğrayan siyanat da amonyum ve karbona dönüşür. Öğütme işlemlerinin, karbon adsorbsiyonunun ve siyanür özütlemesinin gerçekleştiği birime ait yapının genel görünümü Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Öğütme işlemleri, karbon adsorbsiyonu ve siyanür özütlemesinin gerçekleştiği bir yapının genel görünümü.

Özütleme

Altın için özütleme işleminde siyanür kullanılmaktadır. Siyanür çözeltisi içerisinde altının çözünürlüğü uzun zamandan beri bilinmektedir. Siyanür: Karbon ve azot içeren bir grup kimyasal maddeye verilen genel bir isimdir. Siyanür bileşikleri doğal olarak bulunabileceği gibi yapay olarak da üretilebilir. Gaz halindeki siyanür (HCN) ile katı haldeki Na ve K siyanür yapay üretilen bileşiklerdir. Siyanür zehirli bir madde olup, yutulması ya da solunması halinde ölümcüldür. Siyanürün uzaklaştırılması çözeltideki derişiminin azaltılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu da daha çok çözeltilerdeki siyanürün HCN'e dönüştürülüp buharlaştırılması ile olmaktadır.

Özütleme özütleyici olarak sodyum siyanürün kullanılmasıyla gerçekleşen bir tepkimedir. Özütleme yönteminde oksijenli bazik ortamlarda siyanür katyonları uygun tane boyutunda öğütülmüş cevherlerle tepkimeye girerek, altını siyanür bileşikleri halinde çözeltiye almaktadır Yıldiz, 2022a):

$4Au + 8CN^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Au(CN^-)_2 + 4OH^-$

NaCN eriyiği içinde altın iki aşamalı tepkimeyle çözeltiye geçmektedir. Çoğu altın minerallerinin yalnızca ikinci tepkimeyle çözeltiye geçtiği ifade edilmektedir:

$4Au + 8NaCN + O2 + 2H2O \rightarrow 4NaAu(CN)2 + 4NaOH$
$2Au + 4NaCN + O2 + 2H2O \rightarrow 2NaAu(CN)2 + H2O2 + 2NaOH$

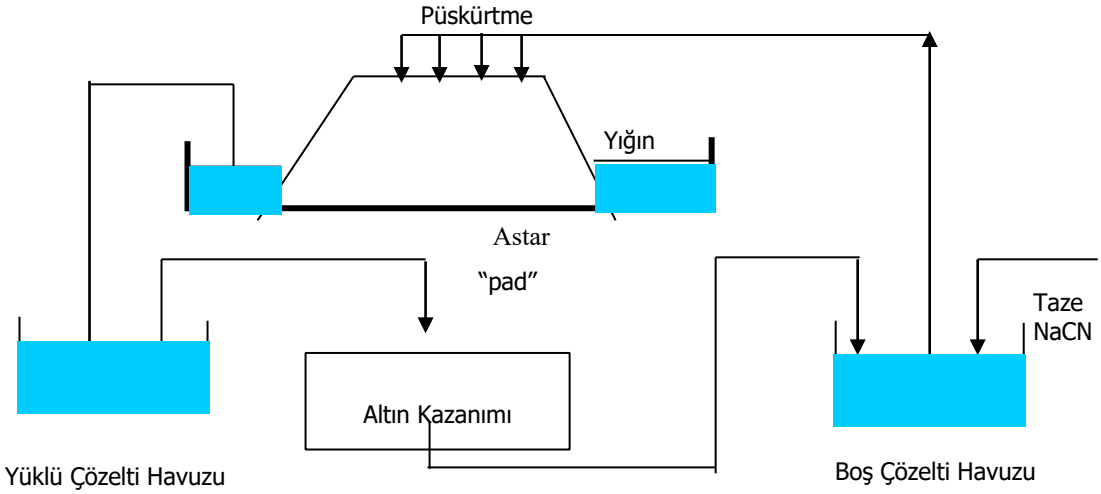
Özütleme işlemi pH 9.5-11.0 aralığında gerçekleştirilmektedir. Özütlemenin en etkili olduğu pH değeri 10.5'dir. Daha asidik ortamda siyanür CO2 veya H ile tepkimesi sonucu ortamda bulunanların sağlığı için tehlikeli olan HCN gazı oluşmaktadır. Bunun için sönmüş kireç kullanılarak özütleme ortamının pH'ı 10.5 değerinde tutulmaktadır.

Siyanürleme ile çözeltiye alınan altın, doğrudan çöktürme veya aktif karbona soğurma "adsorpsiyon", geri sıyırma "desorpsiyon" veya "stripping" ile elektroliz işlemlerinden oluşan hidrometalurjik uygulamalarla metal altına dönüştürülerek saflaştırılmaktadır (Yıldız, 2022a).

Endüstriyel uygulamalarda altını çözmek için KCN, NaCN, $Ca(CN)_2$ kullanılmaktadır. Ancak günümüzde çözücü olarak NaCN tercih edilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda, çözücü sıvılardaki siyanür derişimi, altın içeren cevherler için % 0.01-0.05 (0.1-0.5 g/L) arasında değişmektedir. Özütleme işlemleri sırasında tüketilen NaCN miktarı 0.2-0.5 kg/ton düzeyindedir.

Altın cevherlerinde, uygulama şekline göre özütleme (ya da siyanürleme) yöntemleri;
1. Yığında özütleme;
2. Tanklarada (reaktör tankında, karıştırmalı) özütleme olmak üzere 2 gruba ayrılır. Bu yöntemlerin seçiminde etkili olan değişkenler; cevherin türü, mineralojik yapısı, metal içeriği ve sürecin ekonomisi sayılabilir.

Yığında ve tankta özütleme, bir kimyasal çözündürme ve süzülme işlemi olup, katının sabit konumda olması ve siyanürlü çözeltinin tanecikler ya da çatlaklar arasındaki boşluklardan süzülmesi ilkesine dayanır. Bu işlemlerden yığında özütleme endüstriyel uygulamada en çok tercih edilen yöntem olmaktadır. Yığında özütlemenin işleyişi Şekil 9'da sunulmuştur. Tankta özütleme de günümüzde kullanılmaktadır.



Şekil 9. Yığında özütlemeninişleyişi (Yannapoulos, 1991).

Yığın özütlemesinde, kırılarak hazırlanan cevher "pad" adı verilen hafif meyilli sızdırmaz bir zeminin üzerine gevşek bir şekilde yığılır. Yığından süzülecek siyanürlü sıvılar, asfalt, kil özel beton ve jeomembran adı verilen plastik kökenli astarlardan birinin ya da birkaçının kullanıldığı sızdırmaz katmanlarda toplanır. Siyanürlü çözelti (sıvı) yığının üzerinde oluşturulan püskürtme sistemleriyle cevher yığınının üzerine püskürtülür.

NaCN'e su ve kireç eklenmesi ile önce çözelti oluşturulur. Yığına püskürtülen çözelti, temas ettiği altın taneciklerinin sıvı faza geçmesini sağlar. Yığının tabanında toplanan ve altın yüklenmiş olan bu

çözelti, altın belirli bir derişime ulaşıncaya kadar tekrar yığına püskürtülür ya da içerdiği altını kazanmak için bir sonraki işleme geçilir (Yannapoulos, 1991). Çözeltide eksilen siyanüre yeniden NaCN ekleyip bir döngü oluşturarak işleme devam edilir. Sıvı faza geçen altın aktif karbon (Hindistan cevizi kabuğundan yapılan kömür) üzerinde toplanır. Basınç altında aktif karbondan sıyrılan altın elektrolizden geçirilir ve altının katı zerrecikler halinde katotta toplanması sağlanır.

Yığında özütlemenin yatırım ve işletme maliyetinin, düşük olması bu yöntemi daha cazip kılmaktadır. Bu yöntem, günümüzde 3 g/L'den daha az altın içeren cevherlere uygulanmaktadır. Yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması ve çözündürme sonrası katı-sıvı ayrımına gerek kalmaması yığın özütünün avantajları içerisinde yer alsa da altın çözünme veriminin düşük olması ve siyanür ile temas süresinin uzun olması bu yöntemin en büyük dezavantajlarını oluşturmaktadır. Yığında özütlemede temas süresi, çoğunlukla 30-60 gün arasında değişir. Altın çözünme verimi, iri boyutlu cevherler için % 40-60, küçük boyutlu (<2 cm) cevherlerde ise % 60-80 düzeylerinde gerçekleşmektedir. Özütleme işleminden sonra siyanürlü sıvı fazına geçen altının geri kazanılmasında çinko tozu ile çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu ve elektrolitik kazanım olmak üzere başlıca üç yöntem kullanılmaktadır.

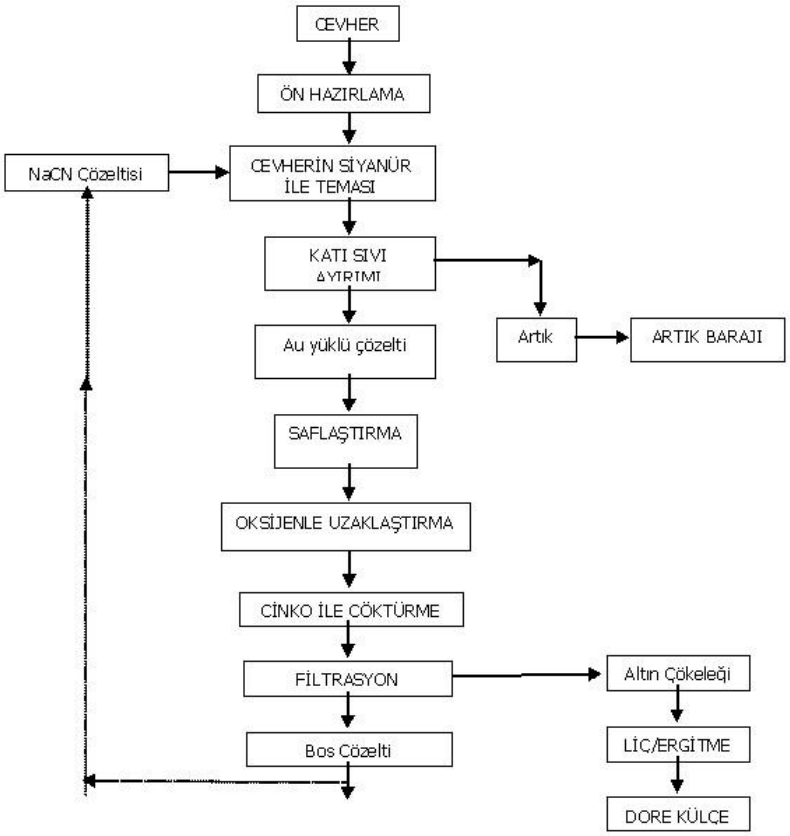
Çinko tozu ile çöktürme işleminde, siyanürlü çözeltiye çinko tozu eklendiğinde altın metal halinde çöker. Bu işlemin akım şeması Şekil 10'da görülmektedir. İşlemde gelişen kimyasal tepkime aşağıda sunulmuştur:

$$2Au(CN)_2^- + Zn \longrightarrow 2Au + Zn(CN)_4^{-2}$$

Altın çöktürme veriminin arttırılması için kurşun tozu da eklenmektedir (Yannapoulos, 1991). Ancak bu çöktürme olayının gerçekleştirilebilmesi için çözeltinin berrak ve oksijen içermemesi gerekmektedir. Bu dikkate alınırsa, yığında özütleme işlemi sonunda sıvı, katıdan ayrılacağından, yalnızca saflaştırma (berraklaştırma) işlemi yeterli olacaktır.

Özütlemeyi, Saflaştırma (Purification), Oksidasyon (Deaeration), Katı faza alma (Precipitation), Katı-sıvı faz ayrımı (Filtration) aşamaları izler. Bu çerçevede karbonla tutma, aktif karbondan sıyırma, elektroliz ve atıkların arıtılması gibi işlemler gerçekleşir. Ancak kimi refrakter tip cevherlere (siyanürlü çözeltilerde, içerdiği altının çok düşük düzeyde çözündüğü ya da altının çözünmesinin geciktiği durumlarda) sülfirik asit de kullanılır ve özütleme öncesinde de oksidasyon uygulanır. Oksidasyonun uygulandığı cevherler çoğunlukla, pirit, arsenopirit, pirotin, antimonit gibi sülfür mineralleri ve karbon içerirler. Oksidasyon, ısıl işlemlerle oksidasyon (kavurma), basınç altında oksidasyon, biyolojik oksidasyon ve kimyasal oksidasyon olmak üzere dört şekilde yapılmaktadır.

Refrakter tipi cevherlerde altın cevheri sülfit minerallerinin içinde kapanımlar halinde oluşur. Altının yüksek kazanımla elde edilmesi ve iyi bir tesis etkinliği için cevherin tanklarda özütleme öncesi, otoklavlarda ön işlem uygulanmaktadır. Bu uygulamada altın kazanım oranı % 90 gibi oldukça yüksektir. Koyulaştırılmış cevherdeki karbonat oranı % 3 ile % 6 arasındadır. Fazla karbonatın alınması ve karbonat düzeyinin % 2 CO_3'ün altına düşürülmesi için tanklarda ortalama H_2SO_4 ilave edilerek karıştırılmaktadır. Kırılmış, öğütülmüş, koyulaştırılmış, sülfürik asit eklenip karıştırılmış pülp, otoklav bölümüne gönderilmektedir. Otoklavlar basınca dayanıklı genellikle paslanmaz çelikten yapılmış tanklardır. Otoklavlarda düşük pH değeri ve yüksek sıcaklıkta oksitleme nedeniyle ortam oldukça aşındırıcıdır. Bu nedenle özütleme tankları aside dayanıklı titanyum alaşımlı çelikten yapılmış ya da çelik tanklar aside dayanıklı refrakter tuğla ile örülmüştür (Yıldız, 2022a).



Şekil 10. Cevherden altın-gümüşün kazanılmasında uygulanan klasik (çinko tozu ile çöktürmeyi kapsayan) akım şeması (Acarkan, 1997).

Oksitlenmiş cevherin özütleme işlemi daha kolaydır. Otoklav bölümünde öğütülmüş cevher yaklaşık 20 bar basınç, 210 ^{0}C sıcaklık ve asidik ortamda oksitlenmektedir. Zaman olarak oksitleme süresini öğütülmüş cevherin boyutu, otoklavın basıncı, sıcaklığı, pülpteki katı oranı ve ortamın pH değeri belirlemektedir. Otoklavdaki işlem sıcaklığı 210oC'dir. Boyut küçültmeden koyulaştırıcı bölümüne gönderilen pülpün sıcaklığı 25 ^{0}C civarındadır. Suyun bir kısmının alınarak pülpün koyulaştırılması otoklavlarda yapılacak işin ekonomisi bakımından önemlidir. Koyulaştırıcı devresinde pülteki katı oranı % 40'dan % 53'e çıkarılabilir. Otoklavdan çıkan sıcak pülp 15-20 gr/lt H2SO4 içermektedir. Bu pülp bir sonraki işlem için püskürtme sistemli kulelerde soğutulmaktadır. Soğutma sürecinde geri kazanılan ısı otoklavlar öncesi pülpün ısıtılması için kullanılmaktadır (Yıldız, 2022a).

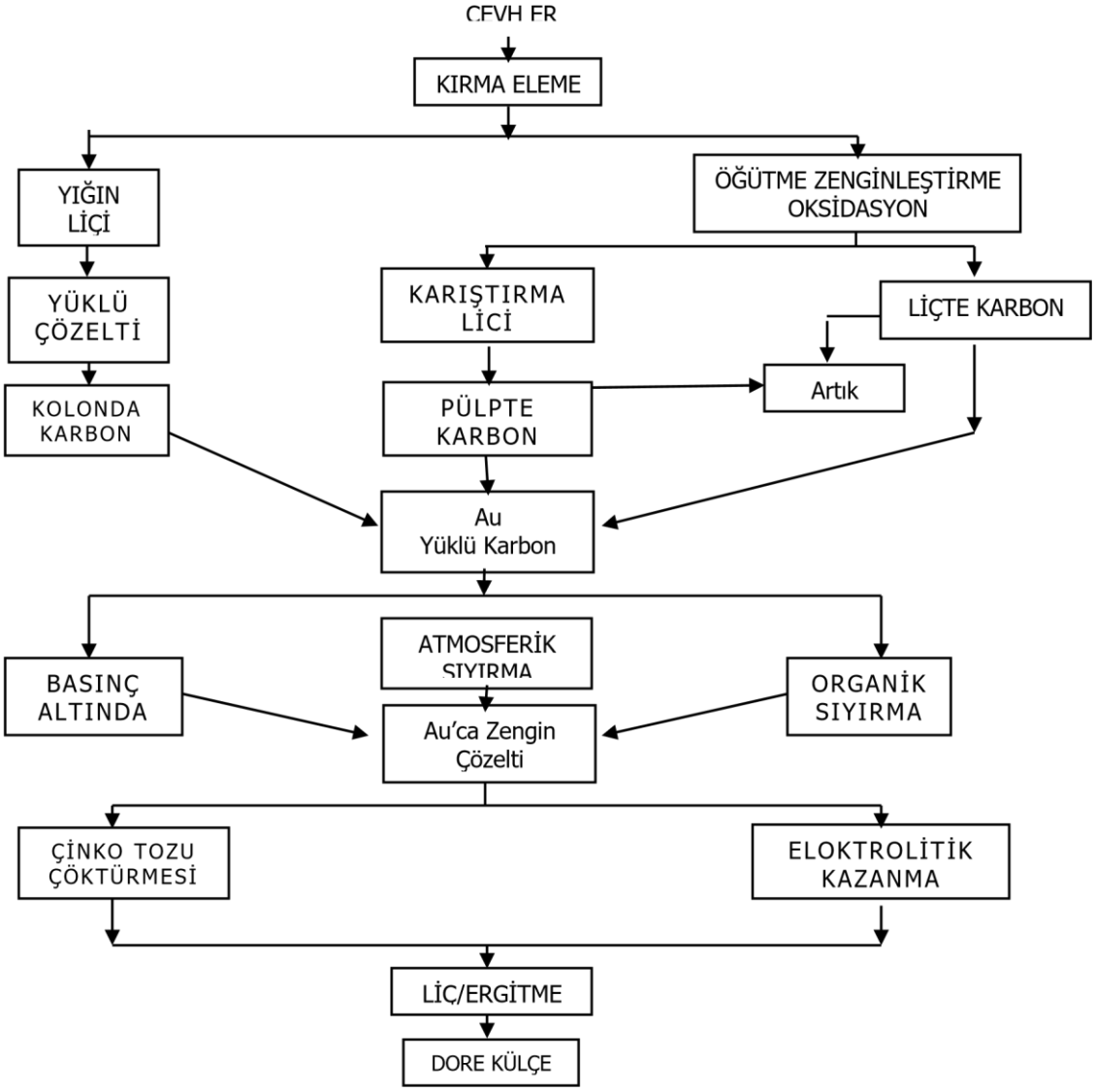
Altının siyanür içinde çözülebilmesi için ortamda çözülmüş oksijene gereksinim vardır. Otoklavlardan çıktıktan sonra soğutulmuş pülp, kireç sütü ilave edilerek tanklarda hava veya saf oksijenle karıştırılmaktadır. Bu işlemle ortamın pH değeri 1.5' den 9.5'in üzerine yükselmekte pülp özütlemeye uygun hale getirilmektedir. Yapılan işlem "pülpün nötrleştirilmesi" olarak adlandırılmaktadır (Yıldız, 2022a).

Biyolojik oksidasyon, kavurma işlemine seçenek olarak geliştirilmiştir. Yöntem, Thiobacillusferrooksidan gibi bakterilerin asidik ortamda sülfürlü mineralleri oksitlere çevirmesi esasına dayanmaktadır. Kimyasal oksidasyon ise, sınırlı kullanımı olan bir işlemdir. Klor gazı, hipoklorit, nitrik asit ve kimyasal oksitleyiciler kullanılarak sülfürlü minerallerin ya da karbonlu malzemelerin oksitlenmesi sağlanır. Bu işlemlerden sonra cevherler, kimyasal çözündürme için özütleme tanklarına gönderilirler.

Saflaştırma

Saflaştırma (ya da berraklaştırma işlemi) **basınçlı filtrelerde** yapılmaktadır. Oksijen giderme kulelerinde vakum altındaki çözeltiden oksijen uzaklaştırılmaktadır. Bu işlemlerden geçen çözelti çinko tozu ile temas ettirildikten sonra oluşan çökel, basınçlı filtrelerdeki siyanür çözeltisinden ayrılır. Daha sonra altın çökeleğine öncelikle sıcak H_2SO_4 liç uygulanır ve çözeltideki fazla çinko uzaklaştırılır. Geriye kalan kolon ürüne cüruf yapıcı ve ergitici maddeler eklendikten sonra ergitilmeye devam edilir ve kalıplara dökülür. Altın saflaştırılması işlemi ise, elektroliz yoluyla yapılır. Çinko ile çöktürmeyi kapsayan klasik sürecin işleyişi Şekil 10'da sunulmuştur (Acarkan, 1997).

Aktif karbon adsorpsiyonu (ve elektrolit) yoluyla cevher kazanma yönteminin esası ise, altın klorür ve siyanürün karbon tarafından adsorbe edilmesine dayanır. Bu yöntemin akım şeması Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Aktif Karbon adsorpsiyonu ile cevherlerden altın kazanılmasına ait genel akım şeması (Acarkan, 1997).

Yapılan işlemde, sıvı faza geçen altının katı-sıvı ayrımına gerek yoktur. Çözeltideki altın ise Katod üzerinde toplanır. Daha sonra, altın yüklenmiş gerecin elektrolizi ile altın saflaştırılır (Acarkan, 1997).

Siyanür özütlemesinde seçenek olarak Robert M. Hunter ve Frank M. Steward tarafından geliştirilen diğer bir yöntem de altının **biyo-katalizör tekniği** ile cevherden ayrılması işlemidir. Şekil 12'de akım

şeması gösterilen bu yöntem, siyanür kullanmayan ve çevreyi siyanür tekniğine göre daha az tehdit eden bir yöntemdir.

Altının biyo-katalizörlerle (bakterilerle) ayıklanması cevherin niteliğine bağlıdır. Temelde iki aşamadan oluşur. Bunlar; aerobik biyo-oksidasyon ve bisülfit ile yıkamadır. Bu aşamalardan önce, küçük boyutlara indirilmiş olan cevher biyo-oksidasyon ünitesinde bulunan tanelerin teması sağlanır. Bu ilk aşamada, Thiobacillus kullanılır. Bu bakteriler yaşamlarını devam ettirebilmek için gerekli enerjiyi inorganik sülfürlerden elde ederler.

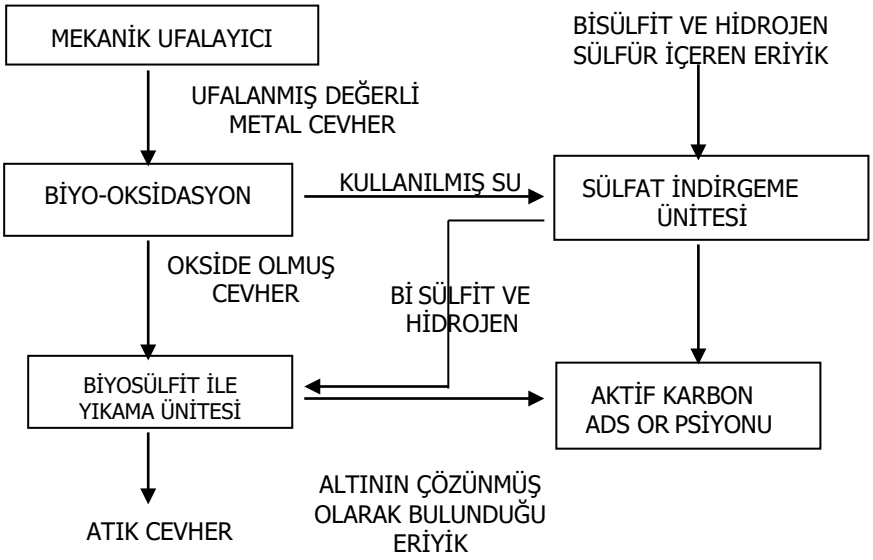
Suda toplanan altın daha sonra aktif karbon yöntemi ile tutulur. Bu yöntemde kullanılan bisülfitin siyanüre göre zehirliliği 200 kat daha azdır. Ayrıca, bu yöntemde kullanılan kimyasalların fiyatı siyanürle özütleme işleminde kullanılan kimyasallardan daha ucuzdur. Dünyada yılda yaklaşık 10 milyon dolar değerinde altın ve gümüş bu yöntemle ayrıştırılmaktadır (ÇMO,1998).

Demiri oksitleyen bakterilerin (T. ferrooxidants) de indirgenmiş değerdeki demiri oksitlemesi ile cevherin oksitlenmesinde önemli rolü vardır. Biyo-oksidasyon ünitesinde cevher parçacıkları ile temas eden bakteriler, cevherin yapısında bulunan altının sülfit ile yaptığı bileşikler, bakteriler yardımı ile okside olur ve sülfata dönüşür. Refrakter cevherlerin özütlenme süresinde kullanılan sülfürik asitin bertarafı de değerlendirilmelidir. Bu konu çoğu kez göz ardı edilmektedir.

$14Fe^{+3} + FeS_2 + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{+2} + 2S$ (T. ferrooxidants)
$15Fe^{+2} + 2S + O_2 \rightarrow SO^{-2}_4 + 16H^+$ (Thiobacilli)

Okside olmuş cevher ikinci aşamada bisülfit (HS^-) ve hidrojen sülfür (H_2S) içeren yıkama ünitesine gönderilir ve altının suda tamamen çözünmesi sağlanır.

$Au + H_2S_{(su)} + HS^- \rightarrow Au(HS)_{-2(su)} + 1/2H_{2(gaz)}$



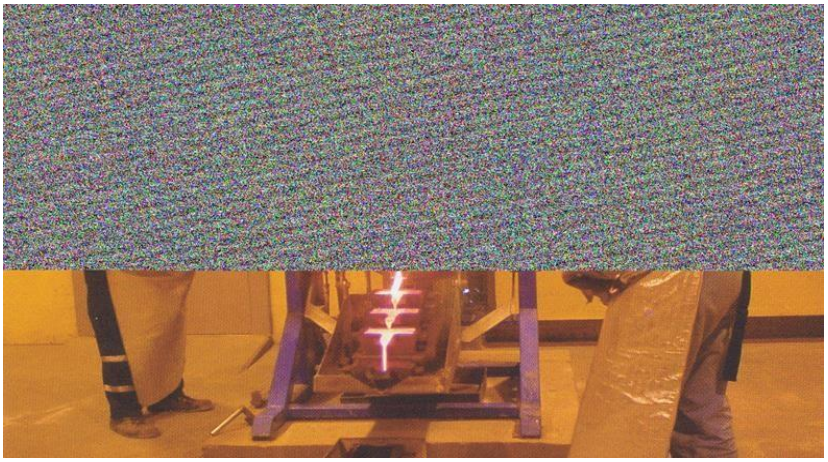
Şekil 12. Altının biyo-katalizör tekniğiyle ayırımının akım şeması (ÇMO, 1998).

Altın için uzun yıllar tek çözücü olarak kullanılan siyanürün tüm avantajlarının yanı sıra çevresel etkileri ve bilinen zehirleyici özelliği gibi dezavantajları nedeniyle başka çözücü reaktifler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Siyanür özütlemesine seçenek olarak geliştirilen diğer malzemeler (reaktifler) henüz laboratuvar ölçeğinde denenmektedir.

Sonuç olarak, altının üretim süreçlerinde; sıra ile cevherin üzerinde yer alan toprak örtünün kaldırılması (dekapaj işlemi), kırıcıya taşınması, mıcır boyutundaki karışımın değirmene alınması ve siyanürün eklendiği özütleme birimine aktarılması izlenir. Ortamın pH değerini dengelemek ve düşürmek için kireç kullanılır. Siyanürün karışıma eklenmesinin nedeni ise, altının siyanürle tepkimeye girerek çözünmesi ve sıvı faza geçmesidir. Bu işlem tamamlandıktan sonra çözeltinin altın ya da gümüş içermeyen kısmı, doğrudan arıtma birimlerine gönderilirken, cevher içeren kısmı diğer tanklara gönderilir. Bu sırada tanklara akışın ters yönünde aktif karbon yüklenir. Karbonun görevi çözünmüş altın ve gümüşü çamurun içinden sıyırmaktır. Altın ve gümüş karbonun yüzeyine tutunur. Bu çözelti eleklerden geçirilirken, pülp elekten elek altına geçmekte, karbon ise elek üstünde kalmaktadır.

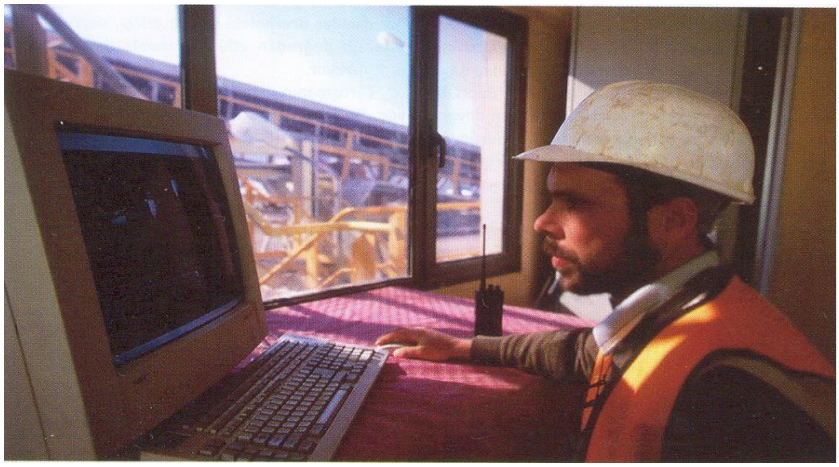
Elekte kalan karbon sıyırma kolonunda asit, su ve siyanürle yıkanır. Burada karbona yapışan altın ve gümüş karbonu terk etmektedir. Altın ve gümüş yüklü sıvı, elektrolit hücrelerinden geçirilmektedir. Bu hücrelerdeki gözeneklere altın ve gümüş tanecikleri toplanmaktadır. Gözeneklerdeki ürün, yaklaşık 1200 ^{o}C de ergitilerek potalara dökülür (Şekil, 13). Bu altına dore altın denir. Dore altın bakır, gümüş ve demir gibi metaller içerir. Dore altın rafineriye gönderilerek özel yöntemlerle birlikte olduğu metallerden arındırılıp 999.5-999.9 saflıkta altın haline getirilir. Sonunda, nihai ürün külçelere dökülür.

Altın üretim tesislerinde, yukarıda tanımlanan tüm süreçler ve işlemler programlanabilir lojik kontrolcü (programmable logic controller-PLC) bilgisayar birimine bağlı bir sistem aracılığı ile izlemek mümkündür. Böyle bir sistemin yönetim odası Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil, 13. Ergitme-rafinasyon (Fluxing-Refining) ve elde edilen dore altın eldesi (Casting).

2000 yılında Romanya' da altın madenlerinden yayılan siyanür 2,5 milyon kişiyi içme sularından yoksun bıraktı. Avusturyalı araştırmacılar kayaların arasındaki eser miktarlarda altın yiyen ve ardından bunu daha büyük külçelere boşaltan mikroorganizmaları buldular. Maden işletmecileri maden filizinden altın elde edilmesi amacıyla siyanür yerine, çevreye çok daha az zarar verebilecek bu canlılardan yararlanmanın yolları aranmaktadır (ATSDR, 1997).



Şekil, 14. PLC sisteminin yönetim odası.

Dünya'da halen ekonomik olarak üretim yapılabilen madenlerde altın içeriği 1 g/ton ile 15-20 g/ton arasında değişmekte ve altın üretiminde % 83'den yüksek bir oranda siyanür özütlemesi kullanılmaktadır. Altın gibi kıymetli metallerin üstün fiziksel ve ekonomik özellikleri yanında diğer madencilik türlerinden bir farkı da metal kazanımı sürecinde özellikle siyanürün kullanılmasıdır.

Cıva kullanarak altın üretimi

Siyanür dışında, altının üretiminde cıva ve nitrik asit gibi malzemeler de kullanılarak altın üretilmektedir. Cıva ile altın üretimi **"amalgamasyon yöntemi"** olarak bilinmektedir. Bu yöntem altın üretimine kullanılmış en eski yöntem olup altının cıva ile fiziksel olarak birleşip ortamdan ayrılması esasına dayanmaktadır. Cıvanın en önemli özelliği çok yüksek yüzey gerilimine sahip olmasıdır. Amalgamasyon işlemi altın ve gümüş içeren cevherlerden cıva yardımı ile altın ve gümüşün cıva içerisine alınması işlemidir. Bu özelliği ile cıva, altın, gümüş ve kalay ile AMALGAM adı verilen fiziki alaşımları kolayca oluşturabilmektedir. Cıva bu metallerin dışında amalgam yapmamaktadır. Cevherden üretildiği gibi cıva ile altın üretimi için tamamının amalagamasyon işlemine sokulması, cıvanın cevherin tamamı ile temas edebilmesi için üretilen cevherden belirli bir boyuta kırılıp öğütülmesi gerekmektedir (Yıldız, 2022b).

Amalgam ısıtılarak cıva buharlaştırılmakta dipte gözenekli altın tortusu kalmaktadır. Buharlaştırılan cıva da yoğunlaştırılarak tekrar kullanılabilir. Cıvayı altından ayırmak için kullanılan diğer gereç nitrik asittir.
Nitrik asit, cıva ile tepkimeye girerek cıvayı çözerken altın üzerinde herhangi bir etki oluşturmamaktadır

Cıva ile altın üretimi en az siyanür kadar insan sağlığı ve çevre açısından tehlikelidir. Cıva ile altın üretimi 3.dünya ülkelerinde yapılmaktadır. Günümüzde vatandaşına, vatandaşlarının çalıştığı, yaşadığı çevreye sahip çıkmayan, genellikle Afrika ülkeleri olmak üzere, çoğu geri kalmış 3.dünya ülkelerinde cıva kullanarak altın üretilmektedir (Yıldız, 2022c).

KULLANIM ALANLARI

Altın, estetik görünümü ve eşsiz fiziki özellikleri nedeniyle yalnızca sanayi ve sanat için önemli bir metal değil, aynı zamanda kalıcı eşya ve yatırım aracı olarak kullanılan önemli kaynaktır. Dünya altın üretiminin çok büyük bir bölümü, kuyumculuk sektöründe bir yatırım aracı olarak tüketilmektedir (Çizelge, 2). Ayrıca, fiziksel ve kimyasal açıdan çözünmez (inert) bir metal olması nedeni ile kaplama ve süsleme, elektrik ve elektronik, diş hekimliği gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Astronotların ışınımın etkisinden korunmaları amacıyla Apollo ile aya iniş modüllerinin çevresi altından bir levha ile kaplandı. Astronotların gözlerini güneşin ışınlarından korumak için siperliklerin altından ince bir zarla örtülmesi günümüzde de uygulanmakta olan bir yöntemdir.

Çizelge 2. Dünya'da altının kullanım alanları (DPT, 2000; Yılmaz, 2009'dan).

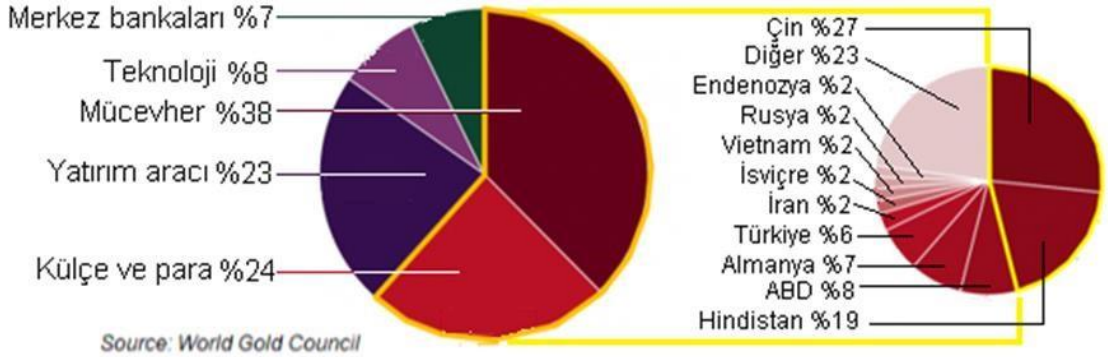
Sektör Adı	%
Kuyumculuk	50-70
Kaplama ve süsleme	4-6
Elektronik ve elektrik	5
Diş hekimliği	2
Dekoratif kullanım	2
Madalya yapımı	1
Resmi para	3
Külçe stokları	8
Diğerleri	3

Uzun bir süre, romatizmal eklem iltihaplamalarının en yaygın sağaltım yöntemi, hastaya düzenli olarak bir sıvı altın süspansiyonunu enjekte edilmesiydi. Bilim adamları yıllarca böyle bir uygulamaya neden gidildiğini bugün bile yeterli bir açıklama getiremiyorlar. Altının yazın güneşi yansıtması, kışın ise ısıyı tutması nedeniyle zenginlerin bazıları apartmanların camlarını altınla kaplatmaktadır.

Altın, elektrik-elektronik sanayinde de bol oranda tüketilmektedir. Saf metal olarak kullanımının yanı sıra; gümüş, platin ve palladyum gibi metallerle de alaşım halinde uzay endüstrisinde kullanılmaktadır. Ülkemizde, yaklaşık % 70 kuyumculukta, % 5 kaplama ve süsleme işlerinde, % 5 elektrik ve elektronik sanayinde, % 2 dişcilikte, % 18 diğer endüstrilerde tüketilmektedir. Dünya altın gereksiniminin yılda 2900-3500 ton dolayında olduğu tahmin edilmektedir.

Ülkemizde de kuyumculuk ve tasarruf amacı ile değerlendirilen altın daha fazladır. Türkiye altın talebinin 150 t/yıl düzeyinde olduğu ifade edilmektedir. Altın, ithalat ve geri dönüşüm yoluyla karşılanmakta olup, bir kısmının da gayri resmi yollardan ülkemize girdiği belirtilebilir. ABD'de 1991 yılında tahmini tüketim; mücevher ve sanat % 66, endüstri (başlıca elektronik) % 25 ve dişçilik sektöründe % 9 olmuştur. Günümüzde ise çeşitli ülkelere dair altın kullanım oranları Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 3. Çeşitli ülkelerin altın kullanım oranları (Kaynak: Dünya Altın Konseyi; 2020).



Altın tüketimini etkileyen etmenlerin başında altın metalinin geriye dönüşümünün çok yüksek oluşudur. Ayrıca altının korunması açısından altın alaşımlı bazı metaller yaygın olarak elektrik, elektronik ve mücevher olarak kullanılır. Bu ürünlerin çoğu, düşük altın içerikli, yüksek verimli kullanım standartlarını sürdürmek amacı ile sürekli olarak yeniden tasarımı yapılmaktadır.

Genel olarak palladyum, platin ve gümüş, altının yerine geçebilecek metallerdir. Gerçek altın tüketiminin ana kaynakları, gelişen Dünya'da özellikle Ortadoğu, Hindistan, Güneydoğu Asya ve Çin'den çıkmıştır. Çin, 1992 yılında 350 ton'dan fazla altın ile dünyanın en büyük altın tüketicisi olmuştur. Çizelge 2'de Dünya'daki altın kullanım alanları ve kullanım yüzdeleri sunulmuştur (DPT, 2000).

Nanoteknolojinin gelişmesi ile birlikte, istenilen boyutlarda altın taneciklerinin üretimi olanağı doğmuştur. Bu sayede nanoteknoloji çalışmalarında kanser tedavisinden iklim değişikliklerine kadar çok geniş bir alanda altın metalinden yararlanılmaktadır. Nano büyüklükte altının (nano altının) kullanıldığı başlıca yerler (Sarıer ve Önder, 2010):

1-Esnek elektronik malzeme üretimi için gerekli mürekkepler,
2-Elektronik cihazlarda kullanılmak üzere üretilen teller,
3-Kanser karşıtı ilaçların uygulanmasında ve kanser hücrelerinin yok edilmesi,
4-Su ve hava kirliliğini önlemeye yönelik katalizör üretimi, 5-
Elektriksel açıdan iletken ve antimikrobiyal tekstiller, 6-Yakıt
pilleri üretiminde katkı gereci olarak kullanımı.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Madenciliğin önemli evreleri 1. Bölümde sunulmuştur. Çevre sorunlar, altın madenciliğin her evresinde ortaya çıkabilir. Ocak işletmesinin yanı sıra cevher zenginleştirme evresinde gerekli çaba harcanmalıdır.

Atıkların bertarafında, özellikle doğal bozundurma, hidrojen peroksit oksidasyonu, Inco (International Nickel Company) SO_2/hava yöntemi ya da biyolojik arıtma evrelerinde (Yıldız, 2022) gerekli özen gösterilmelidir. Aşağıda altın madenciliğine özgü ocak işletmesi, cevher zenginleştirme, siyanürlü atıkların bozundurulması ve yönetimi, iyileştirme yöntemleri ve diğer hususlara dair bazı temel bilgiler sunulmuştur:

Ocak işletmelerinde, ocak yerinin hazırlanması dâhil yapılan tüm işlemler sırasında topografyanın büyük ölçüde bozulması, pasadan ileri gelen görüntü kirliliği, hammaddenin ocaktan çıkarılması sırasında partiküllerden ileri gelen hava kirliliği ve cevher zenginleştirilmesi sırasında ortaya çıkan çeşitli kirlilik türleri kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Ocak işletmelerine dair ayrıntılar Bölüm 1.2'de, çevresel etkiler ise bölüm 1.3'de sunulmuştur. Ocak işletmesini cevher yatağının özellikleri, cevher zenginleştirmesini ise cevherin mineralojisi belirler.

Türkiye'de, günümüzde altın madenciliğinde işletilebilir tenör değerinin 0.3 g/ton'a kadar inebildiği görülmektedir. Bu durumda, yaklaşık bir hesapla, cevher içinde ortalama altın tenörünü 1 g/ton kabul ederek, 1 ton altın üretimi için 1 milyon ton kayanın işletme işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, yerin derinliklerinde olan bu cevhere ulaşmak için yapılan açık ocak ya da galeri / şaft kazılarını da bu miktara eklemek gerekir. Hatta, nerede ise ortaya çıkan cevherin de atık olarak geri döneceği açıktır.

Madenin çıkarıldığı bölge aynı zamanda potansiyel olarak çevre kirliliğinin görüldüğü alan olarak da tanımlanmaktadır. Madenlerde zehirli etkileşimin en çok olduğu alanlar; maden çukuru, yeraltı işletmeleri, artık kaya sahası ve özütleme sistemi birimleridir. Bu bölgelerdeki etkileşime neden olan maddeler; siyanür, siyanür tuzları (siyanür metal karmaşıkları), ağır metaller ve asittir. Bu maddeler yeraltı sularında, yüzey sularında, toprakta ve havada maden işletilirken ve kapatıldıktan sonra da azalarak da olsa varlıklarını sürdürürler.

Altın madenciliğinde çıkan atıklar; kaya, artık cevher ve çeşitli kimyasallardır. Bu atıklar genellikle işletmenin yapıldığı alanda depolanıp bir bölümü madenin işletilmesi sırasında yeniden kullanılabilmekte ya da geri dönüştürülebilmektedir. Mineralin çıkarılması sırasında çıkan kaya parçaları, ayrıca bölgede kurulacak olan yapıların inşaatında da kullanılabilmektedir. Kaya parçalarının miktarı ve bileşimleri

bölgeye göre değişiklik gösterebilir. Bu gereçler hem oksitleri hem de sülfat bileşiklerini içerir. Altının kazanılması sırasında oluşan atıklar genellikle sodyum siyanür, bazı metaller, sülfatlar ve ürünleridir. Altın cevherinde bulunan elementler ise, cıva, arsenik, bizmut, antimon ve talyum'dur. Bu elementler, oksit, karbonat ve sülfat bileşikleriyle beraber bulunur ve elementlerin çözünme dereceleri değişkendir.

Cevher zenginleştirme sırasında siyanürün kullanılması en önemli sorunlardan biridir. Aslında siyanür, badem, kaysı, şeftali, kiraz, turp ve karnabahar başta olmak üzere çeşitli sebze ve meyvelerin yapısında eser düzeyde de olsa vardır. Ayrıca tuzda ve sigarada siyanür bulunur. Dolayısıyla insan bünyesi siyanüre pek yabancı değildir. Ancak, altının üretim sürecinde özellikle işletmede çalışanların ve işletmenin yakın dolayındaki yaşamın derinden etkileneceği göz ardı edilmemelidir.

Altın madenciliğinin temel süreci olan özütleme sonrası kalan çökel malzeme de yüksek yoğunlukta siyanür artıklarını içermektedir. Siyanür, işleme tabi tutulurken, bazı siyanür atıklar diğer bileşenlerle bir karmaşık oluştururlar. Özütleme sonrasında kullanılan **atık barajları ya da atık havuzları** işletme sırasında ve madenin kapatılması sonrasında da önemini koruyan yerlerdir. Onun için bu havuzların yapılacağı yerlerin diri faylar, heyelanlar ya da çığ felaketleri, sel ve taşkınlar gibi doğal süreçlerden etkilenmeyeceği yerler olmalıdır. Kullanılan tekniğe göre siyanür, siyanür-metal bileşikleri ve altın-siyanür çözeltileri atık barajı adı verilen atık depolama barajında tutulurlar.

Atık barajının tabanına, kısmen geçirgen kil katmanı, yapay bir katman (jeomembran) ve bu katmanın üstünde geçirgenliği olmayan sıkıştırılmış kil katmanı serilmektedir. Atık barajının tasarımı, ayrıca meydana gelmesi olası üç istenmeyen durum göz önüne alınarak yapılır. Bunlar;

-Sel ve aşırı yağış sonucu atık barajının taşması,
-Taban ve yan duvarlarda sızıntı olması,
-Depremler nedeniyle atık barajı kaplama sisteminin tahrip olmasıdır.

Atık barajlarında katı-sıvı faz ayırımının yanında, atık içinde bulunan zehirleyici ve kirletici unsur olan siyanürün doğal bozunması da gerçekleştirilmektedir. Tesisler için yer seçimi, inşaat, atık yönetimi, sızıntı izleme, tesisi kapatma ve düzeltme, tesisi kapatma sonrası izleme gibi her aşamada proses atıklarının çevresel etkilerinin en düşük düzeyde tutulması esas alınır. Altın madenciliğinde genellikle alıcı ortama atık su deşarjı olmadığından atık barajlarının taşkın, deprem gibi olağanüstü koşullarda bile baraj tabanının sızdırmazlığının ve baraj gövdesinin emniyetinin sağlanması oldukça önemlidir (Atalay, 1997).

Siyanürlü atıkların bozundurma yöntemleri

Atık barajına boşaltılan siyanürlü atıklar için çeşitli bozundurma yöntemleri kullanılmaktadır (Yüce, 1997). Bu yöntemlerden ilki, bileşik bozundurma prosesi'dir. Bu proses; buharlaşma, hidroliz, foto parçalanma, çözünme, kimyasal ve bakteriyel oksitlenme, çökelme gibi birçok işlemin bir arada kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Bu prosesi etkileyen parametreler ise, pH, sıcaklık, mor-ötesi ışınlar, havalandırma, siyanür derişimi, çözelti metal içeriği ve yüzey alanı/derinlik oranıdır. Bu prosesin avantajları arasında, ucuz olması, kullanımının kolay olması, siyanür derişimini 0.5 mg/L seviyelerine düşürebilmesi, demir bileşiklerini de bozundurabilmesi, kesikli ve sürekli arıtmaya uygun olması sayılabilir.

İkinci yöntem, hidrojen peroksik prosesi'dir. Bu prosesin de, yatırım masrafı az, proses tasarım işletmeciliği basit, kesikli ve sürekli arıtıma uygun, tüm metal siyanür bileşiklerini minimum düzeye indirebilmekte ve çamur miktarı fazla olmamakla birlikte siyanürün geri kazanımının olmaması, amonyak ve tiyosiyanatı uzaklaştırmaması ve bazı durumlarda reaktif giderlerinin yüksek olması bu prosesin dezavantajları arasında sayılabilmektedir.

Üçüncü yöntem SO_2-hava (INCO) prosesi'dir. Bu prosesin avantajlarına bakıldığında, bu prosesin kesikli ve sürekli arıtmaya uygun olduğu, dengeli demir bileşikleri dahil tüm siyanür bileşiklerini ve ağır metalleri çöktürerek tümüyle uzaklaştırabildiği görülmektedir. Bu prosesin dezavantajları ise, reaktif

giderlerinin yüksek olması, siyanürün geri kazanımının olmaması, bazı durumlarda amonyak, siyanat, tiyosiyanat ve toplam siyanürün uzaklaştırılması için ek yatırımın gerekli olmasıdır.

Dördüncü yöntem ise, alkali klorinasyon prosesi'dir. Yaygın olarak bilinen bu prosesin güvenli denetim olanağı vardır. Bu proseste ağır metaller hidroksit formunda çöktürülmektedir. Tiyosiyanat ise okside edilerek uzaklaştırılmakta ve zayıf asitle çözünen siyanür bileşikleri 0.5 mg/L, metal derişimleri de 0.1 mg/L değerlerinin altına indirilebilmektedir. Ancak bu prosesin, yüksek siyanür ve tiyosiyanat derişimlerinde fazla reaktif tüketiminin olduğu, siyanojen klorür çıktısını önlemek için hassas pH denetiminin gerektiği, demir-siyanür bileşiklerini uzaklaştırmak için ek arıtma prosesine gereksinim olduğu, siyanürün geri kazanılamayıp sadece parçalandığı ve sucul hayata zehirli etkide bulunan serbest klorür ve kloraminlerin uzaklaştırılmasının gerekli olduğu görülür.

Son bozundurma yöntemi ise, biyolojik arıtma prosesi'dir. Siyanürün güneş ışığı, bakteriler ve bitkiler tarafından doğal biçimde bozundurularak bileşenlerine ayrılabileceği bilinmektedir. Bu prosesin kullanımı basit, denetimi kolaydır. Yöntem, demir-siyanür bileşikleri dâhil tüm siyanür bileşiklerine uygulanabilir. Ağır metaller ve tiyosiyanat bu prosesle uzaklaştırılabilir. Ayrıca bu prosesten elde edilen atıkların kirletici ve zehirleyici etkisi sınırlıdır. Ancak bu prosesin de yatırım maliyetinin yüksek olması, endüstride uygulama örneğinin olmaması, uygun bakteri türlerinin bulunma güçlüğünün olması, kesikli çalıştırılamaması, soğuk iklimlerde uygulama güçlüğünün bulunması ve siyanürün geri kazandırılamaması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Yüce, 1997).

Tesislerin atıkları, yer çekiminden yaralanılarak bir boru hattı ile ya da pompa kullanılarak atık barajına gönderilir. Atıklar, barajın çevresini dolayan bir dağıtım borusunu izleyerek boru boyunca eşit aralıklarla yer alan çıkış deliklerinden havuza boşaltılır. Atıkların bu şekilde denetimli boşaltılması ile ince atık tabakaları oluşturulur ve yüksek buharlaşma hızıyla, çabuk kuruma ve gerekli nihai baraj hacminde azalma sağlanır.

Atık barajının yönetimi, atıktaki katıdan çok, su ile ilgilidir. Barajda biriken su miktarı, çevre üzerindeki etkiyi de haliyle artırır. Ayrıca atık barajında birikecek suyun miktarını azaltmaya yönelik önlemler, barajın ilk yatırım tutarını düşürdüğü gibi işletme ve kapatma maliyetlerinde büyük tasarruf sağlamaktadır.

Altın madenciliğindeki en büyük risk, atık barajlarından yeraltı sularına doğru siyanürlü suyun sızmasıdır. Özütleme yapılan yığınlarda da aynı risk vardır. Bunun için atıkların depolandığı alanların çevresindeki yeraltı sularının izlenmesi ile atık barajından kaynaklanan ve kirlilik taşıyan bir sızıntının olup olmadığı saptanır. Yeraltı sularını izleme programı atık barajının yapımından önce başlar, atık depolama süresince ve atık depolama işleminin sona ermesinden sonra da uzun yıllar boyunca devam eder. İzleme işlemi, yeraltı sularına kadar inen izleme kuyularından alınan su örneklerinin kimyasal analizi ile yapılır. Mevcut maden rezervinin işlenip tüketilmesinden sonra cevher zenginleştirme tesisinin çalışması son bulur.

İyileştirme (Rehabilitasyon) çalışmaları, cevher zenginleştirme evresini izler. Önce, atık barajının kapatılması ile ilgili çalışmalar başlar. Atık barajlarının kapatılması, kirli atık tozlarının rüzgârla çevreye taşınmasını önler. Rüzgâr ve yüzey sularının neden olacağı erozyonu önleyerek baraj duraylılığı sağlanır. Yüzey sularının neden olacağı sürekli sızıntılar önlenebilir. Atık barajına estetik bir görünüm kazandırmakta ve atık barajının kapladığı alanı yeniden kullanıma sunmak mümkündür.

Siyanür kadar önemli bir çevre sorunu da madencilik ve cevher hazırlama sırasında oluşacak toz sorunudur. Tesiste oluşacak tozlar, silisli kırıntılar içerirler ve bunlar da kanser yapıcıdırlar. Bu tozlar, tesisin yakınındaki yerleşim yerlerini ve çevresel değerlerini olumsuz yönde etkiler (ÇMO, 1998; JMO, 1997). Havada uçabilen ve çapı 10 mikrondan küçük olan toz tanecikleri, ağaç yapraklarının yüzeyindeki solunum gözeneklerine yerleşerek kapanmalarını engellerler. Solunum gözeneklerini kapatamayan yaprak, devamlı su kaybeder. Kaybedilen bu suyun karşılanamaması durumunda bitki kurur. Ayrıca

bitkinin toz tabakası ile kaplanması sonucu karbonhidrat sentezi için CO_2'in alınması ve solunum için O_2'nin alınması engellenir. Bu durumda da bitki ölebilir (Atalay, 1997; Kantarcı, 1997).

Ayrıca, madende çalıştırılan çeşitli tipteki makine ve ekipmandan ya da cevher ve artık kayaların patlatılması sırasında ortaya çıkan ani gürültüler de önemli birer kirlilik kaynaklarıdır (ÇMO, 1998). Her türlü gürültü sağlık sorunlarına yol açar. Dolayısıyla gürültüyü kaynağında, yayıldığı alanda ya da algılandığı yerde denetlenmelidir.

Sonuç olarak, cevher zenginleştirme işlemleri açık havada yapıldığında, buharlaşma yolu ile atmosfere karışan zehirli gazlar (hidrojen siyanür) yağmur ile birlikte toprağa düşer, yüzey ve yeraltı sularına ve toprağa karışır; oradan besin zinciri yolu ile yüz yıllarca sürecek bir çevre kirliliği yaratır. Siyanürün atmosferde yarılanma süresi 276 gündür. Yani böyle bir kirlilik uzun süre devam ederse, doğanın kendini toparlaması için yüz yıllar gerekecektir. Dolayısıyla. Kimyasal bozundurma yöntemiyle çözeltideki siyanür derişimi, atık depolama standartlarına uygun olarak 1 ppm (1mg/l) seviyesine düşürüldükten sonra alıcı ortama verilmektedir.

Altın işletmeciliğinde gözetilmesi gereken diğer hususlar

1. Açık işletmeye yönelik ocağın açılması sırasında, sıyrılan bitkisel toprak örtünün depolanması ve iş bitiminde sahanın yeniden düzenlenmesi sırasında kullanılmasına dönük planlama yapılmalıdır.

2. Açık işletmede, ocak şevlerinin kayma ve göçmelere neden olmayacak biçimde planlanması gerekmektedir. Örneğin şevlerin açılarını dik olması, kayma ve göçmelere neden olabilir. Ayrıca ocağın bir güvenlik bandı oluşturulmalıdır.

3. Atık barajı tabanının geçirimsiz kil katmanlarıyla ya da yapay membranlarla örtülmesi ve alanın ayrıntılı incelenmesi sırasında;
   - Kayatürü özellikleri ile ayrıntılı stratigrafik düzenin ortaya konulması ve yapısal tüm unsurların haritalanması,
   - Kaya türlerinin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi,
   - Kaya türlerinin gözenekliliği, geçirimliliği, sıkışabilirliliği, dayanımlılığı gibi temel mühendislik özelliklerinin ortaya konulması gerekmektedir.

Atık barajı da tabanı oluşturan kaya türlerinin dayanımlılığına göre bir yük taşıyabilir. Bu yükün fazla olması durumunda atık barajı göçebilir. Böyle bir durumda, konumuna göre açık ocağın ağır metal ve siyanür karmaşıkları ile yüklü çamur ile dolmasına yol açar ki, bu süreçte insan yaşamı, ekonomik kayıplar ve kalıcı çevre felaketleri de ortaya çıkar. Atık barajı tabanı kadar baraj gövdesinin gücünün de önemli olduğu göz ardı edilmemelidir.

Atık barajının pasalarla aşırı yükseltilmesi ya da atık barajının dolması, atık çamurun ve pasanın uygun olmayan amaçlarla kullanılması, atık barajına, denetimler öncesi, tankerlerle hipoklorit dökülmesi, sadece siyanür derişimini hızla çözmeye ve düşürmeye yol açar, temel sorunları çözmez.

Sonuç olarak atık barajlarının, yıkıcı doğal afetler sonucu yıkılması ya da sızma ve taşma sonucunda çevreye çok büyük miktarlarda siyanürlü ve ağır metal yüklü akışkan çamurların yayılmasına yönelik önlemler alınmalıdır. Bu konuda ulusal ve uluslararası ölçütlere uyulmalıdır.

Örneğin, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından belirlenen atık havuzu için siyanür limit değeri 50 mg/l ve alıcı ortama deşarj siyanür limit değeri ise 0.5 mg/l'dir. Ayrıca çevre ölçümleri kapsamında toz, gürültü, patlatma (basınç ve vibrasyon), havada hidrojen siyanür gazı ve tesis atıkları (siyanür ve metaller dâhil) ile ilgili ölçümler günlük olarak yapılmalıdır.

4. İşletme sırasında, yapılan uygulamanın denetimleri su kaynakları açısından da yürütülmelidir. Örneğin, gözlem kuyuları aracılığı ile yeraltı su düzeylerinin yanı sıra, kuyularda ağır metaller açısından bir kirliliğin oluşup oluşmadığı, yani yüzey ve yer altı sularının kalitesi titizlikle izlenmelidir.

5. Ekonomiye katkının (işletmenin rezervi ile yapılacak harcamaların) yanı sıra çevreyi koruma ve sosyal sorumluluk gözetildiğinde faaliyet "Sürdürülebilir kalkınma" ilkelerine uygun bir yapı sunmalıdır.

6. İşletme kapatıldıktan sonra sıvı ve katı atıkların uzaklaştırılması ve faaliyet yapılan alanların, olabildiğince maden çalışmaya başlamadan önceki kullanım haline getirilmesi, yani doğanın eski haline getirilmesi (rehabilitasyon) planlanıp gereği yerine getirilmelidir. Atık depolama tesisi maden bitiminden sonra susuzlaştırılarak, kaya dolgu malzemesi ve nebati toprak ile örtülmeli ve işletmeden etkilenen tüm alan yeniden ağaçlandırılmalıdır.

Madencilik, toprağın geçici bir süre için kullanımına yönelik bir süreçtir. Bu faaliyetlerin gerçekleştiği alanlar, uygulanacak rehabilitasyon işlemlerinden sonra yeniden tarım ve besicilik için kullanılabilir duruma getirilmelidir. Sonuç olarak rehabilitasyon aşamasında madenin üretildiği arazi ve atık barajları ve siyanür özütleme yığınları ayrı ayrı ele alınıp değerlendirilmelidir.

Altın madenciliğinde, ÇED raporunun hazırlanması zorunluluğu vardır. Başlıca çevresel etkiler arasında yüzey toprağının kaldırılması, ağaçların kesilmesi, olası toprak kaymaları, patlatma işlemlerinin neden olabileceği sorunlar, tarım arazilerinin kullanımı, yerleşim alanlarının taşınması, yer altı sularının kirlenmesi, flora ve faunanın bozulması gibi sorunlar sayılabilir. Ayrıca denetim ve bunun için gerekli teknik donanımın yetersizliği altın madenciliğinde risk yönetimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Altın madenciliğinin sosyal ve ekonomik etkilerini de anlamak ve doğru değerlendirmek önemli bir konudur. Ülkelerin çoğunda, altın madencisi şirketlerin gelir vergisi ve diğer kurumsal vergiler devlete doğrudan ödenmektedir.

Ödenen vergiler toplam % 60 iken, şirketlerden alınan Devlet Hakkı ve arazi kiraları ancak % 15'dir. Altın madenciliği yapılan ülkelerin hükümetleri, doğal olarak, altın madenciliğinden elde edebildikleri gelirleri en yüksek düzeye çekmek istemektedirler. Yani bu ülkeler, devlet hakkından ve devlet arazisine ait kiralardan kazanabildiğinden çok daha fazlasını altın madencisi şirketlerin üretim çalışmalarından kazanmaktadır. Dolayısıyla gelirlerini maksimize etmek isteyen hükümetler, altın madenciliğinin üretim çalışmalarını destekleme ve kolaylaştırma yönünde çaba göstermelidir (Oygür, 2015).

25 hektar ve üzeri alanlarda metallere dair yapılan projeler ile metal sanayi tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 faaliyetler listesinde yer almaktadır. Bu tür projeler için kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanması zorunluluğu vardır. Ayrıca altının gerek üretim süreçlerinde, gerekse cevher zenginleştirme süreçlerinde, kullanılan kimyasallar nedeniyle, kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanmasında yarar vardır.

SONUÇLAR

Altın madeni insanın yaşamına girmemiş olsaydı herhangi bir eksiklik hissedilir miydi? Dünya'da üretilen altının % 85'i, süs eşyası ya da mücevher olarak kullanılmaktadır. Yani, böyle bir süs eşyası olmasaydı yaşam düzenimizde büyük bir değişim olur muydu? Bu sorulara verilecek yanıt, her insanın değer yargılarına göre değişmektedir (Yılmaz, 2009).

Ne var ki, insanların zenginlik göstergesi, yatırım aracı ve uluslararası gücün simgelerinden biri olan altın, günümüzde vazgeçilemeyen metal madenlerden biridir. Altın ülkeler için ekonomik potansiyel içeren bir konumdadır. Bu nedenle günümüzde altından vazgeçilememektedir. Dolayısıyla, altın cevherinin aranmasında ve üretilmesinde kullanılan teknolojiler nedeniyle ortaya çıkan atıkların çevreye

olan olumsuz etkilerini en alt düzeye indirmeliyiz. Altın madenciliği, cevherin bulunması ve işletme öncesi hazırlanan ÇED ilkeleri doğrultusunda sürdürülmelidir. Bu çerçevede, cevher zenginleştirme, tesis atıkları, çevresel etkileri, önlemler (Karadeniz, 1996), altın madenciliğinin ve üretiminin çevresel etkileri (Müezinoğlu, 2005) irdelenmiştir.

Siyanür özütlemesi sürecinde, siyanürlü çözeltinin yeraltına sızarak veya barajdan taşarak toprağı ve yeraltı suyu ile yüzey suyunu kirletmesi veya buharlaşma yoluyla HCN biçiminde atmosfere karışması çevre ve insan sağlığı açısından bir risk oluşturmaktadır. Ancak atıklardaki siyanürün bertaraf edilmesi amacıyla çeşitli bozundurma yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca Güneş ışığı, bakteriler ve bitkiler tarafından doğal olarak bozundurulabilir ve bileşenlerine ayrılabilir.

Yapılan araştırmalarda, atık havuzuna verilen proses suyunun, siyanür derişimine bağlı olarak 512 ay arasında tümüyle bozunduğu belirlenmiştir. Öte yandan tek ve kısa süreli bir siyanür dozunun, yaşam ve sağlık için tehlike sınırı 60 mg/m^3; sürekli olarak siyanürle ilişkili bir işte çalışanlar için 8 saatlik işgünü boyunca deriye doğrudan temas veya soluma sınırı 11 mg/m^3'tür (US EPA, 1990). Yetişkin bir insan için ağızdan alınan serbest siyanürün RfD (etkisi gözlenmeyen referans doz) değeri 0.05 mg/kg vücut ağırlığı/gündür (ATSDR, 1997).

Dünya Sağlık Örgütü ile Avrupa Birliği içme suyu standardı 0.05 mg/l siyanürdür. Ülkemizde de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre 1. sınıf içme suyu 0.01 mg/l, 2. sınıf ise 0.05 mg/l ve kullanma suyu 0.1 mg/l siyanür içerebilir. Çevre Bakanlığı tarafından yayımlanmış olan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre siyanürlü atıkların düzenli depolanma ölçütü 1 mg/l.

Ancak, Türkiye'de çevre konusundaki denetimlerin yeterli olduğu söylenemez. Madencilikte işletmeye geçmeden önce, denetim konusu ele alınmalıdır. Daha sonra Dünya'da yapılan altın işletmeciliğinde olduğu gibi, yukarıda sunulan sınır değerleri ve en son teknolojiler ışığında altın işletmeciliği yapılmalıdır. Ülkemizde altın madeninin işletilebilir ve potansiyel sahalar ile altının yan ürün olarak elde edilebileceği sahalar Şekil 15'de görülmektedir. Söz konusu harita irdelendiğinde ülkemizin altın potansiyelinin kayda değer bir düzeyde olduğu söylenebilir.



Şekil 15. Türkiye'nin altın madenleri sahaları
https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/altin madenleri

Türkiye'de, 2002 yılında başlayan altın madenciliğinde, 2020 yılına kadar olan süreçte, yıllara göre üretim 1-33 t/yıl arasında değişim göstermiş olup, ortalama yıllık üretim yaklaşık 20 t/yıl dolayındadır. Kimi yıllarda 42t/yıl üretim de yapılmıştır.

Madenin çıkarılacağı bölgedeki yerel halkın, tüm sivil toplum örgütlerinin, teknik kuruluşların kaygılarını giderilecek biçimde altın madenciliği yapılandırılmalıdır. Altın madenciliğinin çevre üzerindeki ve özellikle ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri vardır. Oysa, bu kaynaklar, insanlığın ortak malıdır. Dolayısıyla diğer doğal kaynakları gibi altının da bir kaynak olarak değerlendirilmesi sırasında, yöre halkı başta olmak üzere kaynağın getirisi (yani serveti) ile çevreye vereceği olumsuz etkileri birlikte değerlendirmekte yarar vardır.

Madencilerin, Çevre Yönetim Sistemi'ni başarıyla hayata geçirebilmelerinin bir yolu da toplumla kurulacak olumlu ilişkiden geçmektedir. Özellikle yöre halkı ve genelde toplum, konunun bütün taraflarını kapsayacak şekilde projenin yararları ve riskleri hakkında bilgilendirilmelidir. Bazı öneriler aşağıda sunulmuştur (Oygür, 2014):

- Toplumla iletişim, projenin planlama evresinde, yani mümkün olduğu kadar erken başlatılmalıdır.
- Merkezi ve yerel kamu yönetimlerinin desteği mutlaka alınmalıdır.
- Programa katılacak taraflar önceden belirlenmeli ve dâhil edilmelidir.
- Yörede etkisi olan Sivil Toplum Kuruluşları (STK) da çağrılmalıdır.
- İlgili kamu kurum ve kuruluşlarının temsilcileri ile yerel kanaat önderleri de programda yer almalıdır.
- Tüm katılımcılar proje hakkında bilgilendirilmeli ve onlardan geri dönüş mutlaka sağlanmalıdır.
- Kadınların programa katılması için özel çaba gösterilmelidir.

Günümüzde altın madenlerinin işletmesinin ülkemize ciddi bir katkısı olmadığı gibi başta kaynak kaybı, çevre kirliliği, doğal yıkım gibi pek çok olumsuzluğu da beraberinde getirmektedir. Özellikle altın madenlerinin yabancı şirketler ve yerli ortaklarınca işletilmesinde kamu yararının olmadığı göz ardı edilmektedir. Bu anlamda; altın madenlerinin işletilip işletilmemesi için öncelikle altın üretimin gerekliliği ile çevresel ve diğer alanlardaki etkileşimleri de dikkate alınarak ortak akıl tarafından karar verilmelidir (Yıldız, 2022).

Sonuç olarak doğal kaynaklar, ülkenin ve kaynakların üzerinde yaşayan halkın yararı (insani, çevresel, sanayi gibi, her türlü yararlar) gözetilerek değerlendirilmelidir. Bu doğal kaynaklar işletilirken, bilimsel yöntemler, uluslararası kabul görmüş işletme yöntemleri ve ÇED uygulamaları birlikte ele alınmalıdır. Ancak "**Sürdürülebilir kalkınma**", yani ekonomik değerlerle sosyal ve çevresel değerlerin birbirini dengelenebildiği koşullar varsa altın madenciliğinden vazgeçilmemelidir. Bu koşullar yoksa altın madenciliği için koşulların ileride oluşabileceği öngörülerek, altın kaynakları gelecek kuşakların değerlendirmesine bırakılmalıdır. Altına dair faaliyetlerinin gerçekleşeceği alanlar, mutlaka iyileştirme çalışmaları ile tarım ve besicilik ya da başka bir amaçla yeniden kullanılabilir örnek konumlara getirilmelidir.

TEŞEKKÜR

Altın konusuna dair metin, değerli arkadaşım Necati Yıldız tarafından irdelenmiştir. Sayın Yıldız'ın katkıları ve önerileri bölümün içeriğinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Kendisine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Acarkan, N., 1997, Altın-Gümüş Üretiminde Modern Yöntem: Siyanür Prosesi, Altın Madenciliği ve 1Çevre", Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 61-77 s.

Atalay, Ü., 1997, Atık Barajları Yapımı, İşletilmesi ve Rehabilitasyonu, "Altın Madenciliği ve Çevre", Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 89-118 s.

ATSDR, 1997, Minimal Risk Levels (MRLs), Cyanide, CAS 000143-33-9, US Department of Heath and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Release.

Aydal, D., 2000, Altın ve Jeolojisi, AÜ. Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü (özel baskı), Ankara, 82 s.

Çelik, H., Mordoğan, H. ve İpekoğlu, Ü., 1997, Siyanürlü altın üretim tesisi atıklarının arıtma yöntemleri. Madencilik, c. XXXVI, s.1, 33-45.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
ÇMO, 1998, Altın Bergama-Demokrasi, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, 265 s.
DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler alt komisyonu, Değerli metaller çalışma grubu raporu, Ankara,26 S.
Dünya Altın Konseyi, 2020, Çeşitli ülkelerin altın kullanım oranları. 2020 yılı verileri.
Grolier International Americana Ansiklopedisi.
Hollister, V., 1985, Discoveries of Epithermal Precious Metal Deposits in Case Histories of Mineral Discoveries, Published by the Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers inc., New York, Volume 1, 164 s.
https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/altin madenleri
JMO, 1997, Bergama-Ovacık Altın İşletmesi Girişimi Konusunda TÜBİTAK-YDABÇAĞ Uzmanlar Komisyonu Raporu'nun Eleştirisi, TMMOB-Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No 75, Ankara, 195 s.
Kantarcı, D., 1997, Madencilik ve Ormancılık, "Altın Madenciliği ve Çevre", Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 119-134 s.
Karadeniz, M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Atıkları, çevresel etkileri, önlemler. İstanbul Offset Basın Yayın San. Tic. AŞ., Güneşli sok. 21/1, Çobandere- İstanbul, 332s.
MTA, 1994, Mineraller, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını: Ankara, 72 s.
MTA, 1995, MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Doğal Kaynaklar Envanteri: Sivas ili doğal kaynaklar envanteri, Sivas, 275 s.
MTA, 1999. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt Dairesi Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik (Metal Madenler) Özel İhtisas Komisyonu "Kıymetli Metaller Madenciliği" Raporu, Ankara, 63 s.
Müezinoğlu, A., 2005, Altın madenciliğinin ve üretiminin çevresel etkileri: Çevre Bilim ve Teknoloji (TMMOB ÇMO yayını), 2/3, 261-283.
Oygür, A. V., 2014, Madencilik ve sürdürülebilir kalkınma. Sektörden Haberler Bülteni, 2014 Mayıs ayı sayısı, 86-92.
Oygür, A. V., 2015, Altın madenciliğinin sosyal ve ekonomik etkileri üzerine (www.madencilikturkiye.com).
Sarıer, N. ve Önder, E., 2010, Altın: Nanoteknolojinin Hizmetinde Soylu Bir Metal. Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji, 1239, s.14.
Sillitoe, R.H., 1983, Geological Association of Canada, Special Paper 40, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 403-417 s.
Yannopoulas, J.C., 1991, The Extractive Metallurgy of Gold, Van Nostrand Reinhold, USA.

Yıldız, N., 2022a. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, 4 Cilt, (IV. Baskı), Ertem Yayınevi, Ankara, 1900 s.
Yıldız, N., 2022b. Altın Madenciliği Notları, yildizn53@gmail.com
Yıldız, N., 2022c. Cıva kullanarak altın üretimi 'Amalgasyon Yöntemi' Notları, yildizn53@gmail.com Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.
Yüce, E. ve Önal, G., 1997, "Altın Madenciliği ve Çevre", Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı, Ankara, 2360 s.

2. 2, BAKIR

GENEL BİLGİLER

Bakırın önemi insanlık tarihinde, çok eski çağlardan beri bilinmektedir. Elazığ-Ergani bakır yatağı 8.000 yıllık bir geçmişe sahiptir. İnsanlar, bakırı günlük yaşamlarında süs eşyası, silah ve el sanatlarında kullanmış olup uygarlık ilerledikçe bakıra olan gereksinim daha da artmıştır. Günümüzde 11 milyon tonun üzerine çıkan bakır kullanımı, bu metali en çok kullanılan ikinci metal durumuna getirmiştir.

Bakıra olan sürekli talebin artışı sanayideki gelişmelerle orantılıdır. Bakırın endüstrileşme ve makineleşmedeki yeri artık tartışmasız kabul edilmiştir. Gelecekte Güney Amerika ve Doğu Avrupa ülkelerinin bakıra olan gereksinimlerinde önemli artışlar olacağı tahmin edilmektedir. Gelişmiş ülkelerde kişi başına yıllık bakır kullanımı 10 kg'dır. Bu rakam, az gelişmiş ülkelerde 1-2 kg arasında değişmektedir. Türkiye'de ise bu değer 1.8 kg'dır.

En geniş kullanım alanı, sırasıyla elektrik üretimi ve iletimi ile ilgili tesislerde, inşaatta, ulaşım makine ve teçhizat yapımındadır. Sonuçta, ekonomik gelişmelere bağlı olarak yaşam ölçütlerinin sürekli yükseldiği günümüz dünyasında bakıra olan talebin devamlı olarak artacağı, bazı kullanım alanlarında ikame malzemesi bulunsa bile bakırın güncelliğini daima koruyacağı gerçeği anlaşılmış bulunmaktadır.

Dünya'da bilinen bakır rezervlerinin, 60 yıl kadar talebi karşılayacağı tahmin edilmektedir. Büyük madencilik firmalarının arama programlarında bakır, en önde gelen madenlerden biridir. Dolayısıyla, günümüzde en fazla aranan maden bakırdır. Yeni bakır yataklarını bulma olasılığı yüksek olan Şili, Peru, Meksika gibi ülkelerde arama yatırımları giderek artmaktadır (Ray, 1984). Dünyanın en önemli bakır yatakları bir Güney Amerika ülkesi olan Şili'de bulunmaktadır. Şili, 200 milyon ton bakır rezervi ile dünya bakır rezervlerinin yaklaşık yüzde 23'üne sahiptir. Şili'yi 92 milyon ton rezerv ile Peru, 88 milyon ton rezerv miktarı ile de Avustralya takip etmektedir.

Türkiye'de de bakır aramalarına önem verilmektedir. Bu konuda, kaynak finansmanına ve deneyimli teknik personel ile arama makine ve teçhizatına gereksinim duyulmaktadır. Jeolojik yapısı, Türkiye'nin benzeri olan ülkelerde büyük miktarlarda bakır rezervleri saptanmıştır. Türkiye'de büyük bakır yataklarının bulunması olasılığı yüksektir. Ancak bu amaçla arama yapmak isteyen özel kuruluşlara da kamu desteği gibi bazı kolaylıkların gösterilmesi gereklidir.

Dünya görünür bakır rezervleri, metal içeriği olarak 321 milyon ton dolayındadır. Bu rezervin % 22'sine sanayileşmiş ülkeler, % 18'ine Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) ve Doğu Avrupa ülkeleri, % 2'sine OECD ve %58'ine gelişmekte olan ülkeler sahip bulunmaktadır. Türkiye'nin Dünya bakır rezervindeki payı ise % 0,3'tür. Dünya'da bakır üretimi, sülfürlü ve oksitli bakır cevherlerinin madencilik yöntemleri ile çıkarılması, zenginleştirilmesi ve değerlendirilmesi ile yapılmaktadır. Sülfürlü bakır cevherleri genellikle yüzdürme yöntemi ile zenginleştirilerek izabe işlemlerine tabi tutulmak suretiyle blister bakır üretilmektedir.

Bakır sektöründe, maliyetleri düşürmek ve daha ekonomik bakır üretmek için acil önlemler alınması gereği ortadadır. Bu nedenle Türkiye, bakır sektöründe yüksek olan üretim maliyetlerini düşürecek ve uluslararası piyasalarda rekabet edebilecek önlemleri almak zorundadır.

Türkiye bakır madenciliğinde özel sektör etkindir. Bu sektörde eskiden faaliyet gösteren iki önemli kuruluş ETİBANK ve Karadeniz Bakır İşletmeleri'dir (KBİ AŞ). Bu kuruluşların bakır sektöründeki uğraşı alanları cevher arama, cevher çıkartılması, cevher zenginleştirme ve izabe idi. İzabe ile üretilen blister bakır, piyasanın gereksinimlerinin bir kısmını karşılamak için rafine edilmek üzere özel sektör kuruluşlarına pazarlanmaktaydı. Günümüzde, özelleştirme kapsamında, ETİBANK ve KBİ'ye ait bakır sahaları özel sektöre devredilmiştir. Özel sektör tarafından bulunan yeni bakır yatakları da işletilmeye başlanılmıştır.

ÖZELLİKLERİ



BAKIR

Kimyasal Bileşimi: Cu

Kristal Sistemi: Kübik

Kristal Biçimi: Nadiren kübik kristaller halinde, çoğunlukla uzunlamasına yassı biçimli, masif

Sertlik: 2.5-3; Ergime Noktası: 1083-1084 ^{0}C

Özgül Ağırlık: 8.93-8.94

Parlaklık: Metalik

Ergime Isısı: 43 kcal/kg

Renk ve Şeffaflık: Soluk kırmızı, kahverengi, opak

Çizgi Rengi: Metalik bakır kırmızısı

Ayırıcı Özellikleri: Renk ve kırılganlık, nitrik asitte kolay çözünürlük

Bulunuşu: Bakır içeren sülfür yataklarının oksidasyon zonları, yaygın oluşum ortamıdır.

KALKOPİRİT

Kimyasal Bileşimi, $CuFeS_2$

Kristal sistemi, Tetragonal

Kristal biçimi, Tetrahedral kristaller şeklinde, genellikle masif

Sertlik, 3.5 – 4.0; ***Özgül Ağırlık***, 4.35 - 4.40

Dilinim, {011}

Renk ve Şeffaflık, Pirinç sarısı; opak

Çizgi Rengi, Yeşilimsi siyah; ***Parlaklık***, Metalik

Ayırıcı Özellikleri, Rengi, çizgi rengi; yumuşaklığı ile pritten, sertliği ile altından ayrılır.

Bulunuşu, Birincil olarak magmatik kayalarda ve hidrotermal damarlarda pirit, pirotin, kassiterit, sfalerit, galenit gibi cevher mineralleri ve kuvars, kalsit, dolomit gibi gang mineralleri ile birlikte bulunur. Bu mineraller, porfiri bakır yataklarında oluşan önemli minerallerdir.

Şekil 1. Bakır elementinin ve bir bakır mineralinin özellikleri (MTA, 1994).

Doğada sabit olarak da bulunan bakırın bilinen 250'ye yakın mineralinden ancak 10-15 kadarı ekonomik önem taşımaktadır. Bunların başlıcaları şunlardır:

Sülfürlü mineraller: Kalkopirit ($CuFeS_2$), Bornit (Cu_5FeS_4), Kalkosin (Cu_2S) ve Kovelin (CuS).
Karmaşık mineraller: Burnotit ($PbCuSbS_3$), Enarjit ($Cu_3(As,Sb)S_4$), Tetrahedrit ($Cu_{12}\ Sb_4\ S_{13}$).
Oksitli mineraller: Kuprit (Cu_2O_3), Tenorit (CuO), Malahit [$Cu_2CO_3(OH)$],
Azurit [$Cu_2(CO_3)_2(OH)_2$], Krizokol ($CuSiO_3.2H_2O$)

Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği özellikleri, bakırı, elektrik santralleri ve iletken malzemenin vazgeçilmez gereci haline getirmektedir. Soğuk hava makine ve teçhizatında, paslanmaz özelliğinden ötürü nakliye vasıtalarında ve dış kaplamalarda bakırın önemli kullanım alanları bulunmaktadır. Ayrıca bakırın, kaynak işlerinde, metalürjide ve bronz üretiminde önemli bir yeri vardır.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Bakır yatakları, en yaygın ve en karmaşık yatak türlerini oluşturur. Yeryuvarı'nda meydana gelen temel jeolojik döngülerde bakır elementi zenginleşme göstererek maden yataklarını oluşturmaktadır (MTA, 2000; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar). Buna göre, bakır yatakları oluştuğu kaya birimlerinin türüne göre magmatik, sedimenter ve metamorfik yataklar olarak sınıflandırıldığı gibi kökenlerine göre genel olarak aşağıda sunulduğu gibi sınıflandırılmaktadır:

1.Porfirik tip bakır yatakları (sülfürler),
2.Volkanojenik masif sülfit yatakları,
3. Kontak Metasomatik (Skarn) türde Cu-Pb-Zn Yatakları
4- Damar Tipi Cu-Pb-Zn Yatakları
5-Sedimanter bakır yatakları

Porfiri bakır yatakları

Porfiri bakır yatağı teriminin ekonomik ve jeolojik olmak üzere iki anlamı vardır:

Ekonomik anlamda, Dünya'da işletilen porfiri yataklar % 0,8 Cu tenörlü ve ortalama rezervi 500 milyon tondan fazla olup, bunlar az miktarda molibden, altın ve gümüş içeren açık işletme ya da yeraltı işletmeciliği ile işletilebilen yataklardır.

Jeolojik tanımlamada ise, porfirik yataklardaki cevherleşme, porfirik dokulu, ortaç ya da asidik sokulum kayalarıyla kökensel olarak ilişkili olmalı ve bu kayalara, saçılmış, damarcık ve ağsal tipteki birincil bakır cevherleşmesi eşlik etmelidir.

Dünyadaki porfiri bakır yatakları tektonik konumlarına göre iki ana grupta incelenirler:

1. Ada yaylarında oluşan porfiri bakır yatakları
2. Aktif kıta kenarlarında oluşan porfiri bakır yatakları

Porfirik bakır yatakları, kıta kenarlarının ve ada yaylarının magmatik kuşaklarında bulunurlar. Bu kuşaklarda, yitim zonu boyunca okyanus kabuğunun yitimi ve kısmi ergimesi sonucu kalkalkalen magmatizma oluşur. Kıta kenarlarında oluşan porfiri bakır yatakları molibdence, ada yaylarında oluşanlar ise altın bakımından zengindir.

Dünya üzerinde bilinen ve ekonomik olarak işletilen porfiri bakır yatakları And Dağları (Batı Amerika), Filipinler ve Alp orojenik kuşaklarında bulunmaktadır. And dağları orojenik kuşağı kıta kenarlarında oluşan porfiri bakır yataklarını, Filipinler orojenik kuşağı ada yayı tipi porfiri yataklarını, Alp orojenik kuşağı ise iki yatak tipini birlikte içerirler.

Ülkemizdeki porfiri bakır yatakları, Balkanlardan başlayarak Istranca masifi ve Karadeniz dağlarından geçerek İran ve Himalayalar'a kadar uzanan Alp orojenik kuşağı içinde yer almakta ve ada yayı sisteminde oluşmuş yatakları temsil etmektedir.

Volkanojenik masif sülfit yatakları

Volkanik kökenli masif sülfit yatakları volkano-sedimenter kaya birimleri içerisinde tabaka biçimli-merceksi, masif, piritçe zengin baz metal (Cu-Pb-Zn) içerikli sülfit yataklarıdır. Volkanik kökenli bir masif sülfit yatağı, üstte çoğunlukla merceğimsi bir masif cevher kütlesi ile altta volkanik ve volkanotortul çökeller içindeki ağsal ve saçılmış zonlardan oluşmaktadır. Volkanik yan kayalar Kıbrıs, Ergani ve Küre yataklarında olduğu gibi bazik (Kıbrıs tipi yataklar), ya da Doğu Karadeniz'de olduğu gibi riyolitdasit bileşimli asidik kayalar (Kuroko tipi yataklar) da olabilirler.

Türkiye bakır üretiminin büyük bir bölümü volkanojenik masif sülfit yataklarından (Elazığ-Ergani, Kastamonu-Küre, Artvin-Murgul, Rize-Çayeli, Artvin-Cerattepe, Giresun-Lahanos, Siirt-Madenköy gibi) sağlanmaktadır. Yurdumuzdaki volkanojenik masif sülfit oluşumları, Kuroko tipi ve Kıbrıs tipi yataklar olarak ikiye ayrılmıştır.

1- Kuroko tipi bakır yatakları (Doğu Karadeniz Bölgesi)

Japonya'daki Hokkaido adasının batı kısmındaki "yeşil tüf" bölgesindeki Miyosen yaşlı ada yayı gelişimine bağlı olarak oluşan denizaltı asidik volkanizma ile sıkı jenetik ilişkiler gösteren ve Cu-Pb-Zn içeren stratiform tipindeki masif sülfit yataklar, Kuroko tip yataklar olarak adlandırılır. Doğu Karadeniz yöresindeki (Giresun-Gürcistan sınırı) masif sülfit tipi yataklar da bu yataklara büyük benzerlik gösterirler.

Rusya sınırından Samsun'a kadar uzanan yaklaşık 50 km genişliğindeki kıyı şeridini kapsayan Doğu Karadeniz Bölgesi, Jura-Alt Kretase ve Üst Kretase yaşta volkanik kayalarla Tersiyer yaşta sokulum ve volkanik kayaları içeren karmaşık magmatik bir yayı temsil etmektedir. Magmatik yay boyunca bakır yatakları, bazik volkanik kayalarla asidik magmatizmanın dokanak halinde olduğu yerlerde gelişmiştir. Magmatik yay boyunca oluşan ağsal-saçınımlı ve masif sülfid yatakları, Üst Kretase yaşta volkanizmanın asidik üyelerinden olan dasitik tüf, tüf breşleri ve bu kayalardaki antiklinal-dom, senklinal-çanak yapıları ile çok yakından ilişkilidir. Üstten alta doğru, mangan oksit-hidroksit-karbonat düzeyi, barit düzeyi, masif cevher, ağsal-saçınımlı cevher gibi kesimlerden oluşurlar. Yataklarda ağsalsaçınımlı ve masif cevher hemen her zaman birlikte izlenirse de çoğunlukla biri diğerinden daha iyi bir düzeyde geliştiği görülür (Altun 1984).

2- Kıbrıs tipi masif sülfit yatakları (Kastamonu Küre ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi)

Kıbrıs'ın Trodoos Ofiyolit Kuşağı içinde irili ufaklı birçok bakır yatağı bulunmaktadır. Trodoos Ofiyolit Karmaşığı, ultrabazik ve bazik kayalardan oluşmuş bir çekirdek ile bunun üzerine gelen ve etrafını saran yastık lav biriminden oluşmuştur. Günümüzde ekonomik olarak işletilebilen sülfürlü bakır yataklarının büyük kısmının bakır içeriği % 1'in üzerindedir. Masif sülfitler mercek biçiminde olup, çoğunlukla yastık lav birimi ile ilişkili olarak lavın üzerindeki çukurlar içerisinde yer almaktadır. Yani bu yataklar, iki yastık lav birimi arasında ya da alt yastık lav birimi ile tortullar arasında bir konumda bulunmaktadırlar.

Bakır yönünden önemli olan Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağı, Türkiye'de Hakkari'den İskenderun'a kadar uzanmaktadır. Ofiyolitler, Güneydoğu Anadolu'da, Toros Tektonik Birimi'nin güneyinde Bitlis Pötürge masifleri ile Kenar Kıvrımları arasındaki bindirme kuşağında yer alırlar.

Kontak Metasomatik (Skarn) Tipi Cu-Pb-Zn Yatakları

Bu yataklar plütonik veya yarı derinlik kayaların, özellikle karbonatlı yan kayalarla olan dokunağında oluşmuş Cu-Pb-Zn yataklarıdır. Yerleşimine bağlı olarak bakırca zenginleşen magmanın yan kayalarla olan kontak bölgelerinde kontak metasomatik yataklar oluşurlar. I tipi granitoyitler çevresinde oluşanları Cu bakımından, S tipi granitoyitler çevresinde oluşanları ise Pb-Zn bakımından zengindirler. Cevher mineralleri ile birlikte bulunabilecek skarn mineralleri ve oluşum sıcaklıkları oldukça değişkendir. Hidrotermal çözeltilerdeki su, bazılarında magmatik kökenli iken pek çoğunda plütonik sokulum nedeniyle derinlere inerek ısınmış yüzeysel kökenli su şeklindedir. Biga yarımadasında yaygın olarak izlenirler.

Damar Tipi Cu-Pb-Zn Yatakları

Bu yataklar, hidrotermal çözeltilerin taşıdıkları elementleri, çeşitli kayalar içinde gelişmiş kırık zonları boyunca çökeltmeleri sonucu oluşurlar. Çok yaygın olarak gözlenirler. Rezervleri küçük olmasına karşın tenörleri yüksek olabildiğinden küçük yeraltı ocakları halinde işletilebilmektedirler. I tipi granitoyitler ve mafik volkanik kayalar içinde ve/veya çevresinde oluşanları Cu bakımından, S tipi granitoyitler ve felsik volkanikler içinde ve/veya çevresinde oluşanları ise Pb-Zn bakımından zengindirler. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda oluşanları Cu bakımından, düşük sıcaklıklarda oluşanları Pb ve Zn bakımından zengindir. Bu yataklar, genellikle Ordu-Giresun yöresi ile Biga yarımadasında izlenmektedir.

Sedimanter bakır yatakları (Red Bed tipi bakır yatakları)

Sedimanter bakır yatakları, volkanojenik (yani magmatik) kaynak ile ilgisi olmayan, göl ya da akarsu ortamlarında gelişen sedimanter kayalara bağlı olarak oluşan yataklardır. Sülfidik halde bulunan bakır genellikle kumtaşlarına bağlı olarak gelişir. Bazı araştırmacılara göre, sedimanter bakır yataklarının oluşumu volkanojenik yataklarla ilişkilidir. Volkanojenik sülfit yataklarının oluşum dönemlerinde gelişen

bakır yatakları, karasallaşma dönemini izleyen evrede karada çözünerek ortama taşınır. Türkiye'de bu tip oluşumlar bol fakat küçük yataklar halinde olup Çorum, Tokat, Sivas, Yozgat dolayında Oligo-Miyosen havzalarında, Hazro Antiklinali'nde bulunurlar ve nabit bakır oluşumları içerirler.

ÜRETİM YÖNTEMLERİ ve TEKNOLOJİSİ

Bakır madenciliği de açık ocak ve yeraltı işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. Her iki işletme türünde pasa türü atıkların yanı sıra çeşitli çevresel sorunlar yaşanmaktadır (Bunun için Bölüm 1.2 ve 1.3' bakılabilir).

Cevher zenginleştirme işlemleri, ocak işletmelerinde üretilen % 1-2 Cu içeren sülfürlü cevherlerde yüzdürme ve özütleme işlemleri ile yapılmaktadır.

Yüzdürme, çeşitli ayıraçlarla oluşturulan sıvıda, minerallerin bir bölümünü yüzdürme, bir bölümünü de çökeltme işlemi ile mineralleri ayırma işlemidir. Bu işlemlerde, cevherdeki bakır genelde % 80'in üzerinde metal yönüyle zenginleştirilerek % 15-25 Cu içeren yoğunlaştırılmış bakır elde edilmektedir. Sonra yoğunlaştırılmış bakırdan geleneksel izabe yöntemleri (reverber + konverter ya da flaş + konverter) ile % 99 Cu içeren blister bakır üretilmektedir. Daha sonra blister bakır, rafinasyon işlemlerine tabi tutularak elektrolitik bakır üretimine geçilmektedir.

Dünya bakır üretiminin yaklaşık % 15'i hidrometalürjik uygulamalarla gerçekleştirilmekte ve genellikle oksitli bakır cevherleri yerli yerinde ya da yığın özütlemesi işlemleri ile değerlendirilmektedir.

Flotasyon tesislerinde uygulamada büyük hacimli selüller, kolon flotasyonu ve HG selülleri kullanılmaktadır. Bunların genel olarak avantajları aşağıda belirtilmiştir.

1- Yüksek tenörlü yoğunlaştırılmış bakır elde edilmesi,
2- Enerji maliyetlerinin düşürülmesi,
3- Akım şemasının sadeleştirilerek iş denetimini kolaylaştırması,
4-Yatırım tutarlarını (inşaat, çelik konstruksiyon gibi) azaltması, olarak ifade edilebilir.

Özütleme işlemleri ile çözeltiye alınan bakır daha sonra çözeltide "çözme ile ayırma + elektroparçalama" ile metal bakır olarak kazanılmaktadır.

Bakır cevherlerinde kimyasal çözündürme, pasada, planlanmış cevher yığınlarında ve yerinde olmak üzere üç şekilde olur. Pasa ve yığınlarda uygulanan çözündürme işlemi benzerdir. Zayıf **asidik çözeltiler** yığına aktarılarak bakır çözeltiye alınır. Ortamda sülfürlü mineraller varsa, zayıf asit, havanın yığının içinden yukarı doğru hareketi sırasında doğal olarak elde edilir, ya da çözeltiye sülfirik asit eklenir. Planlı yığınların optimum yüksekliği malzeme özellikleri, topografya ve hava akışı gereksinimlerine bağlı olarak değişir. Genelde 40-60 m'lik yükseklik tercih edilir. Yığının kapladığı alan, topografyaya ve çözelti akışına bağlıdır.

Yurdumuzdaki bakır cevherleri konsantratörlerde zenginleştirilip, yaklaşık % 15-25 Cu içeren yoğunlaştırılmış cevherler elde edilmekte ve daha sonra izabe tesislerinin kullanımına geçilmektedir. Dünya piyasalarında % 20 Cu değeri, uluslararası özelliklere uygundur. Murgul İşletmesinde elde edilen bakır ile pirit yoğunlaştırılmış ürünlerinin analizleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Diğer bir önemli gelişme ise, bilgisayar merkezli tam otomasyona geçiştir. Böylece, operatör ve teknisyen yanılgılarının etkisi en alt düzeye indirilirken, tenör ve verimde önemli artışlar ya da kararlılık sağlanmaktadır.

Çizelge 1. Murgul Bakır İşletmeleri bakır ve pirit yoğunlaştırılmış ürün analizleri (MTA, 2000).

Element	Bakır Konsantresi (%)	Pirit Konsantresi (%)		Element	Bakır Konsantresi (%)	Pirit Konsantresi (%)
Cu	21-25	0.66		Fe	31.64	43.36
S	39.68	42-46		Zn	0.80	- 0.9
SiO2	1.52	3.10		Au	1.18 g/t 0.32	0.22
Ag	33.8 g/t	-		As	-	-
Se(DL:0.01)	-	-		Te(DL:0.015)	0.04	-
Hg	1.75 ppm	1.50 ppm		Pb	0.007	-
Co	0.015	0.015		Bi	-	-
Ti	-	0.007		Mn	0.03	-
Mo	-	-		Ba	0.07	0.07
Ni	-	-		Mg	-	-
Ca	0.04	0.01		Cr		
Al	0.1	0.17				

Üretim ve teknolojik çalışmalar sonucunda meydana gelen bakır ürünleri iki grupta toplanabilir:
1. Temel ürünler:
a) Elektrolitik ürünler:
- Tel kütüğü, blok-takoz, sürekli döküm filmaşini,
- Levha, lama, şerit, - Çubuk, boru, profil
b) Elektrolitik olmayan ürünler:
Levha, lama, şerit, çubuk, boru, profil. c)
Alaşımlar:
Pirinç, bronz, diğer bakır alaşımları (MTA, 2000).
2. Yan ürünler:
Yoğunlaştırılmış, blister bakır, rafine bakır, katot bakır.

KULLANIM ALANLARI

Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği özellikleri, bakırı, elektrik santralleri ve iletken malzemenin vazgeçilmez gereci haline getirmektedir. Soğuk hava makine ve teçhizatında, paslanmaz özelliğinden ötürü nakliye vasıtalarında ve dış kaplamalarda bakırın önemli kullanım alanları bulunmaktadır. Ayrıca bakırın, kaynak işlerinde, metalürjide ve bronz üretiminde önemli bir yeri vardır.

Bakır, üstün fiziksel ve kimyasal özelliğinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Sektörlere göre bakır kullanımının dağılımı Çizelge 2'de verilmiştir.

Ülkemizde pirit üretimi, bakır flotasyon tesislerinden yan ürün olarak elde edilmekte, ya da ana bileşeni pirit olan düşük tenörlü (% 1'den az Cu) bakır cevherlerinden yapılmaktadır. Piritin esas kullanım alanı sülfürik asit üretimi olup, kullanılan piritin özellikleri tesiste kullanılan teknolojiye göre değişiklik gösterebilmektedir.

Bakırı ikame eden bazı ürünler:
-Fiberoptik: Haberleşme malzemesinde bakır tel yerine,
-Plastik borular: İnşaat sektöründe bakır borular yerine,
-Alüminyum: Otomobil radyatörleri ve elektrik aletleri yapımında bakır yerine,
-Ayrıca titanyum, karbon çeliği, paslanmaz çelik, çinko ve cam bakır yerine kullanılabilir.

Çizelge 2. Dünya'da ve bazı ülkelerde sektörlere göre bakır kullanımı (DPT, 2001).

	Dünya (%)	ABD (%)	Japonya (%)	B. Almanya (%)
Elektrik ve Elektronik Sanayi	50	25	52	54.3
İnşaat Sanayi	17	39	15	14.0

Ulaşım Sanayi	11	11	11	10.7
Endüstriyel Ekipman	16	15	15	14.0
Diğerleri (Kimya, Kuyumcular, Boya Sanayi ve Turistik Eşya gibi)	6	10	7	7

Bakır ikame ürünlerinin kullanım alanları ise aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur:

İnşaat teli pazarında alüminyum

ABD'de bakır kullanımı en çok inşaat sektöründedir. Bakır ikamesinde alüminyum kullanımı güvenlik nedenleri ile azalmıştır. Elektrik kutularına alüminyum telin bağlanması, kısa devreler dolayısıyla bina yangınlarına neden olmuştur.

Atık su pazarında plastik boru

ABD'de ısı ile atık su tesisatlarında bakır kullanımı bu metalin ikinci büyük kullanım alanıdır. Plastik boruların konutlar dışında kullanımının artmasına rağmen bakır bu pazardaki önemini korumaktadır. Konut içi atık su tesisatlarında ise bakır hâla % 90 ile en büyük kullanım payına sahiptir. Ancak plastik kullanımı kendi problemlerini de beraberinde getirmektedir. Özellikle kırılan PVC (Polivinil klorür) borularının belirlenip tamir edilmesi pahalı olmaktadır. Bakırın bakteri öldürücü özelliği varken plastik, bakterilerin çoğalması için uygun bir ortam yaratmaktadır. Bu nedenle plastik boruların konut içi kullanım oranının yükselmesi olasılığı azdır. Tesisatlarda plastik kullanımı % 50 oranındadır. Özellikle belediyelerin ana su borularında plastik kullanımı oranın bu düzeye yükselmesinde en önemli etken olmuştur.

Telekomünikasyon pazarında fiber-optikler

Bakırın kullanımını en fazla tehdit eden malzeme fiber-optiklerdir. Bununla beraber telekomünikasyon pazarı sadece 225 bin tonluk bir kullanım kapasitesine sahiptir. Fiber-optik, 2 milyon 925 bin-3 milyon 150 bin ton arasındaki toplam bakır kullanımının ancak % 7-8'ini ikame edebilecektir.

Fiber optikler, dünya toplam bakır pazarının sadece % 5 payına sahiptir. Buna rağmen 1979 yılındaki maksimum tüketimle kıyaslandığında, bakırın telekomünikasyon pazarında kullanımı % 50 azalmıştır. Bunun en önemli nedeni, fiber optik kablolarla gönderilen elektromanyetik sinyal sayısının bakıra oranla büyük ölçüde artmasını sağlayan teknolojik gelişmelerdir.

İletişimde büyük kapasitelere ulaşılması, fiber-optiklerin yolunu açmıştır. Çoklu teknoloji ve ince tel ölçerler bakır kullanımını düşüren kritik faktörlerdir. Böylece telefon santrallerinde bakır kullanımı azalmıştır.

Bakırı gelecekte bekleyen en büyük tehlike, süper iletkenlerin endüstriye girmesidir. Süper iletkenler endüstriye girdiğinde mevcut elektrik motorları tamamen değişeceğinden bakırın önemli bir kullanım alanı bulamayacağı öngörülmektedir.

Fiber-optik ürünler genelde uzun mesafe iletişim hatlarında kullanılmaktadır. Bina içi iletişim hatlarında kullanılmasıyla bakır, telekomünikasyon pazarında % 7'lik bir paya sahiptir.

ÇEVRE SORUNLARI ve ÇÖZÜM YOLLARI

Bakır madencilik faaliyetleri dahil olmak üzere oluşan çevre sorunları ve çözüm yolları değerlendirilmektedir (Karadeniz, 1996). Diğer sektörlerde ve değişik madencilik faaliyetlerinde olduğu gibi bakır ve pirit madenciliğinde de gün geçtikçe önem kazanan ve çözüm yolları aranan çevre sorunları, var olmaya davam edecektir.

Açık ya da yeraltı işletme süreçlerinde çevreyi asıl kirleten katı, sıvı ve gaz halindeki kimyasallardır. Ortaya çıkan pasa ve katı atıklar **görüntü kirliliği,** yüzdürme sırasında oluşan sıvı atıklar **su kirliliği,** diğer işletme evrelerinde ortaya çıkan **hava kirliliği** denetlenmelidir. Şekil 2 ve 3' de bakır işletmelerinde ortaya çıkan sıvı atıkların akarsuları kirletmesine dair görüntüler sunulmuştur. Böylesine kirlenmiş akarsularda hiçbir canlı yaşayamaz.



Şekil 2. Diyarbakır-Ergani bakır işletmesinin Dicle nehrinde yarattığı su kirliliğinden eski bir görüntü (Kalender ve diğerleri, 2009).

Türkiye'de bakır ve pirit madenciliğinde karşılaşılan çevre sorunları, Dünya'daki çevre sorunlarından farklı değildir. Dolayısıyla bakır ve pirit madenciliğinde karşılaşılan çevre sorunları, diğer ülkelerde olduğu gibi iki grupta incelenmektedir:

1- Bakır ve pirit madenciliğine özgü çevre sorunları, 2-
Madencilikle ilgili genel çevre sorunları.

Dünya'da işletilen bakır cevherlerinin çok büyük bir bölümünü sülfürlü mineraller oluşturduğundan, bakır madenciliğinin pirit ve diğer sülfürlü cevher madenciliği gibi kendine özgü çevre sorunları bulunmaktadır. Bazı özel ve kamu işletmeleri, çalışmalarda yeterli özen göstermediklerinden atık barajlarının taşması ya da atıkların doğrudan derelere bırakılması sonucu işletme dolayındaki akarsu yataklarında ve yeraltı sularında pirite bağlı kirlenme sorunları yaşanmaktadır.



Şekil, 3. Murgul' daki Karadeniz Bakır İşletmeleri' nden kaynaklanan sarımsı atık suların Çoruh nehri boyunca aktıktan sonra Gürcistan'daki Adjaritskali ırmağından gelen mavimsi temiz sular ile karıştığı yer. 1995 yılına dair bir görüntü (Gürcistan, Batum kuzeyi).

Ülkemizde bakır işletmelerinde karşılaşılan ve ceza gerektiren esas çevre sorunu, izabe sırasında baca gazlarıyla ortaya çıkan **hava kirliliğidir**. Bu kirlilikle ilgili bir kamu kuruluşu da olsa, KBİ'nin Murgul ve Samsun'daki tesislerinde çevre kirliliği ve tarım arazilerindeki bitkilere zarar vermesinden dolayı cezai uygulamalar uygulanmıştır. Asit tesisi kurulmadan önce Murgul'da, tesis kurulduktan sonra ise hem Murgul hem de Samsun'da sülfürik asit fabrikasının çalışmadığı günlerde baca gazları çevreyi önemli oranda kirletmiştir. İşletmelerde patlatma ve yüklemeler sırasında oluşan tozlar, rüzgârlarla daha geniş bir alana yayılarak toprak ve bitki örtüsüne zarar vermiştir. Ergani'de ise, ne yazık ki çevrede doğrudan etkilenen önemli oranda orman ve tarım arazisi bulunmadığı öngörülerek çevreye yönelik herhangi bir yaptırım uygulanmamıştır.

Madencilikle ilgili genel çevre sorunları, doğrudan ve dolaylı olarak işletmelerin her gün karşılaştığı sorunlardır. Çevre sorunları daha başlangıçta işletmenin etkilediği orman ve tarım alanlarının kamulaştırma zorunluluğu ile karşımıza çıkmaktadır. Başlangıçta işletme için gerekli yapıların inşa edildiği alanlar, işletme aşamasında ise pasa döküm alanları ile atık barajlarının oluşturulduğu alanların istimlakı işletmeye maliyet getirici unsurlardır. Açık işletmelerde işletme alanı ile hafriyat malzemesinin döküm alanları doğrudan çevreyi etkilemekte ve işletmelere maliyet açısından büyük yük getirmektedir.

YASAL ÇERÇEVE

25 hektar ve üzeri alanlarda yapılan projeler ile metal sanayi tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 faaliyetler listesinde yer almaktadır. Ayrıca fiziksel yöntemler hariç, cevher zenginleştirme tesisleri de bu listede yer almaktadırlar. Bu projeler, ÇED Genel Formatı esas alınarak uygulanmaktadır. Madencilik (EK-1 listesinde yer almayan; arama ve cevherin çıkarılması gibi faaliyetler) ile fiziksel cevher zenginleştirme tesisleri ise EK-2 listesinde yer almaktadır. Bu projeler için Proje Tanıtım Dosyası'nın hazırlanması yeterlidir.

Yukarıda sunulan bilgi çerçevesinde, madencilikle ilgili kümülatif ÇED'in, ancak hem arama ve cevherin çıkarılması hem de tesislerin çevresel etkileri dikkate alınarak yürütülüp hazırlanması gerektiği açıktır. Madenciliğin çevresel etkileri derken de, kümülatif etkilerin anlaşılması gerekmektedir.

SONUÇLAR

Ülkemizde maden işletmeciliği ve cevher zenginleştirme alanlarında yeterli sayıda ve düzeyde uzman teknik eleman bulunmaktadır. Mevcut maden işletmeleri için geniş kapsamlı teknoloji transferi gereksinimi yoktur.

Pirit konsantresi üretimi, bakır konsantresi üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilmektedir. Pirit konsantrelerindeki SiO_2 miktarının % 2'nin altına düşürülmesi halinde, piritten sülfirik asit için SO_2 gazı elde edilirken, yanma ısısından termik enerji elde edilmesi ve pirit külünde bulunan demirden peletleme ile demir cevheri olarak yararlanılması, keza pirit külünde bulunması olası değerli minerallerin kazanılması için çaba harcanmalıdır. Bakır konsantresi üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilen ve sülfürik asit hammaddesi olan piritin, ülke gereksinimleri göz önünde tutularak her tesiste değerlendirilmesi özendirilmelidir.

Ülkemizde bakır madenciliğinin yurt içi tüketim için yeterli olabilecek düzeyde gelişmemiş olmasının ana nedeni, işletilebilir tenörlü ve büyük rezerve sahip porfiri ve volkanojenik masif sülfit yatakların yeterince saptanmamış olmasıdır. Avrupa'ya en yakın bakır rezervleri ülkemizde bulunmaktadır. **Bu husus gözetilerek bilinen maden rezervlerinin işletilebilmesi için yatırımların teşvik edilmesi göz önünde bulundurulmasında yarar vardır.**

Ülkemizde kamu kurumları ve özel kuruluşlarca işletilen maden sahaları, yasal açıdan devletin tasarrufunda bulunsa da bu sahaların yetkili kurumlar tarafından denetlenmesinde yarar vardır. İşletmecilerin işletme projeleri uygulamaları denetlenirse, yeraltı kaynaklarının israfı da önlenebilir.

Gelecekte, teknoloji, yeni yöntemlerin bulunmasından çok, bilinen yöntemlerin iyileştirilmesinde ilerleyecek gibi görünmektedir. İyileştirilmesi gereken alanlar:

- Çözücü ile ayırmada kullanılan karıştırıcı tasarımı,
- Çözeltiden bakır kazanımı,
- Paslanmaz çelik plakaların elktro-parçalamada kullanımı,
- Özütleme teknikleri-cevher parça boyutu, akış oranı, yığın yerleştirme,
- Yarı-hareketli çözücü ile ayırma / elektro-parçalama tesisleri, olacağı tahmin edilmektedir.

Yani, gelecekte çevreyi koruyucu teknolojiler ön plana çıkacaktır. Buna göre bakır yataklarının sanayiye katkısı gözetilerek değerlendirilmesi için çaba gösterilmelidir.

Sonuç olarak Türkiye bakır sektöründe;

1. Arama faaliyetlerine öncelik vererek ekonomik yeni cevher yatakları bulup rezervi geliştirmek,
2. Mevcut bakır yataklarında cevher üretim ve zenginleştirme faaliyetlerini yenileştirerek ve iyileştirerek, daha karlı işletmecilik olanaklarını sağlamak,
3. Elektroliz kapasitesi blister üretim kapasitesinin yaklaşık 3 katı olması nedeniyle, yeterli rezervler bulunması halinde, yeni izabe tesisleri kurulmasına olanak sağlamak gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bakır konusu değerli meslektaşım Yavuz Ulutürk tarafından irdelenmiştir. Yapılan öneriler ve eleştiriler bakır konusunun gelişmesine katkı sağlamıştır. Sayın Ulutürk'e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Altun, Y., 1984, Giresun Görele ve Tirebolu (Doğu Karadeniz) Yöresindeki Renkli Metal Yataklarının Karşılaştırmalı Cevher Mineralojileri ve Kökenleri. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
DPT, 2001 Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı Madencilik özel ihtisas komisyonu Metal madenler alt komisyonu, Bakır ve pirit çalışma grubu raporu, Ankara, 48 s.
Kalender, L. Kırat, G., Bölücek, C. ve Sağıroğlu, A., 2009, Görgü (Malatya-Türkiye) Pb-Zn yatağının eski imalat pasalarının jeokimyası: Türkiye Jeoloji Bülteni, 52/2, s. 49-56.
Karadeniz, M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Atıkları, Çevreye Etkileri ve Önlemler, MTA Genel Müdürlüğü Cevher Zenginleştirme Servisi Raporu, İstanbul, s. 21-37, 174-325.
MTA, 1994, Mineraller, Ankara, 72 s.
MTA, 2000, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Genel Endüstri Mineralleri, Cilt II, Ankara, 76 s.
Ray, G.F., 1984, Mineral Reserves: Projected Lifetimes and Security of Supply, Resources Policy, vol. 10, s. 75-80.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

2. 3, KURŞUN

GENEL BİLGİLER

Kurşunun ilk kullanımı, demirden daha önceki devirlere rastlamaktadır. İnsanlığın kullandığı en eski metallerden biri olan kurşun, uygarlığın gelişmesine koşut olarak, metal ve alaşımlar halinde yaygın kullanım alanları bulmuştur. Mısır'da kurşunun ilk kullanımına dair bilgiler, tarihi "Abydos" kentinin Dardaneller bölgesinde, MÖ 3800 yıllarına ait bir heykel olup, Osiris tapınağında bulunmuştur. Roma ve Yunan uygarlıkları tarafından çok miktarda kullanılan kurşunun yanı sıra, Atina yakınlarındaki "Laurium" Simli Kurşun madeninden üretilen gümüş, o dönemin savaşları sırasında önemli bir kaynak olarak değerlendirilmiştir.

Anadolu'da kurşun ve çinko madenciliği MÖ 4000 yıllarında başlamıştır. Önce Antik Yunanlılar, Romalılar, daha sonra Bizanslılar, Selçuklular ve Osmanlılar bu madenleri işletmişlerdir. Bu dönemlerde kimi maden yataklarından kurşun ve gümüş üretimi gerçekleştirilmiştir. Bolkardağ, Akdağmadeni, Gümüşhacıköy, Gümüşhane, Balya ve Anamur'da eski çağlara ait kurşuna ait curuflar bulunmaktadır.

Türkiye'de kapsamlı olarak ilk kurşun madeni üretimi Balıkesir'de Balya-Karaaydın madeninde olmuştur. Bu yataklardan en yüksek üretim düzeyleri 19 yy sonları ile 20 yy başlarında Fransızların ve Yunanlıların tekelinde iken gerçekleştirilmiştir. İşletmelerin çoğu 1918-1922 yılları arasında kapanmıştır. Kurşun madenciliği ve metalurjisi Dünya çapında önemli bir sanayi kolu olup, 1970'li yıllarda toplam kurşun metal üretimi; çelik, alüminyum, bakır ve çinkodan sonra beşinci sırada yer almıştır. Günümüzde, Dünya kurşun üretiminde, birincil kaynaklardaki üretimin yanı sıra eski hurda kaynaklardan (ikincil kaynaklar) da üretim önemli yer tutmaktadır.

Kurşunun ana kullanım alanı, akü üretimi olup, yeraltı haberleşme kablolarının izolasyonu, diğer önemli kullanım alanlarıdır. Korozyonu önleyen kurşun oksit boyalar, kabloların kaplanmasında, kurşun tetraetil ve tetrametil formlarında benzin içinde oktan ayarlayıcı bileşikler olarak, radyasyonu en az geçiren metal olması nedeniyle X-ışınlarından korunmada, renkli televizyon tüplerinin yapımında ve önemli araç-gereçlerin üretiminde önemli kullanım alanları bulmuştur.

Sınıflandırma

Kurşunun ticari olarak sınıflandırılması aşağıda sunulmuştur (MTA, 2000; Yılmaz, 2009):

Rafine kurşun: Metalurjik yöntemlerle içindeki yabancı maddelerden arınmış olan kurşundur. Rafine kurşunun derecesi en az % 99,85 Pb'dir. Rafine kurşun dört ayrı grupta pazarlanmaktadır:

1- Saf kurşun: Yüksek saflık derecesinde rafine edilmiş kurşundur.

2- Kimyasal kurşun: Oldukça yüksek saflıkta, ancak bünyesinden gümüş çıkarılmamış kurşun olarak tanımlanmaktadır. Bu tip kurşun genellikle Güney Missuri'de çıkarılan kurşun cevherinden elde edilmektedir.

3- Asit-bakır kurşun: Rafine kurşuna bakır eklenerek elde edilen kurşundur.

4- Normal gümüşsüz kurşun: Rafine edilmiş ve içinden gümüşü alınmış kurşun olarak tanımlanır.

Kurşun aşağıdaki şekillerde de piyasada bulunur:

İngot kurşun	Pudra kurşun
Külçe (Pig) kurşun	Levha kurşun
Yaprak kurşun	Yün kurşun
Saçma kurşun	Kaplama kurşun
Boya kurşunu	Ektrüzyon kurşun
Döküm kurşunu	

Kurşunun çoğunlukla antimuan, kalsiyum ve kalay ile alaşımları yapılır. Bu alaşımlar "antimuanlı" ya da "sert kurşun", "beyaz metal", "ergitilebilir alaşımlar" ya da "yumuşak lehim" olarak adlandırılır (MTA, 2000).

ÖZELLİKLERİ

Yeryüzünde rastlanan elementler arasında 34. sırayı alan kurşunun; atom numarası 82, atom ağırlığı 207.21'dir. Doğada özgün kristal yapısına ender rastlanan kurşun kübik sistemde kristalleşir. Gri renkli olup, metalik parlaklığa sahiptir. Kurşun'un atomik, kütle, mekanik, termal ve elektriksel özellikleri Çizelge 1'de toplu halde sunulmuştur.

Ergime noktası düşük (327 ^{o}C), kaynama noktası (1 atmosferde) 1525 ^{o}C'dır. Korozyona karşı dayanıklı, kolayca şekillendirilebilen, yüksek özgül ağırlığı (11,4 t/m^3) ile kurşun, değişik alaşımlar halinde kullanılabilme özelliklerine sahiptir. Düşük bir çekme mukavemetine (1 t/inç^2) sahip olması nedeniyle gerilmenin önemli olduğu hallerde kurşunun kullanım alanı sınırlıdır. Şekil 1'de ise bazı kurşun minerallerinin özellikleri sunulmuştur.

Adi metaller arasında korozyona en dayanıklı olması yanında yassılaşma ve tel çekme özelliğine de sahip bir metaldir. Kurşun, PbO, Pb_2O_3, PbO_4, PbO_2 ve Pb_2O olmak üzere 5 tipte oksitli bileşik oluşturmaktadır. En dayanıklısı PbO'dur.

Önemli kurşun mineralleri, galenit (PbS); serüzit ($PbCO_3$); anglezit ($PbSO_4$); jamesonit ($Pb_2Sb_2S_5$); jordanit ($Pb_4As_2S_7$); bulanjerit ($Pb_3Sb_2S_6$); piromorfit [$Pb_5Cl(PO_4)_3$]; mimemit ($Pb_{10}Cl_2(AsO_4)_6$) ve vulfenit ($PbMoO_4$) tir. Ekonomik olarak işletilmekte olan yataklarda en çok bulunan kurşun minerali **galenit** olup, genellikle çinko, bakır, gümüş, altın ve demir mineralleriyle birlikte bulunur. Dünya'da çok az sayıda maden yatağında kurşun yalnız başına cevher mineralizasyonunu oluşturur.

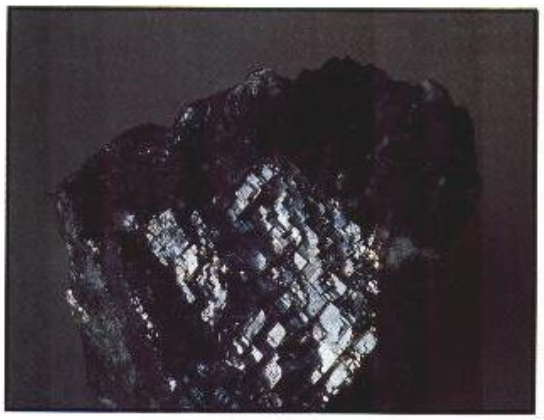
Çizelge 1. Kurşunun temel özellikleri (MTA, 2000; Yılmaz, 2009'dan).

Atomik Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
Atom ağırlığı	207.21	Sertlik (Moh's)	1.5
Atom Numarası	82	Brinell sertliği (adi Pb)	3.2-4.5
Periyodik Durumu	4.Grup; 6.Periyot	Brinell sertliği (kimyasal Pb)	4.5-6.0
Sembolü	Pb	Külçe Pb gerilme direnci (oda sıcaklığında 2.5 cm^2 için)	2.000
Kristal Sistemi	Regüler		
Valans Değeri	2 ya da 4	Haddelenmiş Pb gerilme direnci (15 ^{o}C'de)	3.600
Sabit izotopları	204;206;207;208	Haddelenmiş Pb gerilme direnci (-75 ^{o}C'de)	15.200
Kütle Özellikleri		Elektriksel Özellikleri	
Özgül Ağırlık (20 ^{o}C'de)	11.34	20 ^{o}C'de elektrik direnci	20.65 cm^2/mikroohm
327.4 ^{o}C'de katı Pb yoğunluğu	11.005	100 ^{o}C'de elektrik direnci	27.02 cm^2/mikroohm
327.4 ^{o}C'de sıvı Pb yoğunluğu	10.686	İzafi elektrik iletkenliği (Cu=100)	7.82
Buhar Pb yoğunluğu (Hidrojen=1 'e göre)	103.6	İzafi elektrik direnci (Cu=100)	1.280
Termal Özellikleri			
Erime Noktası	327.4 ^{o}C	Kaynama Noktası (1.0 atm)	1525 ^{o}C
Buhar basıncı (2100 ^{o}C)	11.7 atm	İzafi ısı iletkenliği (Ag= 100)	8.2

0 °C'de termal kapasite	0.0303 g/kal	327.4 °C'de termal kapasite	0.340 g/kal
0 °C'de ısı iletkenliği, cm^2,cm,	0.083 °C/kal	100 °C'de ısı iletkenliği, cm^2,cm	0.081 °C/kal

GALENİT

Kimyasal Bileşim i: PbS
Kristal Sistem: Kübik
Kristal biçimi: Kübik, oktohedral kristaller halinde; levhaması, masif, bölünebilir, tane sel, lifsi
Dilinim: {001} mükemmel



Sertlik: 2.5

Özgül Ağırlık : 7.58-7.598

Renk ve Şeffaflık : Kurşun grisi, opak;
Parlaklık : Metalik
Ayırıcı Özellikleri : Rengi, metalik parlaklığı, mükemmel dilinimi ve yüksek özgül ağırlığı
Bulunuşu: Sfalerit, pirit, markazit, kalkopirit, seruzit, anglezit, dolomit, kalsit, kuvars, barit ve fluoritle birlikte metal sülfit damarlarında yaygın olarak bulunur.

SER UZİT

Kimyasal Bileşimi : $PbCO_3$
Dilinim : {110} belirsiz
Sertlik: 3-3.5



Özgül Ağı rlık: 6.55
Renk ve Şeffaflık : Renksiz, beyaz, gri, dumansı
Parlaklık : Elmas parıltılı, camsı, reçinemsi
Ayırıcı Özellikleri : Yüksek özgül ağırlığı, elmas parıltılı olması, nitrit asitte çözünebilirliği

Bul unuşu: Daima ikincil kökenlidir. Anglezit galenit, smit sonit, piromorfit ve sfalerit ile birlikte kurşun damarlarının ok sidasyon zonlarında olmuşur.

ANGLEZİT
Kimyasal Bileşimi: $PbSO_4$
Kristal Sistemi: Ortorombik
Kristal Biçimi: Kristalleri, levhaması, prizmatik ya da piramidal
Sertlik: 2.5-3
Özgül Ağırlık: 6.38
Dilinim: {001} iyi
Renk ve Şeffaflık: Renksiz, beyaz, sarı ya da mavinin tonları
Ayırıcı Özellikleri: Yüksek özgül ağırlığı, parlaklığı, ısıtılmış nitrik asitte tepkime vermemesi ile seruzit'ten ayrılır.
Bulunuşu: İkinil bir kurşun mineralidir. Sıkça galenit çekirdeğini çevrelemiş olarak bulunur.



Şekil 1. Bazı kurşun minerallerinin özellikleri (MTA, 1994; Yılmaz, 2009'dan).

Gelişen teknolojiler ve metal fiyatlarına bağlı olarak, % 2 Pb + % 5 Zn ya da % 3 Pb + % 2 Zn ile az da olsa Ag ve Au içeren yataklar ekonomik olarak işletilmektedir. Son yıllarda artan maliyetler ve düşük metal fiyatları nedeniyle gümüş içeren ve Pb+Zn tenörü % 10'dan büyük yatakların işletilmesine ağırlık verilmektedir. Kurşun konsantreleri için tenör % 70-80 Pb'dir. Satış olanağı bulabilen bulk (toplam) konsantreler % 30 Pb, % 30-40 Zn, % 4-5 Cu içerebilmektedir. Kurşun; yumuşak, ağır, dövülebilir ancak tel haline getirilemeyen ve korozyona çok dayanıklı bir metaldir.

KÖKENİ ve OLUŞUMU

Kurşun-çinko yatakları, mineral içeriklerine göre iki ana grupta toplanmaktadır.

1. Sülfit yatakları; en yaygın kurşun minerali galenit, en yaygın çinko minerali ise sfalerittir.
2. Oksitli yataklar; en yaygın kurşun minerali seruzit, en yaygın çinko mineralleri ise smitsonit ve hidrozinkittir.

Kökenlerine göre polimetalik sülfit yatakları, bağlı oldukları kayanın bileşimi ve mineral birlikleri göz önüne alınarak sınıflandırılmıştır. Kurşun-sülfit yataklarının türleri aşağıda görülmektedir:

a) Magma ya da magma etkinliğine bağlı yataklar,
b) Cu-Pb-Zn-Ag-Fe sülfür birlikleri,
c) Katmansı volkanik buğu (Exhalative) denizel volkano tortul ya da karasal volkanik Cu-Pb-Zn-Ba-Fe birliği
d) Katman denetimli Zn-Pb-Cu yatakları
e) Başkalaşımla ilişkili Cu-Pb-Zn-Fe birliği
f) Okyanus sırtlarında oluşan Cu-Pb-Zn birliği

Çinko ve kurşunun karbonatlı, oksitli ve silikatlı mineralleri bulunmakla birlikte, bu tür maden yataklarına Dünya'da (İran, Türkiye, Fas) az rastlanır. Smitsonit ($ZnCO_3$), seruzit ($PbCO_3$), hidrozinkit ($Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$), anglesit ($PbSO_4$) ve hemimorfit (kalamin $H_4Zn_4Si_2(OH_2)H_2O$ ve villemit (Zn_2SiO_4) en çok rastlanan "oksitli" minerallerdir.

Çinko-kurşun cevherleri içerisinde nadiren kadmiyum da içeren grenokid (CdS) minerali görülebilir. Kadmiyum doğada ender bulunan metal elementlerden birisidir. Tek başına maden yatağı oluşturmaz. Sfaleritin kristal yapısında bulunur. Çinko metali üretiminde ise, her ton çinko için 3 kg kadmiyum elde edilebilmektedir (MTA, 1995).

ÜRETİM YÖNTEMİ ve TEKNOLOJİSİ

Kurşun madenciliği ve metallurjisi Dünya çapında büyük bir sanayi kolu olup, 1970'li yıllarda toplam kurşun metal üretimi; çelik, alüminyum, bakır ve çinkodan sonra beşinci sırada yer almıştır. Dünya kurşun üretiminde, birincil kaynaklardan üretimin yanı sıra ikincil (hurda) kaynaklardan da kurşun üretimi gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda çevresel etkiler nedeniyle de özellikle metal üretiminde ikincil kaynaklara bir yönelme izlenmektedir (MTA, 2000).

Ocak işletmesi

Kurşun-çinko cevherleri Avustralya, Brezilya ve Kanada'daki birkaç örneği dışında genel olarak yeraltı işletme yöntemleriyle üretilmektedir. Dolayısıyla yer altı işletmelerinin türleri üzerinde biraz durmakta yarar vardır. Kurşun madenciliğinde uygulanan yeraltı işletme yöntemlerinin türü, cevher yataklarının konumuna, tipine ve devamlılığına bağlı olarak seçilmektedir.

Kurşun madenciliğinde genellikle damar tipi ve masif cevherler de yatay dilimli dolgulu yöntem (cut and fill), ve göçertme (caving) yöntemleri, tabakalı ve yatay damarlarda ise oda-topuk (room and pillar) yöntemi uygulanmaktadır. Ara kat kazı ve ara kat göçertme yöntemleri ile son yıllarda değişik bir yatay dilimli dolgulu kazı yöntemi olan basamaklı kazı yöntemi (bench stopping) de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Yukarıda sunulan yöntemlerden hangisinin uygulanacağı konusunda, cevherin konumu ve yeraltındaki uzanımı belirleyici olmaktadır.

Maden üretimindeki maliyet girdileri ve üretim verimlilikleri, uygulanan farklı işletme yöntemlerinde değişiklikler göstermektedir. Dünya'da bilinen kurşun ocaklarının hemen hepsi yeraltı işletmesi olarak çalışmaktadır. Buna neden olarak mevcut kurşun yataklarının açık işletmeye elverişli derinliklerde olmaması gösterilmektedir.

Yatay dilimli dolgulu yöntem

Dar kazı üretim yöntemlerinin uygulamalarından birisidir. Bu yöntemde cevher önce yan yana ya da üst üste dilimlere ayrılır. Daha sonra, bu dilimler sırası ile kazanılır. Üretim yapılırken açılan boşluklar hemen doldurulmakta; dolgu yapılması ile bir yandan işçilerin ve ayağın emniyeti arttırılmakta diğer yandan da işçilerin üzerinde çalışacağı bir platform oluşturulmaktadır.

Basamaklı kazı yöntemi

Özellikle kurşun cevheri üretiminde kullanımı gittikçe yaygınlaşan yeni bir madencilik yöntemidir. Çoğu maden işletmelerinde basamaklı kazı yöntemi, yatay dilimli dolgulu ayak yönteminin yerini almıştır. Ara katlı kazı yöntemi (sub-level caving) ile basamak kazısı yöntemi arasında yapılacak tercih, cevher kütlesinin genişliğine göre seçilir. Basamak kazısı, özellikle genişliği 4-15 m arasında değişen cevher kütlelerinde diğer yöntemlerin yerini almıştır. Kurşun cevheri kütlelerinin genişlikleri 4-48 m arasında değişmekte, boyları 1400 m'ye kadar uzanmakta ve 800 m yüksekliğe erişmektedirler.

Ara katlı kazı yöntemi

Bu yönteme göre kazanılacak cevher yatağı, önce planlı bir şekilde pano ve topuklara ayrılır. Her pano bloğundaki cevher kütlesi yatay ya da düşey galeriler ile dilimlere ayrılır. Yatay yönde açılan galeriler ile ara katlar oluşturulur. Bu yöntemin başarılı olması için, damar kalınlığının yeterli olması (en az 6m), cevher dalım açısının 60 den büyük ve cevher yan kayasının sağlam olması gereklidir.

Yöntemin avantajları:

- İşçiler kazı boşluğunda çalışmadıkları için emniyetli bir yöntemdir.
- Kazı ve yükleme işlemini mekanize etmek kolaydır.
- Tahkimat yapılmadığı için ekonomiktir.
- Kazı ve yükleme işlemleri birbirlerini engellemez Yöntemin dezavantajları:
- Cevherin sınırları iyi belirlenmezse seyrelme olur.
- Topuk kurtarılmazsa cevher kaybı çok olur.

Yatay dilimli cevher dolgulu ayak yöntemi

Uygulama şekli ambarlama yöntemidir. Bu yöntemde kazanılan cevherlerin bir kısmı açılan boşlukta bırakılarak, dolgu ve platform görevi yaptırılır, fazla olan diğer kısmı alt nakliye yolundan alınır. Kazı sırasında işçilerin rahatlıkla çalışabileceği kadar bir boşluk bırakılır, artan cevher ise nakledilir. Alt yoldan cevher alınırken, ambarlanmış cevher içerisinde boşluk oluşmamasına özen gösterilmelidir. Cevher saniyeli kapsüllerle küçük parçalar halinde patlatılmalıdır. Bu yöntemin verimli olabilmesi için damar eğiminin 60 üzerinde ve yan kaya ile cevherin sağlam olması gerekir.

Oda topuk yöntemi

Bu yöntemde, maden yatağının bir kısmı oda şeklinde boşluklar açılarak kazanılırken bir kısmı da odalar arasında tavanı tutmak amacı ile emniyet topuğu olarak bırakılmaktadır. Topuğun boyutları cevherin mukavemetine ve üzerindeki örtü tabakasının kalınlığına göre seçilir. Emniyet topuklarının boyutları artan derinlikle birlikte büyüdüğü için, cevher kaybı da artmaktadır. Bu yöntemin avantajı basit oluşudur. Sakıncalı yanı ise cevher kaybının fazla oluşudur.

Ara katlı göçertme yöntemi

Ara katlı göçertme yöntemi masif yatakların ve orta kalınlıktaki dik damarların kazanılmasında uygulanan bir yöntemdir. Cevher kaybı ve seyrelmesi fazladır. Hazırlık aşamasında; önce bir ana nakliyat galerisi ve buradan en üst ara kat galerisine kadar giden başyukarı galeriler açılır. Başyukarılardan tavan ve taban taşı içinde ara kat düzeyinde olmak üzere damar doğrultusunda yollar açılır (MTA, 2000).

Yöntemin avantajları:

- Uygulama alanı geniştir.
- Modern delme ve ateşleme araçları kullanıldığı için üretim kapasitesi oldukça yüksektir.
- Yöntem mekanizasyona elverişlidir.
- Tahkimat malzemesi gereksinimi azdır • Emniyeti yüksektir.
- Ton başına düşen hazırlık maliyeti düşüktür. Yöntemin dezavantajları:
- Cevher kazı randımanı düşük, seyrelme oranı büyüktür.
- Seçimli cevher üretimi zordur.
- Ara kat bacalarında tali havalandırma gerekir
- Hazırlık sistemi karışıktır.
- Başka yönteme geçmek zordur.

Blok göçertme yöntemi

Bu yöntem genel olarak, düşük tenörlü, büyük yataklara ve dik damarlara ve eğer ekonomik bulunursa kalın yatay damarlara da uygulanabilmektedir. Blok göçertme düşük üretim maliyeti ve yüksek üretim kapasitesi verir ve çeşitli birimlerdeki değişik şekil ve sağlamlıktaki yataklara uygulanabilir. Blok göçertme yönteminde cevher yatay kesiti çoğunlukla 1000 m^2 den geniş olan bloklara ayrılır. Tüm blok tabanında alt kesme yapılır. Böylece üstte kalan cevher desteksiz bırakılmış olur. Hem örtü tabakasının hem de kendi ağırlığının etkisi ile parçalanarak göçer. Cevher alttan çekme konilerinden alınır. Çekme, cevhere belli bir orandan fazla pasa karışmaya başlandığı zaman durdurulur.

Yöntemin avantajları:

- Emniyetlidir.
- Delme, patlatma ve tahkimat giderleri düşük olduğundan ekonomiktir.
- Merkezi üretim yapılması yönetim ve denetim kolaylığı sağlar.
- Diğer göçertme yöntemlerine göre daha iyi havalandırma yapılabilir.
- Fazla miktarda üretim yapmak için elverişlidir.

Yöntemin dezavantajları:

- Hazırlık döneminde blokların hazırlanması uzun sürer.
- Çekme alanındaki yolların onarım, bakımı güç ve masraflıdır. Bu işlem üretimi aksatabilir.

- Göçertmenin denetimi, dolayısıyla üretim miktarının değiştirilmesi güçtür. Bir süre için üretimin durdurulması, basınç altındaki yolların hasara uğramasına yol açar.
- Randıman düşük olabilir ve cevher çekme işlemi iyi kontrol edilmediği sürece fazlaca cevherin kaybedilme tehlikesi vardır.
- Bir başka yönteme geçme olanağı yoktur.

Cevher zenginleştirme

Üretilen kurşun-çinko cevherlerinin doğrudan izabe edilmeleri ekonomik olmadığından, bunların önce çeşitli cevher zenginleştirme yöntemleriyle yoğunlaştırılmış ürün haline getirilmeleri gerekir. Kurşunun zenginleştirilmesinde başlıca 2 yöntem uygulanmaktadır. Gravite ve flotasyon yöntemleri.

Gravite yöntemi: Mineralleri, tane boyutlarına bağlı olarak jig, ağır ortam ayırıcıları, spiral ve sarsıntılı masalar kullanılıp ayırma işlemleridir. Gravite yöntemlerinin diğer zenginleştirme yöntemlerine göre, gerek işletme, gerekse maliyet açısından oldukça ucuz olmasına karşılık, metal kazanma verimlerinin düşüklüğü, kaçakların önlenememesi ve seçimli ayırmaya tam uyum sağlayamaması dezavantaj olmaktadır. Bu yöntem daha çok ön zenginleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda gravite yönteminde küçük taneli cevherlerin (-0,5 mm) zenginleştirilmesinde kullanılan Çoklu Gravite Ayırıcısı (Multi-Gravity Separator-MGS) da sarsıntılı masalara bir alternatif olarak yer almaktadır.

Flotasyon yöntemi: Günümüzde düşük tenörlü kurşun-çinko cevherlerinin seçimli olarak zenginleştirilmesinde kullanılan ve bütün Dünya'da başarıyla uygulanan yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yöntem, gravite yöntemleri ile zenginleştirilmesi olanaksız olduğu için kıymetsiz kabul edilen pek çok düşük tenörlü ya da karmaşık yapılı cevher yatağının işletilmesini olanaklı kılarak işletilebilir rezervlerin artmasına ve madencilik endüstrisinin gelişmesine yol açmıştır. Flotasyon yönteminin esası, çeşitli ayıraçlarla oluşturulan sıvıda minerallerin bir kısmını yüzdürme, bir kısmını da dibe çöktürme ile mineralleri ayırma işlemine dayanmaktadır.

Günümüzde, sülfürlü kurşun-çinko cevherlerinde zenginleştirme büyük ölçüde flotasyon yöntemi ile yapılmaktadır. Diğer yöntemlere oranla daha pahalı ve fazla enerji gerektiren bir yöntem olmasına karşın, düşük tenörlü cevherlerde bile yüksek metal kazanma verimliliğiyle, yüksek tenörlü ürünlerin elde edilebilmesi flotasyonu en yaygın zenginleştirme yöntemi haline getirmiştir.

Flotasyon maliyetlerinde, cevherin tenörü ve mineralojik özellikleri en etkili faktördür. Bu özelliklere bağlı olarak maliyet girdileri ve metal kurtarma randımanları % 60-95 arasında değişir. Aynı nedenle, bugün Dünya'da üretilen kurşun konsantrelerinin tenörü % 50-78 Pb; çinko konsantrelerinin % 48-60 Zn, ve toplam (bulk) konsantreleri ise % 15-35 Pb ve % 20-40 Zn olabilmektedir. Flotasyon yöntemi iki farklı biçimde yapılmaktadır (MTA, 2000).

1- Sülfürlü Pb-Zn minerallerinin flotasyonu
2- Oksitli Pb-Zn minerallerinin flotasyonu

Her iki flotasyon işleminde de birincil kurşun üretimi çeşitli prosesler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Bu proseslerin bazıları aşağıda sunulmuştur.

Birincil kurşun üretimi

Hidrometalurjik prosesler

Metal kurşun üretiminde, literatürde bazı laboratuvar ve pilot ölçekli denemelere rastlanmakta ise de henüz endüstriyel boyutta bir hidrometalurji tesisi kurulmamıştır. Minemet Recherche'nin tuzlu su özütleme prosesi, kurşunun yüksek saflıkta ve verimle hidrometalurjik kazanımını mümkün kılmaktadır. Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun (United States of Bureau Mines-USBM) ferrik klorür özütleme prosesi de $PbCl_2$'nin ergimiş tuz elektrolizi yolu ile saf kurşun kazanımını sağlar (USBM, 1995).

Bu prosesler kavurma esaslı olmadıkları için kükürt içerikli gazlar oluşmaz ve çevre dostu birer proses görünümündedirler. Ancak, ekonomik ve malzeme korozyonu gibi nedenlerden ötürü, henüz endüstriyel boyutta önemli bir gelişme gerçekleşmemiştir.

Pirometalurjik üretim prosesleri

Kurşun konsantrelerinin pirometalurjik işleminde geleneksel olarak endüstriyel ölçekte kullanılan en eski yöntem emperyal eritme prosesidir (ISP). Kurşun konsantrelerinin sinterleme işleminde ISP dışında, klasik yöntemler olarak, reverber fırın, yüksek fırın ve düşey fırın (şaft fırını) ergitmesi olmak üzere üç sinterleme uygulaması bulunmaktadır.

Kurşun rafinasyonu ve yan ürün kazanımı

Çeşitli yöntemlerle cevher, yoğunlaştırılmış ve diğer hammaddelerden üretilen ham kurşunda, az ya da daha yüksek derişimlerde çeşitli safsızlıklar bulunurlar. Bunların en önemlileri Cu, As+Sb+Sn, Ag (+Au), Zn ve Bi metalleridir. Ham kurşundan bu safsızlıkların giderilmesi ancak oksidasyon ile mümkün olabilmektedir. Öte yandan, safsızlıkların kurşundan ayrılması, bakır giderme, yumuşatma (As, Sb, Sn giderilmesi), gümüşün ayrılması, çinkonun uzaklaştırılması ve son olarak da (yeterli derişimlerde ise) bizmutun ayrılması kademelerini içerir.

Kurşuna eşlik eden ürünlerin uzaklaştırılması, bunların derişimlerinin arttırıldığı bir fazda toplanması ve "yan ürün" olarak kazanılmaları mümkündür. Kurşun rafinasyonu ile rafine kurşun üretimi sırasında, çinko, bakır, arsenik, antimuan, kalay, altın, gümüş, kobalt ve bizmut rafinasyon prosesinde birbirini izleyen kademelerde yan ürün olarak kazanılmaktadır. Kurşundaki diğer elementlerin uzaklaştırılması ya da diğer bir deyişle yan ürün kazanımında birbirini izleyen süreçlerin ayrıntıları aşağıda sunulmuştur:

Çinko (Zn)**:** Kurşun-çinko cevher yataklarında gerek sülfitli ve gerekse oksitli yapıda, kurşuna eşlik eden en yaygın mineral çinkonun süflitli ve oksitli mineralleri olmaktadır. Bu nedenle kurşun metali üretiminde çinko, yan ürünlerin kazanılmasına yönelik olarak uygulanan proseslerin birinci kademesinde ilk olarak kazanılması gereken metal olarak düşünülmektedir. Ağırlıklı olarak çinko minerallerinin eşlik ettiği sülfitli yapıdaki cevherlerden, çinkonun kazanılması cevher hazırlama kademesinde başlamaktadır.

Bakır (Cu): Kurşun rafinasyonunun birinci aşaması bakırın giderilmesi işlemidir. Cevherdeki Cu derişimi ve düşey fırınındaki çalışma şartlarına bağlı olarak metalik kurşun içinde değişen miktarda bakır olabilmektedir. Bu bakırın önemli bir bölümü, metalik kurşunun katılaşması sırasında ayrılabilmektedir. Teknolojik uygulamada bu tip bir fiziksel ön işlemle Cu % 0.1 ile % 0.06 değerine indirilebilmektedir. Daha düşük değerlere inmek, ancak sisteme element halinde S eklenmesine dayanan bir yöntemle mümkündür.

Arsenik, antimuan, kalay (As, Sb, Sn): Ham kurşunun içerdiği bakırın giderilmesinden sonra, oksitleyici ortamda oluşan kurşun oksit, diğer elementleri oksitleyerek cürufa geçirir. Bu işlem, bazı fırınlarda hava üflenerek 700-750 ^{o}C civarında gerçekleştirilir.

Gümüş ve altın: Bütün kurşun cevherleri pratik olarak az ya da çok miktarda gümüş (ve altın) içerir. Bu gümüş yüksek fırında yürütülen izabe işlemi sırasında külçe kurşuna geçer. Ergimiş haldeki kurşuna çinko eklenir ve banyo karıştırılırsa oluşan Ag-Zn alaşımı ağırlığının az olması nedeniyle yüzeye çıkar ve sistemden uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntem Parkes yöntemi olarak da bilinmektedir.

Küpelasyon (Fire Assay): Pb'nun oksitlenerek yok edilmesi sonucu Ag (+Au) güherçilesinin (kemik külü potada) elde edilmesidir. Kolaylıkla ergiyen litarj, fırını eğmek suretiyle kalıplara dökülerek uzaklaşırken, gümüş ve varsa altın bakımından zengin şarj küpel üzerinde kalır.

Kobalt: Kurşun cevherlerinin genellikle içerdiği kobalt, şaft fırınındaki Pb izabesi sırasında redüklenerek kurşun kütlesi içinde sistemi terk eder. Bu ham kurşunun rafinasyonu sırasında ortaya çıkan bakır drosu, reverber fırınında işlenirken oluşan speiss fazı başlangıç cevherinde mevcut kobaltın tümünü içerir.

Bizmut: İzabe Pb içinde % 0.05 ya da daha fazla Bi varsa rafinasyona gidilir. Daha düşük derişimlerde herhangi bir işleme gerek yoktur. Bizmut, kurşun ile kardeş metaldir. Kurşunun gösterdiği bütün kimyasal özelliklere sahiptir. Tek farkı, Bi'un alkali ya da toprak alkali elementlerle Zn-Ag benzeri ara kimyasal bileşikler yapabilmesidir.

İkincil kurşun üretimi

1994 yılında birincil üretimlerde hafif bir azalmaya karşın ikincil kaynaklardan kurşun üretimi bir önceki yıla göre % 4.1 oranında artmıştır. 1995 yılı toplam kurşun üretiminin % 53,5'luk bölümü ikincil kaynaklardan elde edilmiştir. Amerika'daki üretimin % 70'lik bölümü, ikincil kaynaklardan sağlanmaktadır. İkincil üretimdeki bu artışın nedenlerinden biri, yoğunlaştırılmış cevherden kurşun üretiminin azaltılması yönündeki talepler olmaktadır (MTA, 2000). Günümüzde bu oranlar değişmiş olabilir.

Akü hurdalarının işlenmesi: Asitli kurşun akülerin kullanıldığı kurşun, toplam kurşun tüketiminin yaklaşık 2/3'üdür. Bu miktarın da 2/3'ü ikincil kurşun malzemesi olarak geri döner. Bu nedenle, akü hurdaları, kurşun cevherlerinden sonra en büyük ve önemli kurşun kaynağıdır. Akü hurdalarının döner ya da düşey fırınlarda klasik yolla işlenmesi sonucunda elde edilen Pb'nun geri kazanımı gerekli olup bu da henüz yeterli olmaktan uzaktır. Akülerden kurşunun geri kazanımına ilişkin yapılan çalışmalar aşağıdaki adımlardan oluşur:

- Akü gövdesinin kırılması ve asidin uzaklaştırılması,
- Akünün bir öğütücüde öğütülmesi,
- Eleme,
- Çamurun ayrılması,
- Metal ve organik malzemelerin ayrılması,
- Kurşun içerikli ürünlerin -grit metal, antimuanlı grit metal ve çamurun- sırasıyla rafinasyon küveti, şaft fırını ve sinter bandında işlenmesi.

Kırma ve öğütme sistemlerinden; metalik kurşun, kurşun pastası, ebonit, polipropilen ve PVC türevleri gibi malzemeler ortaya çıkar.

Türk devletlerinden Kazakistan 964000 ton/yıl kapasiteli dört tesisi ile en büyük üretici durumunda olup, Dünya kurulu kapasitesinin %11'ine sahiptir. Özbekistan'da 40000 ton/yıl kapasiteli bir tesis mevcuttur.

Komşu ülkelerden Bulgaristan'da 160000 ton/yıl kapasiteli üç tesis olmasına karşın son yıllarda üretimi 100000 ton/yıl seviyesinden 50000 ton/yıl seviyesine düşmüştür. Son yıllarda İran'da 40000 ton/yıl kapasiteli bir kurşun izabe tesisi kurulmuş, ancak tesis tam kapasiteyle faaliyete geçmemiştir. Ayrıca ikincil üretime dönük ikinci bir tesisi daha vardır. Diğer komşu ülkelerin üretimi bulunmamaktadır.

KULLANIM ALANLARI

Değişik fiziksel ve kimyasal bileşikleriyle kurşun, sanayide birçok alanda kullanılmaktadır. Yumuşak olması, işlenme kolaylığı, yüksek özgül ağırlığı, yüksek kaynama noktası, düşük erime noktası, aşınmaya karşı direnci, enerji absorbsiyonu, ve kısa dalga ışınları geçirmeme özellikleri kurşuna bir çok kullanım alanında üstün bir yer yaratmaktadır. Son yıllarda kurşun yerine çeşitli malzemeler kullanılmaya başlanmış olmasına karşın, akü üretimi, boya, kimya sanayinde ve metal alaşımı olarak sanayinin önemli bir girdisini oluşturmaktadır.

Kurşunun ana kullanım alanı **akü üretimi** olup, **yeraltı haberleşme kablolarının kurşunla izolasyonu**, diğer önemli kullanım alanıdır. Korozyonu önleyen kurşun oksit boyalar, kabloların kaplanmasında, kurşun tetraetil ve tetrametil formlarında benzin içinde oktan ayarlayıcı bileşikler olarak, radyasyonu en az geçiren metal olması nedeniyle X-ışınlarından korunmada, renkli televizyon tüplerinin yapımında önemli kullanım alanları bulmuştur.

Çizelge 2'de, çeşitli kaynaklardan derlenen, son 5 yıllık ortalama değerleriyle Dünya kurşun tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımı görülmektedir. Kullanım alanları ve genel özellikleri aşağıda başlıklar altında verilmektedir (DPT, 2000; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Akü üretimi

Kurşun aküleri yalnız otomobillerde değil, ışıklandırma, haberleşme sistemleri ve elektrik enerjisi depo edilecek birçok endüstriyel ve askeri sistemlerde kullanılmaktadır. Kurşun-asit akülerinin plakaları kurşun alaşımından dökülmüş levhalardır. Bu alaşım; % 6-12 antimuan, az miktarda arsenik, kalay ve diğer elementleri içermektedir. Antimuan levhaya sertlik vererek aşınmaya karşı direnci arttırır. Kalay eriyiğin düzgün kalıp haline gelmesini sağlar.

Çizelge 2. Dünya'da metal kurşunun kullanım alanları (DPT, 2000).

Kullanım Alanı	Kullanım Oranı (%)
-Akü üretimi	60.0
-Kablo izolasyonu	5.5 8.0
-Hadde ve diğer ürünler	2.5
-Mühimmat(silah)	4.0
-Alaşımlar	13.0
-Kimyasal maddeler ve pigmentler	3.0
-Benzin katkısı	4.0
-Diğer	**100.0**
Toplam	

Tetraetil kurşun ($Pb(C_2H_5)_4$)

Hidrokarbon yakıtları, hava ile karıştırıldığı zaman elektrik kıvılcımı olmaksızın uygun ısı ve basınçta tutuşur. Bu olay dizel motorların çalışma esasını oluşturur. Hava-benzin karışımında istenen yanma, otomobil silindiri içinde karışımın tutuşmasıyla başlar. Bununla beraber, eğer yakıtın yanması buna bağlı diğer faktörlere göre düzenlenmemişse meydana gelen ısı ve basınç şiddetli patlamaya neden olur. Bu olaya vurma (knock), bunu azaltmak için kullanılan bileşimlere ise ters vurma (antiknock) denir. Tetraetil kurşun bu bileşimin aktif maddesini oluşturur. Süper benzin, bir galonda (3.6 litre) 2-4 ml; normal benzin ise 0.5-1.5 ml tetraetil kurşun içerir.

Kurşun oksit (Litarj)

Akülerin pozitif ve negatif levhalarının yapımından başka, seramik, kurşun kromat, vernik, böcek ilacı, lastik imalatı ve petrol rafinerisinde kullanım alanları vardır. Ayrıca altın'ın ateş analizi "Fire Assay" yönteminde eritme işlemi için kullanılan ana kimyasaldır.

Kablo kaplaması

Telefon ve telgraf haberleşmelerinde, elektrik iletici ve dağıtıcı kablolarda kurşun kaplama gereci olarak kullanılır. Kurşun kılıfının başlıca işlevi; nem ve tahrip edici diğer etkenlere karşı dayanıklılığı artırmaktır. Bu özelliğiyle yeraltı kablolarının yapımında kullanılır. Bazı hallerde sertlik kazandırılmak için antimuan (% 1), kalsiyum (% 0.04) ve arsenik (% 0.1-0.2) eklenebilir.

Kalafat kurşunu

Aşındırıcı etkenlere karşı direnci, esnekliği, düşük erime noktası ile kurşun su borularının eklem yerlerinde kullanılır. Kalafat kurşunu % 99.73 saf kurşun ile % 0.08'den az olmak üzere arsenik, antimuan, kalay, bakır, çinko, demir ve gümüş içermektedir. Bizmut içeriği maksimum % 0.25 olmalıdır. Genel bir koşul olarak boru kalafatlanmasında boru çapının her bir inçi için yaklaşık 1 pound (0.454 kg) kurşun gerekmektedir.

Kurşun yünü ve lehim

Erimiş kurşunun elekten geçirilmesiyle kurşun iplikleri elde edilir. Bu iplikçikler petrol kuyularının musluklarında sızıntıyı önlemek için kullanılır.

Genel olarak lehim, % 30-40 Pb, % 60-70 Sn içerir. Plastik derece istenen lehimlerde kalay % 40'ın altında, kurşun % 60'ın üzerindedir. Erime noktası 183 ^{o}C'dir.

Alaşım olarak kullanım alanları

Makinenin hareketli ve sabit bölümleri arasında bağlantı sağlayan ve hareketli bölüme destek olarak kullanılan bu malzemeler kurşun, kalay ve bakırdan oluşan mil yatağı alaşımlarıdır. Çapa kalıbı, mıknatıs, zımba, gaz silindirlerini sıkıştırmak için tıpa ve ateşe dayanıklı kapı yapımı ve benzeri alanlarda ergiyen alaşımlar olarak kullanılır.

Kurşun yaprak

Kalınlığı 0.01 mm kadardır. Bazı tip elektrik kondansatörlerde kullanılır. Neme ve radyasyona karşı direnci nedeniyle tıpta paketlemede ve foto filmde, dişçilikte ve radyografi endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca askeri alanda ordonat malzemesinin ışık ve nemden korunmasında, iyi kaliteli çayların paketlenmesinde kullanılır.

Balast

Yüksek özgül ağırlığı, döküm kolaylığı ve düşük maliyeti ile balast malzemesi olarak kullanımı yaygındır. Bir buhar lokomotifinin tekerleklerinin her bir çifti için bir ton kadar kurşun kullanılır. Makine balansları, otomobil tekerlekleri balansları, uçaksavar topları, gemi omurgası ve uçak pervanelerinde kullanılmaktadır.

Radyasyon kalkanı

Kurşunun tehlikeli radyasyonu özellikle de gama ışımasını azaltma özelliği vardır. Gama ve nötron ışınları iyonize özellikleri dolayısıyla canlı dokuları bozarlar. Kurşun bu ışınları absorbe eder. Kirlenmeden ve radyoaktif hale gelmeden devamlı kullanılabilir. Kaplamada kullanılan kurşun yüksek enerji radyasyonu karşısında radyoaktif hale gelebilecek maddeleri içermesi gerekir. Kadmiyum ya da parafin, su gibi hidrojenli maddeler nötronlara karşı koruyucu olarak kullanılırlar. Ancak nötronlar absorbe edildiği zaman gama ışınları yaydığından bu ışınların kurşun kalkan ile durdurulması gerekmektedir.

Titreşim önleyici

Tren yolları gibi titreşim kaynakları yakınındaki yapılarda sütun kaideleri altında kurşun ve asbest bloklar yer almaktadır. Çeşitli duyarlı aletler kurşun bloklar üzerinde monte edilir ya da kurşun kılıflarla kaplanarak titreşimlerden korunur. Gemilerde boru sistemi yerleştirilirken makine titreşimini önlemek için borular kurşun kayışlarla yalıtılır.

Cam, sır ve cila

Kırmızı kurşun, beyaz kurşun, kurşun oksit ve kurşun silikatlar cam, sır ve cilada kullanılırlar. Kurşunlu cam yüksek bir kırılma indisine sahiptir, ısı iletkenliği ve kimyasal duraylılığı kurşunsuz cama göre daha azdır. Cama parlaklık, rezonans verir. İyi kalite kristal % 30 kurşun oksit içerebilir. Cam ve cilada kullanılan kurşun, rengin bozulmaması için yüksek saflıkta olmalıdır.

İşlenebilir pirinç

Pirinç ortalama % 61.5 Cu, % 3 Pb ve % 35.5 Zn içerir. Pirinçlerin işleme özelliğini arttırmak için genellikle % 0.25-6 arasında kurşun eklenir. Kesici aletlerde kurşunlu malzemelerden yapılmaktadır. Alüminyum ve çeliğin işlenebilme özelliğini arttırmak için de kurşun eklenebilir. Kurşunlu kalay bronzu (% 88 Cu, % 6 Sn, % 1.5 Pb, % 4.5 Zn) sübap, destek parçaları, dirsek yapımında; kurşunlu nikel pirinç (% 57 Cu, % 2 Sn, % 9 Pb, % 20 Zn, % 12 Ni-alman gümüşü) döküm alaşımında kullanılmaktadır. Kurşun bronzlar mil yataklarında kullanılmakta olup, Pb oranı % 30'un üzerindedir. Kurşunlu kırmızı ve sarı pirinçler boru takımları, madeni eşyalar, karbüratörlerde kullanılırlar.

Yarı iletken kurşun

Termoelektrik kurşun tellürid nükleer reaksiyon ısısından doğrudan doğruya elektrik elde etmekte kullanılır. ABD'de roketlerin uçuşunda atmosfer içindeki su hakkında bilgi toplamak için kurşun sülfit kullanılmıştır. Kurşun sülfidin elektrik çıktısı atmosferlerin su buharına uygun olarak değişmektedir.

Kurşun boyalar

Beyaz kurşun (Üstübeç): Kaba formülü $2PbCO_3.Pb(OH)_2$'dir. Bazik kurşun karbonat ya da beyaz kurşun uzun yıllardır kullanılan beyaz bir boyadır. Ayrıca çömlek sırrı, cila ve camcı macunu yapımında kullanılır.

Kırmızı kurşun (Sülüğen): Boya endüstrisinde önemli yer tutar. Demir köprüler, çelik yapılar, gemi tekneleri, su ve yakıt tanklarında aşınma ve pasa engel olmak üzere kullanılan standart bir boya cinsidir. Boya filminin direncini arttırarak esneklik kazandırır.

Oranj mineral: Parlak kırmızı bir kaya olup renk vermede ve baskı mürekkebi yapımında kullanılır. Kimyasal bileşimi ve yapımı kırmızı kurşuna benzer.

Kurşun kromat ($PbCrO_4$): Parlak sarı bir kaya olup kurşun asetat (ya da nitrat) çözeltisine potasyum ya da sodyum bikromat eklenmesiyle çökelek oluşturulur. Eğer çözelti bikromat eklenmeden önce sodyum hidroksitle tamponlanırsa sarı-portakal çökelek oluşur.

Bazik kurşun kromat Amerikan kırmızısı, Çin kızılı, ya da krom kırmızısı gibi isimler alır ve beyaz kurşundan yapılır. Krom yeşili, sarı kurşun kromat ve Prusya ya da Çin mavisinin karışımdır.

Bazik kurşun sülfat Bazik kurşun karbonatla aynı özelliklere sahip beyaz, opak bir boyadır. Galenit konsantrelerinin yakılması ya da püskürtülen kurşunun sıcak havada sülfürdioksitle işleme girerek elde edilir. Bazı plastikler duraylılığı sağlamada kullanılır.

Mavi kurşun: Bazik kurşun sülfatla az miktarlarda kurşun sülfit, çinko oksit ve karbon içeren mavimsi gri renge sahiptir. Pas önleyici olarak kullanılır (MTA, 2000).

Kurşun yerine kullanılabilen gereçler

Bazı alanlarda kurşun yerine kullanılan çeşitli maddeler bulunmaktadır. Örneğin akülerde kurşun yerine, **nikel-kadmiyum, cıva, nikel-çinko, gümüş-çinko, demir ve karbon-çinko** bileşikleri kullanılabilmektedir. Ancak bunların elektrik özellikleri farklı olup, elde edildikleri hammadde kaynakları da yeterli değildir. Ayrıca birçoğu kurşundan daha pahalıdır.

Yüksek enerjinin gerektiği özel uygulamalarda, büyük hacimli kurşun-asit akülerin yerine daha pahalı olan diğer maddeler tercih edilebilir. Elektrik araçlarındaki kullanımlar için geliştirilmekte olan aküler arasında lityum sülfür, sodyum sülfür ve çinko klorür aküleri, kurşun-asit akülerine göre kuramsal olarak daha çok enerji kapasitesine sahiptir. Ancak lityum sülfür ve sodyum sülfür tipleri yüksek sıcaklıklarda (300^oC'nin üzerinde), çinko klorür tip ise düşük sıcaklıklarda (0-10^oC) daha verimlidir.

MMT denilen bir manganez bileşiği ise benzin katkısı olarak kullanılmaktadır. Diğer bazı metal bileşikleri de katkı malzemesi olarak kurşun yerine kullanılabilir. Ancak bunlar kurşuna oranla daha az elverişli, çok daha pahalı olup çevre sorunları yaratmaktadırlar. Rafinerilerde oktan derecesi arttırılabilir, ancak kurşun eklenmezse benzin verimi düşer.

1974 yılından itibaren kurşunsuz benzin kullanacak şekilde otomobil tasarımları yapılmaya başlanmış ve buna bağlı olarak kurşunsuz benzin ticareti giderek arttı. Günümüzde ise kurşunlu benzin üretimi tüm dünyada yasaklanmıştır.

Dâhili boyalarda, zehirli etkileri nedeniyle, artık kurşun kullanılmamaktadır. Dış boyalarda da titanyum ve çinko tercih edilmektedir. İnşaat ve karayollarında paslanma ve korozyona karşı dayanıklılığı nedeniyle kurşun boyaları temel malzeme olma özelliğini korumaktadır.

Yüksek korozyonun bir sorun oluşturmadığı yeraltı ve haberleşme kablolarında kurşun yerine polietilen ve metalik ya da organik malzemelerin bileşikleri kullanılmaktadır.

İnşaatta kurşun, plastikler, galvanize çelik, bakır ve alüminyum ile rekabet etmektedir. Plastik ve asbest çimentolu borular da kurşun boruların yerini almıştır. Aşındırıcı kimyasal ortamlarda, kurşun yerine, paslanmaz çelik, titanyum, plastikler ve çimento, kalafatlama ve eklemelerde ise **plastikler** kullanılmaktadır.

Demir ve çelik, cephanelerde kurşunun yerini almıştır. Tüp ve benzeri kaplarda, plastikler, alüminyum, kalay ve cam tercih edilmektedir (MTA, 2000).

ÇEVRE SORUNLARI ve ÇÖZÜM YOLLARI

Türkiye'de kurşun, çinko ve kadmiyum madenciliğinde yaşanan çevre sorunları Dünya'daki çevre sorunlarından farklı değildir. Gerek ocak işletmesinde gerekse cevher zenginleştirme evresinde ciddi çevresel sorunlar yaşanabilir. Kurşun, çinko ve kadmiyum madenciliğinde karşılaşılan çevre sorunları, madencilikle ilgili genel çevre sorunlarının yanı sıra kurşun, çinko ve kadmiyum madenciliğine özgü çevre sorunlarından kaynaklanmaktadır.

Kurşun, çinko ve kadmiyum element olarak zehirli oldukları gibi, oluşturdukları bileşiklerin çok büyük bir bölümü zehirlidir. Maden işletmelerinde bu elementler ve bileşikler değişik yollarla çevreyi kirletebilmektedir. Bu elementlerin derişimleri, orman ve ziraata uygun topraklarda maksimum değerlerden iki kat daha fazla olduklarında çevre açısından zehirli etkiye sahiptirler.

Kurşun, çinko ve kadmiyum sülfürlü cevherlerden üretiliyorsa; bu cevherlerin yapısındaki kükürdün sulu ortamlarda oluşturduğu karmaşık bileşikler de bu elementlerle birlikte çevredeki toprakları ve yeraltı su kaynaklarını kirletebilmektedir. Ancak madencilik kaynaklı kurşun kirlenmesi, geçmişte kurşunlu benzinden kaynaklanan kurşun kirlenmesinden daha küçüktür. Madencilikle ilgili genel çevre sorunları doğrudan ve dolaylı olarak işletmelerin her gün karşılaştığı sorunlardır. Başlangıçta işletme için gerekli yapıların inşa edildiği alanlar, işletme aşamasında ise pasa döküm alanları ile atık barajlarının oluşturduğu alanları, doğanın topoğrafyasını değiştirmekte ve yöredeki tarım ve orman arazilerinin ortadan kalkmasına neden olabilmektedir.

Kurşun-çinko madenciliği, Türkiye'de yeraltı üretim yöntemleri, kurulan flotasyon tesislerinin atık sularını dere yataklarına akıtmak yerine, havuzlarda dinlendirip, filtre ederek kapalı bir devre ile tekrar kullanılmak üzere flotasyon tesislerine pompalanmaktadır. Dinlendirme havuzlarında biriken atık malzeme tesislere yakın yerlerde uygun bir topoğrafyaya nakledilmektedir. Topoğrafya dengesinin bozulacağı alanlarda, bu atık malzemelerin cevherlerin üretildiği kapalı maden ocaklarına taşınarak dolgu malzemesi olarak kullanılması düşünülebilir. Dünya'daki gelişen uygulamalar da bu yöndedir.

SONUÇLAR

Türkiye'de kurşun cevherinden, metal kurşun elde etmeye yönelik bir izabe tesisi yoktur. Ancak hurda metal kurşun eritilerek, kurşun metali elde edilen (Akücüler gibi) bazı küçük tesisler bulunmaktadır. Kullanım alanlarının dağılımı gözetildiğinde, akü üretiminde kullanılan metal kurşun gereksinimi % 60'lı düzeyle birinci sırada yer almaktadır. Diğer yandan akü teknolojisindeki gelişmeler

de dikkate alınarak bu oranın bir miktar düşeceği kabul edilebilir. Dolaysıyla yıllık metal tüketiminin toplam tüketim içindeki oranının % 35-45 dolayında olması beklenmektedir.

Dünya'nın mineral kaynakları, öngörülen arz ve güvenlik sorunları irdelenmiştir (Ray, 1984). Bu çerçeveden bakıldığında, Türkiye'nin yıllık metal kurşun gereksinimi 35000 ton dolayındadır. Yıllık kurşun metali kullanımının yaklaşık % 35'i ikincil üretim denilen hurda kurşun metalinin eritilip kazanılması ile gerçekleşmektedir.

Ülkemizde kurşun metali sadece ikincil üretim olarak hurda kurşunun ergitilmesi sonucu kazanılmaktadır. Bunun dışında sülfitli ya da oksitli kurşun minerallerinden izabe ile elde edilmemektedir. Büyük cevher kapasitelerinde bulk kurşun ve çinko madeni izabesinde kullanılan emperyal eritme izabe sistemi henüz ülkemizde kurulamamıştır.

Üretim hedefleri, 250 bin ton metal Pb+Zn (100 bin ton/yıl Pb; + 150 bin ton/yıl Zn) dolayında öngörülmektedir. Bu hedefler çerçevesinde özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde bu kapasitede bir "Emperyal Eritme" tesisi planlanabilir. Böyle bir durumda Azerbeycan, Gürcistan, Ermenistan gibi ülkelerden de cevher satın alınması olanaklı hale gelecektir (Dorian ve Borisuich, 1992; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Kurşun madenciliğinde ortaya çıkan çevre sorunları gözetilerek, halen kullanılmakta olan kurşunun geri kazanım yolu ile yeniden değerlendirilmesi için yoğun çaba harcanmalıdır.

KAYNAKLAR

Dorian, J.P. ve Borisuich, V.T., 1992, Energy and Minerals in the Former Soviet Republics-Distribution, Development Potential and Policy Issues, Resources Policy, vol 18, no 3.

DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik özel ihtisas komisyonu, Metal madenler alt komisyonu, Kurşun çalışma grubu raporu, Ankara.

MTA, 1994, Mineraller, Ankara, 72 s.

MTA, 1995, Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü Doğal Kaynaklar Envanteri, Cilt I, Sivas İli Doğal Kaynaklar Envanteri, Sivas.

MTA, 2000, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Genel Endüstri Mineralleri, Cilt II, Ankara, 76 s.

Ray, G.F., 1984, Mineral Reserves: Projected Lifetimes and Security of Supply, Resources Policy, vol 10, s. 75-80.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

2. 4, ÇİNKO

GENEL BİLGİLER

Çinko ilk olarak M.Ö. 2000 yıllarında Çinliler ve Romalılar tarafından alaşım materyali olarak pirinç yapımında kullanılmıştır. Bilinen en eski çinko arkeolojik kalıntı, Romanya'nın Doroseh şehrindeki tarih öncesine ait Dacian yerleşim merkezinde bulunmuştur. Bu heykel parçası üzerinde yapılan analizler sonucunda, % 87.5 Zn, % 11.5 Pb ve % 1 oranında Fe içerdiği belirlenmiştir. Hindistan'da ise MS 1000-1300 yıllarında çinkonun metal olarak kullanıldığı ve 14. yy da ticari amaçla izabesinin yapıldığı bilinmektedir.

Çinko metali hakkında ilk bilimsel çalışmalar Paracelsus (1490-1541) tarafından yapılmıştır. Çinkonun Avrupa pazarına girişi 17. ve 18. yy'a rastlamaktadır. İlk izabe teknolojisi 1730 yılında Çin'den İngiltere'ye aktarılmıştır. İlk çinko izabe tesisi de 200 ton/yıl kapasite ile Bristol yakınlarında kurulmuştur. ABD'de ise ilk çinko üretimi Washington DC Arsenal'de yapılmıştır (MTA, 1995).

Çinko kullanım açısından demir dışı metaller içerisinde alüminyum ve bakırdan sonra gelen en önemli üç metalden birisidir. Bu üç metal demir ve çeliğin korozyona karşı direncinin artırılmasında, döküm sanayinde kullanılan özel alaşımlar ile pirinç alaşımların yapımında kullanılmaktadır. Çinko ayrıca, çinko plakaların yapımında, çatı kaplama malzemelerinde ve lastik sanayinde de (ZnO olarak) kullanım alanı bulmaktadır.

Günümüzde çinko; çelik, alüminyum ve bakırdan sonra Dünya'da yıllık tüketimi en fazla olan metaldir. Kimyasal yönden aktif olması ve diğer metallerle kolayca alaşım yapabilmesi nedeniyle çinko, endüstride birçok alaşımın ve bileşiğin üretiminde kullanılmaktadır. Kuvvetli elektropozitif özelliğinden dolayı diğer metallerin özellikle demir-çelik ürünlerinin aşınmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır. Üretilen çinko metalinin ana ürün olarak tüketildiği belli başlı beş alan bulunmaktadır. Bunlar; galvanizleme, pres döküm alaşımları, pirinç ve bronz alaşımları, çinko oksit ve haddelenmiş çinko alaşımlarıdır.

Çinko alaşımları ve bileşiklerinin kullanım açısından özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Ticari açıdan çinkonun öneminde herhangi bir gerileme gözlenmemektedir. Bazı uygulama alanlarında, diğer metallerle arasında bir yarış olmasına rağmen, çinkonun önemi hiç azalmamaktadır.

Toplam çinko tüketiminin % 50'si galvanize çelik üretiminde kullanılmakta, % 20'si pirinç üretiminde, % 15'i döküm, % 8'i çinko oksit üretiminde, % 7'si yarı fabrikasyon ürünlerde kullanılmaktadır. Ekotoksik etkisi nedeniyle çinko, özellikle yapı ve inşaat sektörü gibi bazı alanlarda sınırlı tüketilmektedir. Günümüzde çinko ikame maddesi olarak; özellikle otomotiv sektöründe alüminyum, magnezyum ve plastikler kullanılmaktadır.

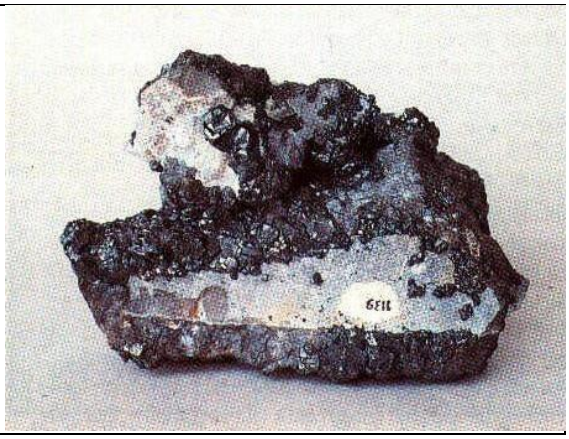
ÖZELLİKLERİ

Çinko, atom ağırlığı 65.39 g/mol ve atom numarası 30 olan gümüş renkli bir metaldir. Diğer fiziksel özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir. Düşük kaynama sıcaklığı dikkat çekicidir. Bu değer özellikle pirometalurjik metal üretiminde çok belirleyici bir etmendir. Dökülmüş halde sert ve kırılgandır. 120 ^{o}C'de şekillendirilebilir. Böylece çinko anot olarak katodik korozyon korumada önemli bir kullanım alanı bulur. Galvanizleme bu tür uygulamalardan biridir.

Doğada pek çok çinko minerali bulunmaktadır. Bu minerallerden en yaygın olan ikisinin özellikleri Şekil 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Çinko elementinin özellikleri (MTA, 2000).

Ergime sıcaklığı	419.47 °C
Kaynama sıcaklığı	906 °C
Kristal yapısı	Hegzagonal
Kafes parametreleri (% 9.99 Zn)	a=2.66 A, b=4.936 A, c/a=1.856
Yoğunluk	20 °C'de 7.14 g/cm^3, erg. nok. da 6.56 g/cm^3
30 °C sıkıştırılabilirlik katsayısı	ß=1.69 x 10-6 cm^2/kg
Elastiklik modülü	E=10000 kg/mm2 (20 °C)
Burulma modülü	F=3935 kg/mm^2 (20 °C)
Spesifik ısı	0 °C'de 0.381, 20 °C'de 0.385, 100 °C'de 0.398 2008 °C'de 0.414 ve 300 °C'de 0.420 g-1K-1
Isı iletkenliği	0 °C'de 116, 100 °C'de 109, 400 °C'de 97, 460 °C'de 60 W m-1 K-1
Çizgisel genleşme	29.05 10-3 (20-100 °C)
Spesifik elektrik iletkenliği	0 °C'de 18.1, 25 °C'de 16.82, 100 °C'de 12.17 m.ohm1.mm-2
Elektrik direncinin sıcaklık katsayısı	0.00417
Süper iletkenliğe geçiş sıcaklığı	0.905 K
20 °C'de normal potansiyeli	-0.763 V
Yüzey gerilimi (% 9.99 Zn)	420 °C'de 750, 500 °C'de 790 mN/m.

SFALERİT Kimyasal Bileşimi: ZnS Kristal Sistemi: Kübik Sertlik: 3.5-4.0 Özgül Ağırlık: 3.9-4.1 Dilinim: {011} mükemmel Parlaklık: Yarı metalik, elmas parıltılı, reçinemsi Renk ve Şeffaflık: Çoğunlukla sarı, kahverengi, siyah ayrıca yeşil, kırmızı ve gri. Bulunuşu: Sığ konumlu kontakt-metamorfik yataklarda, magmatik kayalarda damarlar şeklinde hidrotermal cevher damarlarında oluşur.	

SMİTSONİT Kimyasal Bileşimi: $ZnCO_3$ Kristal Sistemi: Hegzagonal Sertlik: 4-4.5 Özgül Ağırlık: 4.30-4.45 Dilinim: {10-11} mükemmel Parlaklık: Camsı parlaklık Renk ve Şeffaflık: Beyaz, gri, soluk-koyu sarı, sarımsı kahverengi, parlak elma yeşili, koyu pembe, mor, nadiren renksiz; şeffaf-yarı şeffaf, Bulunuşu: Çinko içeren maden yataklarının oksidasyon zonlarında oluşur. Genellikle sfalerit, hemimorfit, galenit ve kalsit mineralleri ile birlikte bulunur. Yarı şeffaf olanları süs taşı olarak kullanılır.	

Şekil, 1. Bazı çinko minerallerinin temel özellikleri (MTA, 1994).

Çinko, bileşiklerinde +2 değerlikli olarak bulunur. Amonyak, amin siyanür ve halojenler ile karmaşık bileşikler oluşturur. Mineral asitlerinde H_2 çıkışıyla çözünür. Ancak nitrik asitte NO_x çıkışı olur. Dolayısıyla çinko özellikle toz halde çok etkili bir redükleyicidir. Normal sıcaklıkta havada bırakılan metalin yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluştuğundan, bu sıcaklıkta halojenlere bile dayanıklıdır.

HCl gazı çinkoyu çok çabuk etkiler. Toz çinkonun tepkimeye girme yeteneği oldukça fazladır. Ancak yanıcı değildir. Yüksek sıcaklıkta oksijen, klor ve kükürt gibi elementlerle şiddetle tepkimeye girmektedir. Cıva ile sert bir amalgam meydana getirmektedir.

Klorür ve sülfat tuzları suda yüksek miktarda çözünmektedir. Buna karşılık çinko oksit, silikat, fosfat ve organik bileşikler ya suda hiç çözünmezler ya da çok yavaş çözünürler. Bileşikleri arasında çinko oksidin teknik ve ekonomik değeri önemlidir.

Sınıflandırma

Genel olarak çinko mineralleri altı gruba ayrılmaktadır. Mineral grupları, Çizelge 2'de sunulmuştur. Doğada çinko metalinin üretildiği en önemli mineral **sfalerittir**. Çinko blend olarak da bilinmektedir. Sfaleritin bileşimi ZnS'dür. Diğer önemli mineral smitsonit olup $ZnCO_3$ bileşimindedir. Her mineralin kristal yapısı farklıdır.

Çizelge 2. Çinko mineralleri (DPT, 2000).

Mineral Grubu	Mineral Adı	Kimyasal Formülü
	Sfalerit (Çinkoblend)	ZnS
Sülfürler	Vurtzit (Strahlblend)	ZnS
	ZnS	4ZnS+ZnO Zn_5S_4O-4ZnS.ZnO
	Çinko-Teyallit	(Pb, Zn)SnS_2
	Goslarit (Zinkvitriol)	$ZnSO_4$.7H2O
Sülfatlar	Çinko-Melanterit	(Fe, Zn)$SO_4.7H_2O$
	Çinko-Bakır Melanterit	(Fe, Zn)$SO_4.5H_2O$
	Smitsonit (Galmay, Zinkspat)	$ZnCO_3$
Karbonatlar	Hidrozinkit (Zinkblut)	$ZnCO_3.3Zn(OH)_2$
	Çinkokalsit	(Ca, Zn)CO_3 (Bir kalsit çeşitidir)

	Nikolsonit	$(Ca, Zn)CO_3$ (Bir aragonit çeşiti)
	Avrikalsit	$2(Zn, Cu)CO_3.3(Zn, Cu)\ OH_2$
	Hemimorfit (Kalamin, Kiyeselzinker)	$H_2Zn_2SiO_5(ZnOH)_2SiO_3$
Silikatlar	Vilemit (Trostit)	$Zn_2SiO_4.2ZnO.SiO_2$
	Hardystonit	$Ca_2ZnSi_2O_7.2CaO.ZnO.2SiO_2$
	Danalit	$3(Fe,Zn,Mn)\ Be\ SiO_4\ ZnS$
	Zinkit (Rotzinkerz, Çinko Beyazı)	ZnO
	Çinkospinel (Gahnit, Otomolit)	$ZnO.Al_2O_3$
Oksitler	Zinkdibraunit	$ZnO.2MnO_2.2H_2O$
	Hetaerolit (Hosmanite)	ZnO.Mn2O3
	Kreyittonit (Demirgahnit)	$(Zn, Fe, Mg)O.(Al, Fe)_2$
	Disluit (Mangan-Demirgahnit)	$(Zn,Fe,Mg)O.(Al, Fe)_2O_3$
	Fanklinit (Zinkoferrit)	$(Zn,Fe,Mn).(Fe,Mn_2)O_4$
	Kolusit	$(Cu,Fe,Mo,Sn,Zn).4(S,As,Te,Sb)$
Diğer Mineraller	Zinkaluminit	$2ZnSO_4.4Zn(OH)_26Al(OH)_3.5H_2O$
	Hopeyit	$Zn_3P_2O_8.4H_2O$
	Tarbuttit	$Zn_3(PO_4)_2.Zn(OH)_2$
	Deskloyizit	$Pb(Zn,Cu)(OH/VO_4)$

KÖKENİ ve OLUŞUMU

Maden yatakları, Yer'e özgü iç ve dış olayların ürünüdür. Bu yataklar, magmatik, çökel (sedimenter) ve metamorfik kökenliler olmak üzere üç ana grupta toplanabilir (MTA, 2000; Yılmaz, 2009).

I-Magma kökenli yataklar: Bu yataklar plütonik ve subvolkanik evre olarak ayrılırlar.

a. Plütonik evre yatakları

- Damar biçimli yataklar
- Kontakt-metasomatik yataklar

Kurşun-çinko yatakları plütonik evrede damarlar halinde oluşur. Yani, hidrotermal fazın oluşumu olan kurşun-gümüş-çinko mineralleri, en çok damarlar halinde izlenmektedir.

Plütonik evre yatakları, galenit ve sfaleritin karbonatlı kayaların yerlerini almasıyla oluşmaktadır. Bu tip yatakların ekonomik önemleri, damar tipli yataklara oranla daha büyüktür. Kontakt- metasomatik tür yataklar da kendi içinde üçe ayrılabilir:

1. Magma ile doğrudan ilişkili olanlar. Katatermal ve mesotermal alt evrede oluşmuş perimagmasal yataklardır. Ekonomik değeri çok büyük olan bu yatak türü yaygındır.
2. Hidrotermal süreçlerle ilişkili olanlar. Bu yataklarda cevher mineralleri gümüşsüz galenit, sfalerit, jel pirit ve markasittir.
3. Hidrotermal çözeltilerin mi, yoksa yeraltı sularının mı cevher getirici oldukları belli olmayan yatak türleri. Bunların çökelimleri çoğunlukla kolloyidaldır.

b. Subvolkanik evre yatakları

Subvolkanik evrede oluşan Pb-Zn yataklarının diğer subvolkanik yataklardan fazla bir farkı yoktur. Plütonik evreye oranla çok daha ender bulunurlar. Yatakları, altın ve bakırda olduğu gibi subvolkanik kayalar ve bunların ürünlerinden çok subvolkanik kayaların çevresinde oluşan yataklardır.

II- Çökel (Sedimanter) yataklar

Çökelme evresinde, arid çökelim alanlarında, kurşun ve çinko sülfürlerin zenginleşmesi mümkündür. Bunların ekonomik önemi yoktur. Plaser yatakların ekonomik olan en önemli türleri ise eksalatif-sedimanter ve kükürtleşme sürecinde meydana gelen yataklardır.

III- Metamorfik yataklar

Geçirdikleri kuvvetli metamorfizma nedeniyle birincil oluşumları hakkında bir belirti sunmayan yataklardır.

Ülkemizde çökel, volkanik ve metamorfik birimler içinde birçok yerlerde kurşun ve çinko yataklarına rastlanmaktadır. Bu yatakların belli başlı üç önemli kuşakla yakından ilgisi bulunmaktadır. İlgili kuşaklar sıra ile aşağıda sunulmuştur:

1. Doğu Alplerin Macaristan-Romanya-Yugoslavya ve Bulgaristan üzerinden Sinop dolaylarından Türkiye'ye giren ve Doğu Karadeniz sahili boyunca uzanarak, Küçük Kafkasya üzerinden İran'a geçen volkano-tortul birimlerin oluşturduğu ve üzerinde birçok bakır yatağının da yer aldığı, damar ya da **Kuroko tipi** sayısız sülfürlü yatak ve zuhurlar,

2. Yunanistan'ı boyuna izleyerek güneybatıdan Türkiye'ye giren Toros Kuşağı üzerinde yer alan **Mississipi vadisi tipi** Pb-Zn yatakları ile kıyaslanabilecek karbonatlı ve sülfürlü, ancak küçük rezervli zuhur ve yataklar,

3. Özellikle kuzeybatı Anadolu'da karbonatlı çökeller arasına sokulum yaparak skarnlara bağlı, değişik boyutlarda birçok yatak ve zuhurların oluşmasına neden olan Alpin intrüzif kayalara bağlı yataklar (MTA, 2000).

ÜRETİM YÖNTEMİ ve TEKNOLOJİSİ

Dünya'da mevcut çinko yataklarının yaklaşık tümü, **yeraltı işletmesi** olarak çalışmaktadır. Buna neden olarak mevcut çinko yataklarının **açık ocak işletmesine** yüzeye yakın işletmeye elverişli yerlerde olmaması gösterilmektedir.

Yeraltı maden işletmeciliği; maden yatağının şekli, boyutu ile cevher ve yan kayanın jeomekanik özelliklerine bağlı olarak değişik yöntemlerle yapılmaktadır. Çinko madenciliğinde genellikle damar tipi ve masif cevherlerde yatay dilimli dolgulu ayak (cut and fill) ve göçertme (caving) yöntemleri, tabakalı ve yatay damarlarda ise, oda topuk (room and pillar) yöntemleri uygulanmaktadır. Son zamanlarda değişik bir dolgulu tavan ayak yöntemi olan basamak kazısı (bench stoping) yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çinkonun **cevher zenginleştirme** yöntemlerinde bakır ve kurşun için uygulanan süreçlere benzer süreçler izlenir. Endüstriyel asgari tenörün hesaplanmasında rol oynayan faktörler son derece değişken olmakla beraber, kolay zenginleştirilebilen normal işletme koşullarına sahip bir cevherin, ortalama % 4-5 Pb tenörü ile ekonomik olabileceği, jeolojik eşiğin % 2 Pb ve Zn dolayında olduğu söylenebilir. Büyük işletme kapasiteli yataklarda bu tenörlerden daha düşük tenörlerde işletilen yataklar da vardır.

Pb-Zn cevherlerini (asgari tenörlerden daha düşük tenörlerde de) ekonomik yapabilen başka önemli bileşenler de vardır. Örneğin kadmiyumun sfaleritteki tenörü % 0.08-0.55 arasında, cevherdeki

tenörü % 0.01-0.2 Cd olması yeterlidir. % 0.01 Bi ve % 0.0002 In tenörünün üzerindeki cevherler ekonomiktir. Ga cevherde en az % 0.001, Co sfaleritte % 0.01-0.02, Ge sfaleritte % 0.001-0.1, Mo karmaşık Pb-Zn cevherlerinde % 0.001-0.03, Ta cevherde % 0.001 tenörlerinde bulunursa ekonomiktir. Sb zararlı bir bileşendir. Ancak cevher tenörü % 0.001 Sb'i aşmazsa katı kurşun üretiminde kullanılabilir. Pb-Zn yataklarında hiçbir zaman eksik olmayan pirit de önemli bir bileşendir.

Dünya'da 7 ülke toplam rafine çinko üretiminin % 53'ünü karşılamaktadır. Bunların arasında Çin birinci sırada gelmektedir. ABD'nin ardından Kanada, Japonya, İspanya, Çin, Avustralya ve Almanya gelmektedir.

KULLANIM ALANLARI

Günümüzde en çok kullanılan metallerden birisi çinko olup her geçen gün kullanım oranı daha da artmaktadır. Çinko, atmosferik etkilere dayanıklılığı nedeni ile başlıca galvanizasyon (çinko kaplama), basınçlı dökümde kullanılan alaşımlarda, boya sanayinde pigment olarak kullanılmaktadır. Çizelge 3'te çinko içeren ürünlerin kullanım alanları ve dönüş süreleri verilmektedir.

Çizelge 3. Çinko içeren ürünlerin kullanım alanları ve tipik geri dönüş süreleri (DPT, 2000; Yılmaz, 2009'dan).

Ürün	Kullanım alanları	Geri dönüş süresi (Yıl)
Çinko plaka	Çatı kaplama	100
	Kaplama	200
Pirinç ürünler	Geniş aralık	10
Özel dökümler	Otomotiv, bilgisayar, makina-techizat	10-15
Galvanize edilmiş plaka ve şeritler	Otomotiv, çatı kaplama	10-25
Çinko bileşikleri	Lastik, tekerlek	1-25
Fabrikasyon ürünleri	Geniş aralıkta kullanım: endüstri, yol demiryolu	25

Yüzey cilalarının önemli olduğu dökümcülük alanında, alüminyum ve magnezyum çinko ile rekabet halinde bulunmaktadır. Kaplama ve yüzey cilalama tekniklerinin gelişmesiyle, plastikler de çinko ile rekabete girmiş bulunmaktadır.

Ancak ince döküm ve yeni geliştirilen çinko alaşımları sayesinde özellikle makine-teçhizat ve ulaşım sektöründe çinkonun üstünlüğü devam etmektedir. Günümüzde çinko fiyatlarının alüminyum ve plastikten pek farklı olmamasına rağmen, dayanıklılığı açısından çinko tercih edilmektedir.

Demir ve çelik ürünlerinin aşınmaya karşı korunmasında, kaplama malzemesi olarak çinko yerine başka bir madde yeğlenmemektedir. Bazı ulaşım ve inşaat işlerindeki kaplamalarda, galvanize çelik yerine, çinko-alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Bazı sınırlı uygulamalarda ikame maddesi olarak seramik, plastik kaplamalar, kadmiyum ve alüminyum kaplamalı özel çelikler de kullanılmaktadır. Günümüzde eskiden çok kullanılan gemi malzemeleri, su boruları ve mil yataklarında kullanılan pirincin yerini, alüminyum alaşımlar, paslanmaz çelikler ya da plastikler almıştır.

İkincil çinko kullanımı, Dünya genelinde hızla yaygınlaşmaktadır. Diğer bazı metallerin tersine, ikincil çinko kaynakları çok çeşitli biçimlerde olabilmektedir. İzabe işlemleri basittir ve değişik ürünlerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı kaynaklara göre 1995 yılında 475 bin ton rafine çinko, salt ikincil çinko ürünlerinden elde edilmiştir. Bu da yaklaşık olarak üretimin % 6.5'ini oluşturmaktadır.

İkincil çinko kaynakları olan çinko ürünlerinin geri dönüş sürelerinin çok uzun olduğu (50-100 yıl) dikkate alındığında bu rakamların ileriki yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir. İkincil çinko

kaynakları potansiyel rezerv olarak önemini tüm dünyada korumaktadır. Tüketimin tarihsel süreci dikkate alındığında üretilen çinkonun % 80'i ikincil kaynak olarak geri dönecek ve bu süreç, kullanılmış ürünlerin de geri dönüşümü ile devam edecektir.

Çinko kaplamalar

Bazı metaller özellikle demir ve çelik, korozyona karşı korunmak üzere çinko ile kaplanmaktadır. Dünya'da üretilen çinkonun büyük bir bölümü bu şekilde tüketilmektedir. Bunun en önemli nedenleri; çinkonun normal ayrışma olaylarına karşı dirençli olması, demiri koruma özelliği (galvanizasyon) ve ekonomik oluşudur. Çinko kaplamaları dört şekilde yapılmaktadır;

a) Sıcak banyo ile galvanizasyon,
b) Elektroliz ile kaplama,
c) Püskürtme,
d) Boyama ile kaplama.

Günümüzde çinko metali birincil ve ikincil çinko olarak iki türde üretilmektedir. Birincil çinkonun kaynağı cevherdir. İkincil çinkonun kaynağını ise galvaniz drosu, pres döküm artıkları, köpük ya da çinko külü, çinko oksit tozu, kimyasal artıklar, alaşım tozları, klişe artıkları, çinko kırpıntıları ve diğer hurda çinko malzeme artıkları oluşturmaktadır.

Çinko; çelik, alüminyum ve bakırdan sonra Dünya'da miktar olarak yıllık tüketimi en fazla olan metaldir. Kimyasal yönden aktif olması ve diğer metallerle kolayca alaşım yapılabilmesi nedeniyle çinko endüstride, ana maddesi çinko olan alaşımların ve bileşiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Kuvvetli elektropozitif özelliğinden dolayı diğer metallerin özellikle demir-çelik ürünlerinin aşınmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır. Üretilen çinko metalinin ana ürün olarak tüketildiği belli başlı alanlar vardır. Galvanizleme, pres döküm alaşımları, pirinç ve bronz alaşımları, çinko oksit ve haddelenmiş çinko alaşımları Galvaniz sanayi çinkonun miktar olarak en çok kullanıldığı alandır. Ayrıca pres döküm alaşımlarının üretiminde kullanılmaktadır.

Çinko alaşımları, çinko bazlı alaşımlar ve çinkonun katkı elementi olduğu alaşımlar olarak ikiye ayrılırlar. Çinko bazlı alaşımlar katkı elementi alüminyum, bakır, magnezyum, kurşun ve kadmiyum olan çeşitli çinko alaşımlarıdır. Bu alaşımlardan en çok kullanılanların ticari isimleri Zamak-3, Zamak-5 ve Pil alaşımlarıdır.

Zamak-3	: % 3.9-4.3 Al, % 0.03-0.06 Mg içerir.
Zamak-5	: % 3.9-4.3 Al, % 0.03-0.06 Mg, % 0.75-1.25 Cu içerir.
Pil Alaşımı	: % 0.6-1.0 Pb, % 0.04-0.07 Cd içerir.

Gelişen teknolojiye uygun olarak son zamanlarda, çinko metali bileşik gereçlerin üretiminde alaşım girdisi olarak da önemli bir yer almaktadır. Özellikle uzay sanayi ve robotların geliştirilmesinde, otomatik-kontrol sistemlerinde kullanım sahası genişlemektedir. Çinkonun katkı elementi olduğu alaşımlardan en önemlileri metal pirinçler ve bronzlardır. Pirinçler değişik standartlarda % 40-50 Zn, bronzlar ise % 4-5 Zn içerebilirler. Çinko yarı ürünleri, üretim yöntemleri ve kullanım alanlarına göre aşağıdaki alt gruplara ayrılmaktadır:

1. Çinko metal,
2. Çinko yassı ürünler, 2.1. Pil yassı pulu, 2.2. İnşaat levhası, 2.3. Diğer yassı ürünler.
3. Zamak alaşımları,
4. Pirinç alaşımları,
5. Yatak alaşımları,

6. Diğer uzun ürünler,
7. Çinko oksit,
8. Diğer çinko bileşikleri.

Galvanize edilen maddeler, başlıca tabaka, şerit boru, tüp, tel, halat türü eşyalardır. Galvanize edilen maddeler ise en çok yapı işlerinde, tarımda ve tarım eşyalarının yapımında ve otomobil endüstrisinde kullanılmaktadır. Galvanize demir ve çelik ürünlerinin özel olarak kullanıldığı binlerce uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar arasında tavan ve duvar kaplamaları, tel ve tel ürünleri, su tankları, boru, kova ve tenekeler, çivi, vida sürgü ve menteşe sayılabilir.

Deniz altındaki ya da diğer kloridce zengin eriyikler içindeki yapıların korozyondan korunmasında da çinko kaplamalar kullanılmaktadır. Boru hatları, depo tankları, çelik dalgakıranlar, köprüler, iskelelerin yapımında çinko kullanılmaktadır.

Çinko alaşımları

Çinkonun büyük bir bölümü de alaşımlarda kullanılmaktadır. Bu alaşımları şu şekilde sıralamak mümkündür.

Pirinç: % 5-45 Zn içeren bir bakır alaşımdır. Pirinçler içlerindeki çinko oranına göre değişik isimler almaktadır. Muntz metal (% 59 Cu, % 41 Zn), lehim pirinci (% 75 Cu, % 25 Zn), kırmızı pirinç (% 85 Cu, % 15 Zn) içermektedir. Hemen hemen en fazla kullanılan alaşım pirinçtir. Mimari işlerde, telekomünikasyon ve bilgisayar, televizyon endüstrilerinde, otomobil endüstrisinde kondansatör tüplerinde, kaynak çubuklarında, valf millerinde, cıvatalarda, pres ve haddeleme işlemlerinde, radyatör peteklerinde ve borularda, perçin çivilerinde, ızgaralarda, yaylarda zincirlerde, çeşitli halka ve tüplerde, kartuşlarda esnek hortumlarda, elektrik tellerinde, tesviye işlerinde, dövme bükme ve şekil verme işlerinde, bazı mücevherlerde çeşitli pirinç tipleri kullanılmaktadır.

Bronz: Aslında bir bakır kalay alaşımıdır. Bu alaşıma % 2-4 oranında çinko eklenmesi ile ergimiş bronzun akıcılığı artırılmaktadır.

Basınçlı döküm alaşımlar: Son yıllarda basınçlı döküm alaşımları için harcanan çinko miktarı, kaplama işlerinde kullanılan çinko miktarını aşmaktadır. Standart üç tip basınçlı döküm alaşımı bulunmaktadır. Bu alaşımlar % 3.5-4.5 Al ve % 0.1-2.5 Cu içermektedirler. Ergimiş alaşım, 482 ^{o}C sıcaklık ve cm^2 başına 4.54 kg'a kadar basınç altında çelik kaplara dökülür. Basınçlı döküm çok yakın benzerlikle, karışık şekillerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Nikelaj ya da kromajlar kolayca düzleştirilerek, çok düzgün yüzeyler elde edilebilmektedir.

Bu alaşımlar ile yapılan dökümler, otomobillerin mekanik bölümlerinde, karbüratör yakıt pompalarında, hız ölçerlerde, dişli takımlarında, radyatör ızgaralarında ve kapı tokmaklarında kullanılmaktadır. Döküm alaşımları ayrıca otomobil ve uçak endüstrisinde kullanılan kalıpların yapımında değerlendirilmektedir.

Çinko yerine kullanılan hammaddeler

Çinko yerine kullanılacak olan maddelerin teknik uygunluğunun yanı sıra, fiyat olarak da uygun olması önemlidir. Alüminyum ve plastiklerle olan rekabetin artmasına rağmen, galvanizasyon ve dökümcülükte çinko etkinliğini sürdürmektedir. Ağırlık sınırlamasının ya da yüzey cilalarının önemli olduğu dökümcülük alanında, **alüminyum** ve **magnezyum** çinko ile rekabet halinde bulunmaktadır.

Kaplama ve yüzey cilalama tekniklerinin gelişmesiyle, plastikler de çinko ile rekabete girmiş bulunmaktadır. Ancak ince döküm ve yeni geliştirilen çinko alaşımları sayesinde özellikle makineteçhizat ve ulaşım sektöründe çinkonun üstünlüğü devam etmektedir. Günümüzde çinko, fiyatı alüminyum ve plastikten pek farklı olmamasına rağmen, dayanıklılığı açısından tercih edilmektedir.

Demir ve çelik ürünlerinin aşınmaya karşı korunmasında, kaplama malzemesi olarak çinko yerine başka bir madde tercih edilmemektedir. Bazı ulaşım ve inşaat işlerindeki kaplamalarda, galvanize çelik yerine, çinko-alüminyum alaşımları kullanılmaktadır.

Bazı sınırlı uygulamalar için rakip materyaller arasında, seramik ve plastik kaplamalar ile kadmiyum ve alüminyum kaplamalı özel çelikler de yer alabilmektedir. Günümüzde eskiden çok kullanılan gemi malzemeleri, su boruları ve mil yataklarında kullanılan pirincin yerini, alüminyum alaşımlar, paslanmaz çelikler ya da plastikler almıştır.

Kimya ve boya sanayisinde çinkoya seçenek olarak titanyum oksit, magnezyum ve alüminyum bileşikleri kullanılmaktadır. Seramik ve emaye sanayinde ise çinko yerine zirkonyum bileşikleri kullanılmaya başlanmıştır.

İkincil çinko kullanımı dünya genelinde hızla yaygınlaşmaktadır. Diğer bazı metallerin tersine, ikincil çinko kaynakları çok çeşitli formlarda olabilmektedir. İzabe işlemleri basittir ve değişik ürünlerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

İkincil çinko kaynakları olan çinko ürünlerinin geri dönüş süreleri (50-100 yıl) çok uzundur. Dolayısıyla ikincil çinko kaynakları (potansiyel rezerv olarak) önemini tüm dünyada korumaktadır. Tüketimin tarihsel süreci dikkate alındığında üretilen çinkonun % 80'i ikincil kaynak olarak geri dönecek ve bu süreç bu ürünlerinde geri dönmeleriyle devam edecektir.

Bütün zamanların rekoru olarak ortaya çıkan 7.28 milyon tonluk metal üretimi, genelde tüm ülkelerde dikkatle izlenmektedir. Ancak önceki yıllarda Avrupa'da ve Afrika'da görülen düşüşler, Amerika ve Asya'daki artışlar ile dengelenmiştir.

Çinko üretiminden elde edilen yan ürünler

Kurşun-çinko madeni işletmeciliğinde endüstriyel asgari tenörün hesaplanmasında rol oynayan etmenler son derece değişken olmakla beraber, kolay zenginleştirilebilen normal işletme koşullarına sahip cevherlerin % 4-5 Zn-Pb ortalama tenörü ile ekonomik olabileceğini, jeolojik eşiğin % 2 Pb ve Zn tenörü dolayında olabileceği belirtilebilmektedir.

Pb-Zn cevherlerini, yukarıda belirtilen asgari tenörlerden daha düşük tenörlerde de ekonomik yapabilecek başka faydalı bileşenler de bulunmaktadır. Bunlar elementsel olarak **Kadmiyum, Bizmut, İridyum, Galyum, Germanyum, Kobalt, Molibden, Selenyum, Talyum, Antimuan** ve mineral olarak **Pirittir.**

Çin 1987 yılında 400 ton civarında olan kadmiyum üretimini % 300 artırarak 1992 yılında 1200 tona çıkarmıştır. AB ülkelerinin 1992 yılı üretimi 4.840 ton'dur. Topluluk içinde Belçika (% 32.2), Almanya (% 19.4), İtalya (% 15.3) ve Hollanda (% 12.4) önemli çinko ve kurşun üreticilerdir.

Kadmiyumun, karmaşık şekilli cisimlere bile ince tabakalar (5-25 mikron) şeklinde kolaylıkla kaplanabilmesinin yanı sıra kolayca haddelenmesi ve üstün lehimlenebilme özelliği, bu metalin sanayide büyük ölçüde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Kadmiyum, özellikle deniz ve alkali ortam korozyonuna karşı aşırı mukavemeti nedeniyle demir, çelik, pirinç ve alüminyum kaplamasında kullanılır (tüketim oranı % 20-25). Kadmiyum kaplamaları elektrik, elektronik, otomotiv ve uzay sanayisinde çok yaygındır.

Kadmiyumun en önemli kullanım alanı (% 35-40) Ni-Cd, Ag-Cd ve Hg-Cd pilleridir. Normal Ni-Cd pilleri günlük hayatta kullanılan elektronik cihazlarda, büyük kapasiteli olanları ise uçaklarda ve gemilerde geniş bir tüketim alanı bulmuştur.

Kadmiyum üretiminin yaklaşık % 20-25'i ise boya endüstrisinde kullanılmaktadır. Kadmiyum sülfürden elde edilen inorganik pigmentlerin yüksek ısıya ve kimyasal korozyona son derece dayanıklı olmaları, yüksek renk yoğunlukları bunları diğer boyalardan ayıran en önemli özellikleridir. Bunlardan başka kadmiyum, plastik ve sentetik elyaf sanayinde stabilizatör olarak (tüketimin % 12'si), televizyon tüpleri ve flüoresan lamba imalinde, nükleer reaktör kontrol sistemlerinde ve alaşımlarda kullanım alanı bulmuştur.

Ülkemizde üretilen oksitli cevherler Çinkur tarafından izabe edilerek çinko ve kadmiyum metali olarak üretiliyordu. Yurt içinde sülfürlü konsantreleri işleyecek tesis yokluğundan dolayı, bu ürünlerin hammadde bazında tüketim alanı bulunmamaktadır. Bu nedenle, sektörün tüketim alanının ve çinko miktarının belirlenmesinde çinko ve bileşikleri göz önüne alınmaktadır. Çinkonun ülkemizdeki tüketim alanları aşağıda sunulmuştur:

- Boru ve nakil hatları galvanizlenmesi (% 55-60)
- Pirinç imali (% 15-20)
- Çinko levha imali (% 3)
- Çinko oksit imali ve lastik sanayi (% 8-10)
- Pil imali (% 3)
- Zamak alaşımları, pres döküm sanayi (% 6-7) Ayrıca:
- Tekstil,
- Seramik sanayi,
- Kimya sanayi sayılabilir.

Ülkemiz kadmiyum üretiminde, metal bazında 10-12 ton/yıl seviyesini düzenli olarak korumaya çalışmaktadır. Üretilen kadmiyum aşağıda verilen sanayi kollarında tüketilmektedir.

- Ni-Cd pilleri
- Elektrolitik kaplama (MKE)
- Boya ve pigmentler

ÇEVRE SORUNLARI ve ÇÖZÜM YOLLARI

Türkiye'de kurşun, çinko ve kadmiyum madenciliğinde yaşanan çevre sorunları, Dünya'da aynı alanda yaşanan çevre sorunlarının bir parçasıdır. Kurşun, çinko ve kadmiyum madenciliğinde karşılaşılan çevre sorunları da madencilikle ilgili genel çevre sorunlarının yanı sıra kurşun, çinko ve kadmiyum madenciliğine özgü çevre sorunlarından kaynaklanmaktadır. Ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme evrelerinde önemli çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır (Bölüm 1.3' deki ayrıntılar irdelenebilir.

Kurşun, çinko ve kadmiyum element olarak zehirli oldukları gibi, oluşturdukları bileşiklerin de çok büyük bir bölümü zehirlidir. Maden işletmelerinde bu elementler ve bileşikler, çevreyi kirletebilmektedir. Bu elementlerin derişimleri, orman ve tarıma uygun topraklardaki maksimum değerlerden iki kat daha fazla olduklarında zehirli etkiler gösterirler.

Kurşun, çinko ve kadmiyum sülfürlü cevherlerden üretiliyorsa; bu cevherlerin yapısındaki kükürdün sulu ortamlarda oluşturduğu karmaşık bileşikler de bu elementlerle birlikte çevredeki toprakları ve yeraltı su kaynaklarını kirletmektedir. Çinko elementinin doğrudan kirliliği ise çok daha küçük ve önemsizdir.

Madencilikle ilgili genel çevre sorunları doğrudan ve dolaylı olarak işletmelerin her gün karşılaştığı sorunlardır. Başlangıçta işletme için gerekli yapıların inşa edildiği alanlar, işletme aşamasında ise pasa döküm alanları ile atık barajlarının oluşturduğu alanların kamulaştırılması, doğanın topoğrafyasını değiştirmekte, tarım ve orman arazilerinin ise giderek azalmasına neden olabilmektedir.

Kurşun-çinko madenciliği Türkiye'de yeraltı üretim yöntemleri kurulan flotasyon tesislerinin atık sularını dere yataklarına akıtmak yerine, dinlendirme havuzlarında bekletip, filtre ederek, ya da kapalı bir devre ile tekrar kullanılmak üzere flotasyon tesislerine pompalanmaktadır. Dinlendirme havuzlarında biriken atık malzeme tesislere yakın yerlerde duraylı olan bir topografya'ya nakledilmektedir. Topografyanın duraysız olduğu alanlarda, bu atık malzemelerin cevherlerin üretildiği kapalı maden ocaklarına nakledilerek dolgu malzemesi olarak kullanılması düşünülebilir.

Gerek yatırım aşamasında gerekse işletme aşamasında çevreyi olumsuz yönde etkileyecek pasa, zenginleştirme atıklarının depolanacakları alanlar denetim altında tutularak zararın en az düzeye indirilmesine gayret edilmelidir. Ülke ekonomisinde madencilik politikası dengeli olarak yürütülmeli, çevre bilinci, yatırımları zorlaştırıcı ya da caydırıcı bir nitelikte olmamalıdır. Dolayısıyla madenciliğin özendirilmesi gerekir.

SONUÇLAR

Ülkemizin çinko-kurşun kaynakları yurtiçi metal gereksinimini karşılayabilecek boyuttadır. Halen 1.5 milyon ton çinko metal, 0.4 milyon ton kurşun metal eşdeğerinde olan görünür rezervlerin arama çalışmalarıyla artırılması mümkündür.

Türkiye çinko rezervlerinin % 4.6'sına karşılık gelen 102 bin ton metal içerikli oksitli cevher rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Bu rezervin de ancak yarısı işletilebilir düzeydedir. Çinko-kurşun madenleri genellikle ülkemizin alt yapı bakımından gelişmemiş bölgelerinde bulunmaktadır. Zaten yetersiz öz kaynaklara sahip madenciler tarafından alt yapı yatırımları yapılmadığından pek çok maden işletilememekte ve atıl durmaktadır. Bu çerçevede yapılması gerekli çalışmalar aşağıda sunulmuştur (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Uzun dönemde özellikle çinko metali gereksiniminin gelişme oranı ve endüstrileşme nedeniyle yıllık olarak % 4 dolayında artacağı hesaplanmaktadır. Buna karşılık Kayseri ve Zamantı yörelerindeki oksitli çinko rezervleri azalmakta ve bugün dahi yeterli tenör ve üretim olmadığı için dış ülkelerden (İran) cevher gelmekte idi. Günümüzde ise söz konusu cevher ülkemizden İran'a gönderilmektedir. Sülfürlü çinko yatakları ise, Türkiye'nin birçok yerinde görülmesine karşın büyük üretim yapılacak rezervlerin arayışı devam etmektedir.

Rize'de bulunan Çayeli Bakır İşletmeleri'nde bakırın yanında bulunan sülfür çinko seçimli olarak zenginleştirilmekte ve toplam 10 milyon ton rezerv ile Türkiye'nin şu anda en büyük cevher yatağını oluşturmaktadır. Dünya'da kurşun tüketimindeki artış hızı azalarak devam etmektedir.

Kurşunun kullanıldığı yerlerde birçok ikame maddeleri kullanılır hale gelmiştir. Bu durum göz önüne alındığında kurşun metalinin yıllık tüketim artışı % 2-3 dolayında olması beklenmektedir. Bu gibi durumlar öngörülerek, çoğunlukla çinko madeni ile beraber bulunan kurşun, çinko üretimi sırasında da elde edilebilir.

Ayrıca bakır, kurşun ve çinko gibi metallerin üretim süreçlerinde ortaya çıkan çevresel sorunlar gözetilerek, bu metallerin geri dönüşüm yoluyla kazanılması, yani ikincil kullanımın özendirilmesi tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler Alt Komisyonu, Kurşun Çalışma Grubu Raporu, Ankara.

Gümüş, A., 1998, İç Olaylara Bağlı Maden Yatakları. Bilim Ofset, Bornova, İzmir, 481s.

Gümüş, A., 1999, Dış Olaylara Bağlı Maden Yatakları, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No 276, Bornova-İzmir, 210s.

MTA, 1994, Mineraller, Ankara, 72 s.

MTA, 1995, Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü Doğal Kaynaklar Envanteri, Cilt I, Sivas İli Doğal Kaynaklar Envanteri, Sivas, 275s.

MTA, 2000, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Genel Endüstri Mineralleri, Cilt II, Ankara, 76 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

2. 5, DEMİR

GENEL BİLGİLER

Demir, sanayinin temel ham maddelerinden biri olup bir ülkenin kalkınmasında önemli bir işlevi olan metalik kökenli bir çevre kaynağıdır. Demir Mısır, Mezopotamya ve Anadolu'da çok eski çağlardan beri bilinmektedir. Eski dönemlerde altın kadar değerli olan demir kılıç ve benzeri gereçlerin yapımında ya da süs eşyası olarak kullanılırdı. Anadolu'da Asur ticaret kolonileri çağının (MÖ 1850) yazılı belgelerinde adı geçen "amuntum" sözcüğünün demir anlamına geldiği kabul edilmektedir.

Demir, Ön Asya ülkelerinde MÖ 1100 yıllarından sonra her türlü alet ve silah yapımında kullanılmıştır. Demir, teknolojideki yeniliklerden de yararlanarak eritilip kalıba dökülmüş, dövülerek işlenmiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu nedenle gerçek anlamda demir çağı daha sonra başlar. Teknolojideki gelişmelere koşut olarak demirin aranması, cevher zenginleştirme ve işletilmesi sırasında önemli gelişmeler olmuştur.

Demir, sanayinin bugünkü düzeye gelmesinde son derece önemli bir yere sahiptir. Ne var ki demirin çıkarılması, cevher zenginleştirilmesi ve işletilmesi sırasında gerekli önlemler alınmazsa önemli çevre sorunları da ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle demir cevheri konusundaki çalışmaların çevre açısından da bir bütünsellik içinde ele alınmasında yarar vardır (Yılmaz, 2009).

Tanımlamalar

Madencilik sektöründe demir cevherlerine ilişkin değişik adlandırmalar kullanılmaktadır. Ancak sunulan çalışmada, USBM tarafından kullanılan tanımlamalardan yararlanılmıştır (Klinger,1985; Oygür, 1991).

Demir cevheri*,** var olan ya da beklenen teknolojik ve ekonomik koşullarda indirgen bir ortamda ısıtıldığında içinden demir metalinin ekonomik bir biçimde alındığı doğal bir mineral topluluğudur. Genel olarak ekonomik demir oluşuklarına ***yatak denir. İşletilemeyecek nitelikteki birikimlere de ***mineralleşme*** / maden yatağı denir.

Zenginleştirme tesislerinin ürünleri yoğunlaştırılmış (***konsantre)*** olarak adlandırılır. Ortaya çıkan ürünler yönteme göre pellet, sinter ve biriket adını alırlar.

Takonit, ABD'nin Mesabi Bölgesi'ndeki sert ince taneli bantlı demir birimlerine verilen isimdir.

Jaspillit, Marquette ve Vermilion Bölgeleri'ndeki zengin bantlı hematitli demir birimlerini tanımlamak üzere kullanılmıştır.

***Bessemer cevher*,** % 0.045 ya da daha az fosfor içeren demir cevheridir.

Sınıflandırmalar

Demir cevherleri ticari açıdan bileşimlerine ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Ancak jeolojik özelliklere ve mineralojiye dayanan sınıflandırmalar, tanımlayıcı olmaları ve yatakların kökeni üzerindeki incelemeler açısından yararlıdır. En yararlı sınıflama, fiziksel ve kimyasal özelliklere ve bu özelliklerin jeolojik ortamla olan ilişkisine dayandırılan sınıflamadır (Çizelge, 1).

Çizelge 1'de sunulan sınıflama, oluşum süreçlerinden çok jeolojideki tanımlara ve deneylerden elde edilen verilere dayanır. Öte yandan bazı demir yataklarının kökeni ve oluşumu son derece tartışmalıdır. Dolayısıyla burada oluşumdan çok tanımsal ve deneysel verilerin sunumu tercih edilmiştir.

Çizelge 1. Demir cevheri yataklarının sınıflandırılması (Zitzman, 1977; Oygür, 1991).

A- Katmanlı demir yatakları

1- Metamorfik bantlı demir formasyonları

a- Superior gölü tipi (çörtlü, oolitik)
b- Algoma tipi (çörtlü, volkanizmayla ilişkili) 2- Denizel sedimanter demir yatakları a- Minette tipi (oolitik, sideritli) b- Clinton tipi (oolitik, hematitli) c- Peine-İlsede tipi (kırıntılı)
d- Salzgitter tipi (oolitik, kırıntılı) 3- Kıtasal sedimenter demir yatakları a-Ruhr tipi (siyah bantlı cevher) b-Lipetsk tipi (göl ve bataklık yatakları) c-Lisakovsk tipi (akarsu yatakları)
4- Volkano-sedimenter demir yatakları

Lahn-Dill tipi

B- Katmansız (Masif) demir yatakları

1-Taberg tipi (titanomanyetit)
2-Kiruna tipi (apatitli manyetit)
3-Magnitnaya tipi (skarn) 4-Hidrotermal yataklar a-Damar tipi

Siegerland tipi (siderit) Harz tipi (hematit) b-Metasomatik

Bilbao tipi (siderit-hematit)
Erzberg tipi (siderit)

C- Kalıntı (Plaser) demir yatakları

1- Conakry tipi (lateritik)
2- Lindener mark tipi (pizolitik)
3- Delomont tipi (pizolitik)
4- Hunsrück tipi (çökellerin günlenmesiyle oluşanlar)
5- Demir şapkalar

ÖZELLİKLERİ

Demirin başlıca temel özellikleri aşağıda sunulmuştur (Şekil, 1). Bu özellikler, demirin kullanım alanlarını da belirlemektedir. Demirin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Atom Numarası : 26 Atom Ağırlığı : 55.85
İyon Yarıçapı Fe^{+2} : 0.86 ^{o}A İyon Yarıçapı Fe^{+3} : 0.73
Elektronegativite Fe^{+2} : 6.18 Elektronegativite Fe^{+3} :1.9
Ergime Noktası : 1535 ^{o}C Kaynama Noktası : 2735 ^{o}C
Elektrik İletkenliği : 12.25 Isı İletkenliği : 11.9 Yoğunluğu : 7.85 gr/cm^3

Demir doğada +2 (ferro), +3 (ferrik) ve 0 değerli olmak üzere üç biçimde bulunur. Her üç biçimde de fizikokimyasal davranışına bağlı olarak demirin birikim biçimleri farklıdır. Fiziksel ortamlarda demirin davranışını belirleyen en önemli nitelikler, ortamın pH ve Eh değerleridir.

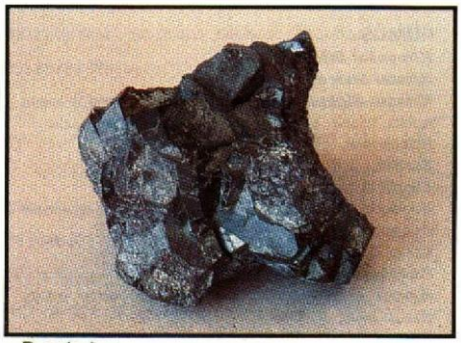
DEMİR

Kimyasal bileşimi, Fe
Kristal sistemi, Kübik
Kristal biçimi, kristalleri nadir, genellikle masif taneler halinde
Sertlik, 4-4.5; ***Özgül ağırlık***, 7.3-7.87
Dilinim, (001) yüzeyinde zayıf; ***Çizgi rengi***, Siyah
Renk ve şeffaflık, çelik grisi-siyah; opak

Parlaklık,

Metalik

Ayırıcı özellikleri, kuvvetli manyetik ve kolay işlenebilir.



Şekil 1. *Demirin genel görünümü ve özellikleri* (MTA, 1994).

Demir genel olarak asidik ortamda +2 değerliyken çözünür, buna karşın +3 değerli olarak çökelir. Çabuk oksitlendiğinden doğada demir element halinde ender olarak bulunur. Doğal demire yer kabuğunda birkaç yerde rastlanmıştır. Örneğin, Grönland Adası'nda Ovifak'da bazaltlar içinde büyük kütleler halinde görülmüştür. Doğada 366 demir minerali bilinmektedir. En çok rastlanan demir içeren mineraller Çizelge 2'de sunulmuştur.

Hammadde özellikleri

İyi bir demir cevherinde aranan başlıca özellikler şunlardır: a. Cevher parça iriliğinin 1-10 cm arasında olması,

b. 1x1 cm.lik elekten geçen miktarın en çok % 10 olması,
c. 10x10 cm.lik elekten geçmeyen miktarın en çok % 15 olması,
d. 20 cm.den büyük parça bulunmaması,
e. Cevherin kuru olması. Cevher nemliyse, tenöründen nem düşürülür. Kuru analize göre % 60 Fe içeren cevher % 10 nemliyse tenörü % 60'ın % 90'ı yani % 54 Fe'dir (Oygür, 1991).

Ayrıca işletilebilir bir demir cevherinin genel anlamda bileşimi ise Çizelge 3'de sunulmuştur.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Ekonomik amaçlarla herhangi bir değerlendirme yapmadan önce yerkabuğunda demirin yoğunlaşmasına yol açan ortamın fiziksel ve kimyasal koşulları, ortamın jeolojik ve mineralojik özellikleri, demir yoğunlaşmasının gelişmesini etkileyen diğer tamamlayıcı süreçler, kısaca demir yataklarının jeolojisi kesin olarak bilinmelidir. Yatağın değerlendirilmesi, geliştirilmesi, zenginleştirilmesi ve kullanılması, yatakla ilgili bilgilerin üzerine kurulmalıdır. Yatak tipi, cevherin çeşitli zenginleştirme yöntemlerine olan yatkınlığını da belirler.

Yani öncelikle demir yatağının kökeni ve oluşumu ayrıntılı irdelenmeli ve Demirin oluşumuna yol açan dinamiklerin ve demir yatağının konumu değerlendirilmelidir. Ülkemizde, özellikle Divriği demir yatakları (A, B, C kafaları) ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir (Koşal, 1973).

Jeoloji, madencilik, metalürji, ekonomi gibi çeşitli uzmanlık dallarının bir yatağın değerlendirilmesinde kullandıkları sınıflamalar birbirinden farklıdır. Ancak, demir yataklarının oluşum biçimleri gözetilerek yapılan sınıflama (Zitzman, 1977; Oygür, 1991) tercih edilmektedir (Çizelge 1).

Demir cevherlerinin ana bileşenleri; demir, silika, alümina, kireç ve manganez; tali bileşenleri ise, fosfor, kükürt, titan, vanadyum, çinko, bakır, krom, nikel, arsenik, kurşun, kalay ve kobalttır (Miller, 1970).

Çizelge 2. *Demir içeren mineraller. Altı çizili olanlar doğada yaygındır* (Gross, 1965; Oygür, 1991).

Mineral	Bileşimi	Demir %	Öz.Ağır.	Sertlik	Renk
DOĞAL DEMİR	Fe	100	7.3-7.9	4.5	Çelik grisi
OKSİTLER					
Manyetit	Fe_3O_4	72.4	5.17	5.5-6.5	Siyah-mavi, kahve-siyah
Hematit	&-Fe_2O_4	69.9	5.6	6.5	Çelik gri-kırmızı
Maghemit	&-Fe_2O_3	69.9	4.88	5	Kahverengi
Götit	$HFeO_2$	62.9	3.3-4.3	5.5	Kahve-sarı
Turgit	$2Fe_2O_3,H_2O$	66.1	4.2-4.7	6.5	Kahve-kırmızı
Limonit	$FeO(OH),H_2O$	62.3	3.6-4.0	5-5.5	Kahve-sarı
KARBONATLAR					
Siderit	$FeCO_3$	48.2	3.96	3.5-4	Kül gri-kahve
Ankerit	$Ca(Mg,Fe^2)(CO_3)_2$	26	2.8-3.1	3.5-4	Beyaz, gri, kahve
SÜLFİTLER					
Pirit	FeS_2	46.5	5.01	6-6.5	Pirinç sarısı
Markazit	FeS_2	46.5	4.8	6-6.5	Açık pirinç sarı
Pirotin	$Fe_{(1-x)}S$	63	4.5-4.6	3.5-4.5	Bronz sarısı
Kalkopirit	$CuFeS_2$	30.5	4.1-4.3	3.5-4	Sarı
Arsenopirit	FeAsS	34.3	6.07	5.5-6	Gümüş beyazı
Löllenjit	$FeAs_2$	27.2	7.1-7.4	5	Gümüş beyazı
SİLİKATLAR					
Şamozit	$(Fe_4^2Al_2)(Si_2Al_2)O_{10}(OH)_8$	33-42	3-3.5		Yeşil-açık sarı
Glokonit	$K(Fe,Mg,Al)_2(Si_4O_{10})(OH)_2$	değişken	2.5-2.8		Koyu gri-siyah
Grenalit	$Fe_{62}Si_4O_{10}(OH)_5$	/ /	3		Yeşilimsi
Minnesotayit	$Fe_3(OH)_2Si_4O_{10}$	/ /	3-3.2		Soluk yeşil
DİĞERLERİ					
Jarosit	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$	37	3.2	3	Sarı-kahve
Melanterit	$FeSO_4.7H_2O$	26	1.9	2	Yeşil-mavi
Viviyanit	$Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$	43	2.6	1.5-2	Renksiz, mavi-yeşil
Skorodit	$FeAsO_4.2H_2O$	34.6	3.1-3.3	3.5-4	Yeşil-kahve

Çizelge 3. *İşletilebilir bir demir cevherlerinin genel bileşimi* (DPT, 2000; Yılmaz, 2009'dan).

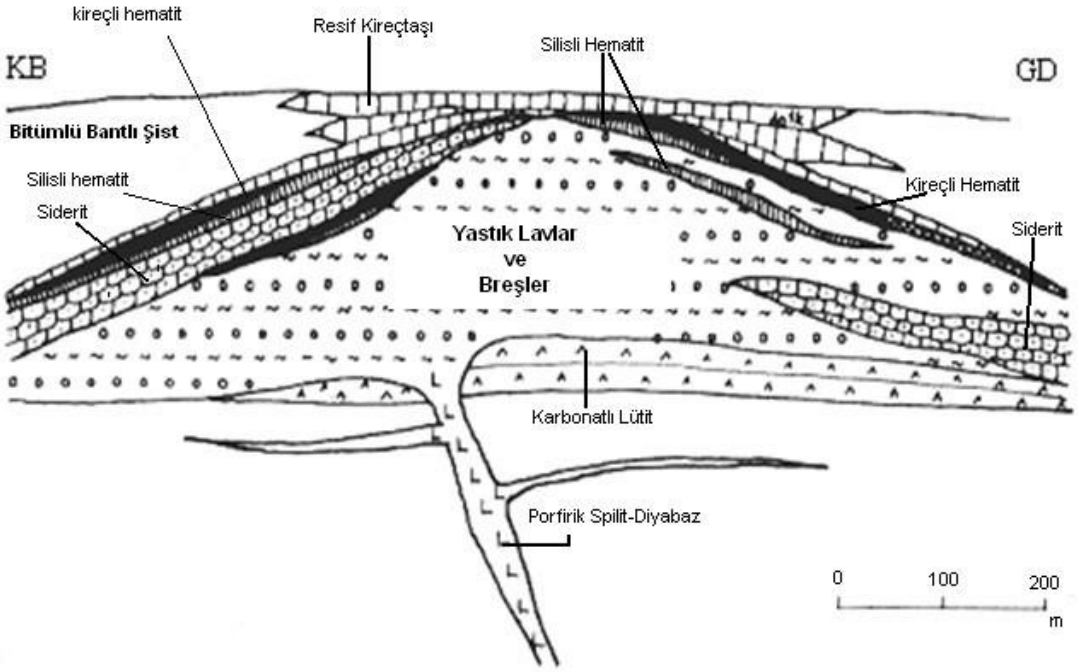
	%

Fe	55 en yüksek
Mn SiO_2	2 en yüksek
Al_2O_3	8 en yüksek
CaO+MgO	2 en yüksek
K_2O+Na_2O	6 en yükse
S	0.5
P	yüksek
As	0.5
TiO_2	yüksek ? ‹ en en 0.1 en yüksek 0.3 en yüksek

Burada kullanılan sınıflamadaki katmanlı demir yatakları doğal olarak zenginleşmiş ya da zenginleşmeye yatkın sedimanter demirler ile bunların metamorfik türevleridir. Masif demir yatakları ise magmatik etkinliklerle ve özellikle plutonik kayalarla ilişkili olan yataklardır. Kalıntı demir yatakları ise fiziksel ve kimyasal süreçlerle günlenme ve bozunma (alterasyon) sonucunda yerinde oluşmuş ya da taşınmış yataklardır. Çizelge 1' de sunulan sınıflama Zitzmann'dan (1977) yararlanarak Oygür (1991) tarafından geliştirilmiş bir sınıflamadır.

Dünya'da pek çok sayıda katmanlı demir yataklarına örnek oluşturan yataklar incelenmiştir. Bu yataklardan önemli olanlardan bir tanesi de ***Lahn-Dill tipi*** (volkanosedimanter) demir yataklarıdır (Şekil 2). Almanya'nın Lahn Dill tipi volkano sedimanter kökenli demir yatağı enine kesiti irdelendiğinde demir yataklarının konumu belirgin bir şekilde görülmektedir. Orta Avrupa'da Devoniyen yaşlı tüm demir yatakları için bir örnek oluşturan bu yatakta yer alan cevherler genelde küçük mercekler biçimindedir.

Demirce zengin ve fakir zonların ardalandığı yataklarda hematit birincil cevher konumundadır. Yanal ve dikey değişimler çok hızlıdır. Cevher gövdeleri genel olarak antiklinallerin doruklarında yer alır. Cevherin kimyasal ve mineralojik bileşimi gaz ya da eriyiklerin çıktığı merkeze olan uzaklıkla değişmektedir. Demir minerali merkezde ve tabanda daha çok silisli hematit ile temsil edilirken, yanlara ve üste doğru kireçli hematite dönüşür.

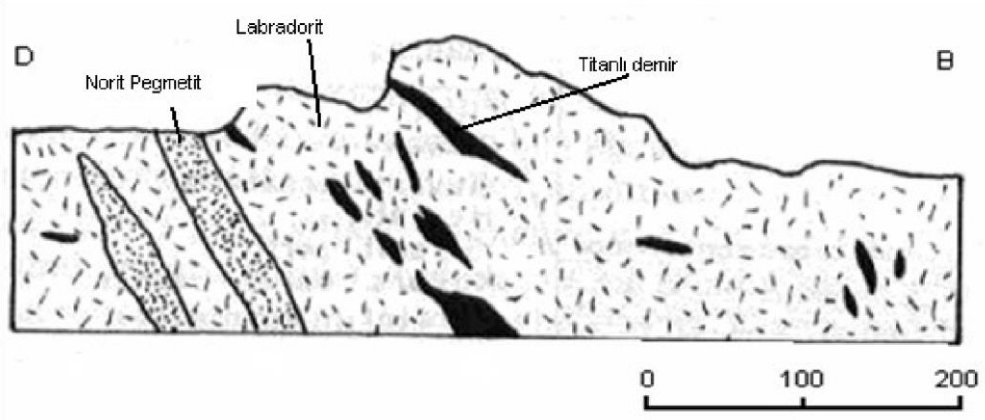


Şekil 2. *Lahn Dill yatağının enine kesiti* (Bottke, 1981).

Masif demir yataklarına ise ***Taberg türü titanlı manyetit yatakları*** örnek olarak verilebilir. Bu tip cevherler gabro ve gabro-anortozitik kaya topluluğunda bulunur. Gabro kökenli karmaşıkların çoğu bantlı ya da laminalıdır. Manyetit, bu bantların çeşitli kesimlerinde piroksen, olivin ve plajiyoklasların arasında ya da ana bileşenleri manyetit ve ilmenitten oluşan yataklar halinde bulunur (Gross, 1965). Bazı gabro kütlelerinde manyetit belirgin şekilli gövdeler halinde iken diğerlerinde düzensiz bir görünümdedir (Şekil 3).

Titanlı manyetit (demir) yatakları ile gabro-anortozit kayaları belirgin olarak aynı magmatik işlemlerin fazlarıdır. Bu yataklar, erken kristalleşme evresinde mafik kristal kayaların oluşumu sırasında magmadan farklılaşarak (diferansiyasyon) oluşmuşlardır.

Kalıntı demir yataklarına da Canakry türü lateritik yataklar, Hunsrück türü çökellerin günlenmesiyle oluşmuş yataklar ve demir şapkalar örnek olarak verilebilir.



Şekil 3. *Taberg yatağının enine kesiti* (Schneiderhöhn, 1941).

Canakry türü lateritik yataklar, bazik ile ultrabazik kayaların ve demirce zengin bazalt ve tüf gibi püskürük kayaların üzerinde yer alır (Gross,1970). Hunsrück türü çökellerin günlenmesiyle oluşmuş yataklar ise silisli, toprağımsı, kahverengi demir cevherleridir (Zitzmann ve Neumann-Redlin, 1977). Demir şapkalar ise pirit ve pirotin gibi demirli sülfidlerin yüzeyde oksitlenmesiyle oluşmuş kalıntı demir oksit yataklarıdır (Kosakevitch, 1979). Sert gözenekli kütleler ve tipik olarak yumuşak toprağımsı demir oksitler ile günlenmeye dayanıklı mineraller içerir. Ana cevher minerali limonittir (Zitzmann ve Neumann-Redlin, 1977).

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Demir cevherlerinin aranması, işletilmesi, cevher zenginleştirilmesi, taşınması ve kullanılmasındaki teknolojiler son 20 yıldır önemli boyutlarda değişime uğramışlardır. Dünya çapında yüksek tenörlü ve homojen kimyasal bileşime sahip cevherlere yönelik gereksinimin artmasıyla birlikte demir cevherleri büyük ölçüde çeşitli işlemlerden geçirilmeye başlanmıştır.

Öte yandan, yüksek iş gücü, malzeme ve enerji maliyetleri nedeniyle demirlerin üretim maliyetleri yükselmiştir. Demir hammaddesine yönelik gereksinimlerin artması teknolojideki gelişmelerle kısmen de olsa çakışmıştır. Teknolojideki yenilikler cevherin flotasyonla zenginleştirilmesi, yaş manyetik yöntemlerle ayrımı ve ince elenmesi; doğrudan indirgeme tesisleri için özel olarak yoğunlaştırılmış cevher üretimi; madencilik ve cevherin işlemden geçirilmesinde bilgisayar kullanımı ve bu yöntemlere ilişkin enerji gereksiniminin düşürülmesi ve çeşitli indirgeme tesislerinin yapılması konularında yoğunlaştırılmıştır.

Arama ve değerlendirme çalışmaları

Demir cevherlerinin aranmasında kullanılan başlıca yöntemler; jeolojik araştırmalar, yerden ve havadan manyetik incelemeler ve sondajlarla gerçekleştirilmektedir. Bazen hava fotoğrafları ve gravimetrik incelemelerden de yararlanılır. Ancak cevherin niteliğinin ve niceliğinin belirlenmesi sondajlar sonucunda elde edilen somut verilerle gerçekleşmektedir.

Demir yatakları ile ilgili çalışmalarda her yatağın jeolojik olarak haritalanması ve özelliklerinin incelenmesi zorunludur. Özellikle cevherin, jeolojik sürecin hangi evresinde oluştuğu, cevherin kökeni ve yerleşim biçimi iyi incelenmelidir. Demirin bazı tipik manyetik özellikler göstermesi de demir cevherinin aranmasında jeofizik yöntemlerden yararlanmayı gerekli kılmaktadır. Bu yöntemlerin esası incelenen bölgedeki ***toplam manyetik şiddetin ölçülmesi*** ve bundan yer kürenin manyetik alan değerleri çıkarılarak ***manyetik anomalilerin belirlenmesine*** dayanır. Demirin özgül ağırlığının çevresindeki kayalardan farklı olmasından yararlanarak demir cevherlerinin aranmasında gravimetrik yöntemler de kullanılmaktadır.

Çeşitli yöntemlerle belirlenen cevherleşmenin geometrisi, uzanımı, derinliği, konumu ve biçimi ile rezerv ve tenörünün belirlenmesi amacıyla sondajlar yapılır. Sondajlar elmas uçlu matkaplarla yapılmakta ve karot veriminin en az % 75 olması gerekmektedir. Sondajların sistemli bir şekilde yapılması zorunludur. Bir sahada yapılması gerekli sondaj sayısı:

$$n = \frac{V.t}{P}$$ denklemi ile hesaplanır (Önal ve diğerleri, 1984).

n, sondaj sayısıdır.

$$V = \frac{s}{x}$$ s, standart sapma, x ise, cevher tenör ortalamasıdır.

t: dağılım değeri, metalik cevherler için 1 alınır.

P, kabul edilen ve istenilen hata yüzdesi

Bundan sonra $a = \frac{F}{n}$ ~~denklemi~~ yardımıyla sondaj aralığı bulunur.

Sunulan denklemde a, sondaj aralığı; F, cevherli alan; n ise, sondaj sayısını göstermektedir. Buna göre sondaj aralığı kabul edilen ya da istenilen hata yüzdesinin fonksiyonudur. Arama çalışmalarından elde edilen bilgiler yardımıyla cevher yatağının rezerv ve tenörü hesaplandıktan sonra ekonomik ölçütler doğrultusunda değerlendirilir.

Bir maden yatağının, değerlendirilmesi için öncelikle üretim planlaması yapılmalıdır. İleride ek harcamalara yol açmaması için, planlamanın iyi yapılması gerekmektedir. Günümüzde üretim planlaması üç aşamada yapılmaktadır (Önal ve diğerleri, 1984).

1. Optimum açık işletme sınırlarının ve üretim hızının belirlenmesi;

İşletme sınırı, bir açık işletmenin ömrü sona erdiğinde elde edilecek son şekil ve ölçüleri ifade etmektedir. Maden işletmesinin sınırlarını genelde cevherin tonajı tarafından denetlenir (Ohle, 1972). Optimum işletme sınırlarının saptanması amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Caner, 1975): Hareketli koni yöntemi, graf tekniği, network akım tekniği, dinamik programlama teknikleri gibi. Üretim hızı ise, yatağın oluşumu ve jeolojisi, pazarlama durumu, yatırım miktarı ve işletme maliyeti gibi faktörlerle belirlenmektedir (Önal ve diğerleri, 1984).

2. İşletme stratejisi için seçilmesi gereken iki önemli parametre işletilebilir en düşüktenör ve üretim kapasitesidir (Caner, 1976). Bir yatakta cevher tonajı ve ortalama tenör, işletilebilir en düşük tenörün birer fonksiyonudur.

3. Ayrıntılı işletme hesapları (günlük ya da haftalık planlama ve denetim).

İşletme

Dünya demir cevheri üretiminin yaklaşık % 85'i açık ocaklardan yapılmaktadır; % 15'i ise yeraltı madenciliği ile üretilmektedir. Madencilikte yöntem seçimi, cevher gövdesinin boyutu, biçimi, duruşu ve cevhere erişilmesine bağlıdır. Demir cevherleri, ticari cevher gövdelerinin çoğu yüzeye yakın uzandığından ve yanal boyutları büyük olduğundan açık ocaklardan işletilmektedir. Göreceli olarak dar, dik dalımlı ya da gömülü cevher gövdeleri kapalı işletme ya da yeraltı kazı yöntemleri ile değerlendirilebilir (Peterson, 1980). Yeraltı kazı yöntemlerindeki yüksek maliyet ve sınırlı üretim kapasitesi, açık ocak işletmeciliğinin tercih edilmesine neden olmaktadır.

Bir maden yatağında açık işletme mi yoksa yeraltı işletme mi uygulanacağı bir ***sınır oranı*** ile hesaplanmaktadır (Öcal, 1978):

$$\text{Sınır oranı} = \frac{\text{Kapalı işletme maliyeti (TL/ton)} - \text{Açık işletme maliyeti (TL/ton)}}{\text{Toprak örtü (Dekapaj) maliyeti (TL/ton)}}$$

Buna göre, maden yatağının sadece 1/5'ini geçmeyen kesimlerini açık işletmeyle almak ekonomik olacaktır.

Optimum açık işletme sınırları için uygulanan ve belirli bir kâr sınırında işletme geometrisini belirleyen diğer ekonomik ölçüt, toprak örtü (dekapaj) miktarıdır (Caner, 1983):

$$\text{Cevher tonu başına minimum kazanç} = \text{Cevher tonu başına kazanılan değer} - \text{Cevher tonu başına üretim maliyeti}$$

Ton başına toprak örtü (dekapaj) maliyeti

Demir cevheri açık işletmelerinde verimlilik vardiya başına 150 ile 300 ton arasında değişmektedir.

Taşıma

Demir cevherlerinin maliyet hesabında, cevherin işlenecek tesislere taşınması işlemi büyük bir pay tutmaktadır. Demir yataklarının değerlendirilmesinde, taşımacılık açısından en uygun yer öncelik kazanmaktadır. Son yıllarda düşük tenörlü ve ham cevher taşımacılığı giderek azalmış, bunların yerini düşük tenörlü cevherlerden elde edilen yoğunlaştırılmış ürünler ve pelletler almıştır.

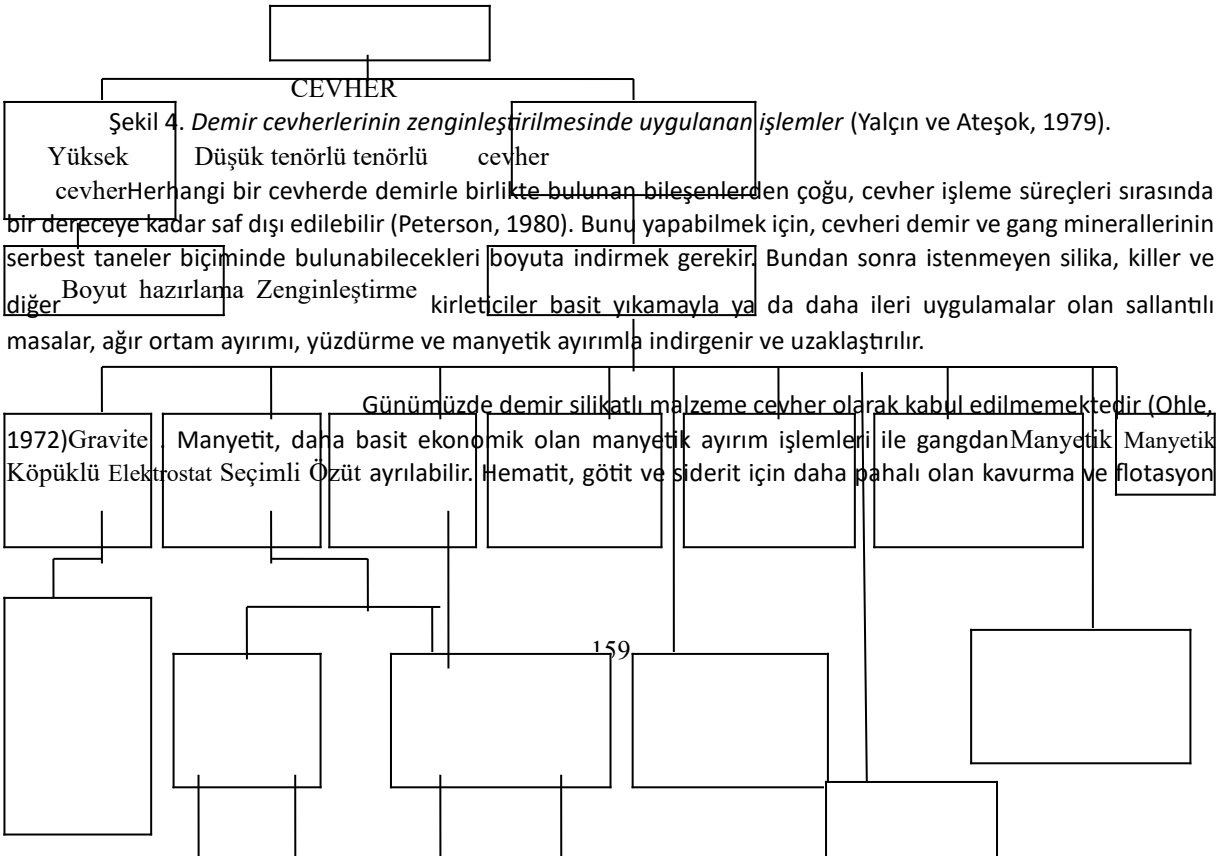
Dünya demir cevheri tüketimi ve ticaretindeki hızlı büyüme, yükleme ve taşımacılıkta önemli gelişmelere yol açmıştır. Deniz ötesi cevher taşımacılığında büyük tonajlı ve çok amaçlı gemilerin yapımı, cevher taşıma ücretlerini düşürmüştür (Rowbotham, 1979). Okyanus ötesi cevher taşımacılığında ise, toz demir cevherini bir sulu karışım olarak taşıyan ***Marco Flo*** yönteminin uygulanması ekonomik sonuçlar vermiştir (MTA, 1975). Bu yöntemi, Japon demir-çelik sanayisi, Avustralya ve Güney Amerika'dan yaptığı cevher taşımacılığında kullanmaktadır. Büyük boru hatları taşımacılığı ise, yoğunlaştırılmış demir cevheri taşımak üzere planlanmıştır. Meksika'da iki büyük maden yatağı ile pelletleme tesisi arasında demir cevherinin taşınmasında büyük boru hatları kullanılmaktadır (Klinger, 1985).

Cevher hazırlama ve zenginleştirme

Yeraltından çıkarılan ham demir cevheri ender olarak herhangi bir işlemden geçirilmeden kullanılabilir. Metal üretimi için yüksek fırına yüklenecek cevherlerin belirli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması gerekir. Fiziksel özellikler daha çok cevherlerdeki tane boyutlarıyla, kimyasal özellikler de cevherin bileşimindeki maddelerin yüzde oranları ile ilgilidir.

Eğer cevherin kimyası yeterli ise, cevherin sadece fiziksel özellikleri iyileştirilir. Örneğin, derişim, cevherin demir içeriğini yükseltmek üzere yapılan seçmeli ayrım işlemidir. Bu süreç sırasında yüksek demir içeriğine sahip bölümler değerlendirilir, düşük demir içeriğine sahip bölümler atılır. Derişim işlemi ise düşük tenörlü cevherlerde uygulanmaktadır.

Cevher hazırlama, bazı ülkelerde özellikle cevherin izabeye gönderilmek üzere ayrılması işlemidir. Kullanılacak olan demir cevheri ne çok kaba ne de çok ince olmalıdır (Reno, 1970). Homojenliğe, seçme ve harmanlamayla ulaşılır. Zenginleştirme ise cevherin hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerini iyileştirmeye yönelik süreçlerin tümüdür. Zenginleştirmeye dair işlemler Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. *Demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanan işlemler* (Yalçın ve Ateşok, 1979).

Herhangi bir cevherde demirle birlikte bulunan bileşenlerden çoğu, cevher işleme süreçleri sırasında bir dereceye kadar saf dışı edilebilir (Peterson, 1980). Bunu yapabilmek için, cevheri demir ve gang minerallerinin serbest taneler biçiminde bulunabilecekleri boyuta indirmek gerekir. Bundan sonra istenmeyen silika, killer ve diğer kirleticiler basit yıkamayla ya da daha ileri uygulamalar olan sallantılı masalar, ağır ortam ayırımı, yüzdürme ve manyetik ayırımla indirgenir ve uzaklaştırılır.

Günümüzde demir silikatlı malzeme cevher olarak kabul edilmemektedir (Ohle, 1972). Manyetit, daha basit ekonomik olan manyetik ayırım işlemleri ile gangdan ayrılabilir. Hematit, götit ve siderit için daha pahalı olan kavurma ve flotasyon

işlemlerineayırma ayırma kavurma yüzdürme ik ayırma salkımlaşma leme gerek vardır. Manyetitin kolayca ayrıştırılmasının yanı sıra, manyetit hematite göre dahaalanı ucuza pellet haline getirilebilir.

Derişim

Jig ağır Değerli cevher ile değersiz mineraller (gang) arasında var olan fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerin farklılıkları üzerinde işleyen mekanik bir süreçtir. Demirortam ağır mavi Yüksek Düşük alan Kırma, eleme Kalsinasyon cevherlerinin çoğu, ayrıştırma yöntemlerinin bir ya da birkaç türüyle gang minerallerinden siklon alan şiddeti ve sınıflama ayrılabilir. tabla şiddeti spiral Gravite yöntemleri (jigging, spiraller, ağır ortam) ile yumuşak hematitler ve gevrek spekülaritler ayrıştırılır. Gravite ve flotasyon yöntemi ile sıkı ve yüksek tenörlü hematit veYıkama martitten oluşan cevherler ayrıştırılmaktadır. ***Gravite, flotasyon ve manyetik kavurma yöntemleri*** ile çakıltaşından yapılı cevherler ayrıştırılır. Ayrıca, manyetit ve hematit karışımından oluşan cevherler de bu yöntemlerle zenginleştirilirler. Kuru Yaş Kuru Yaş

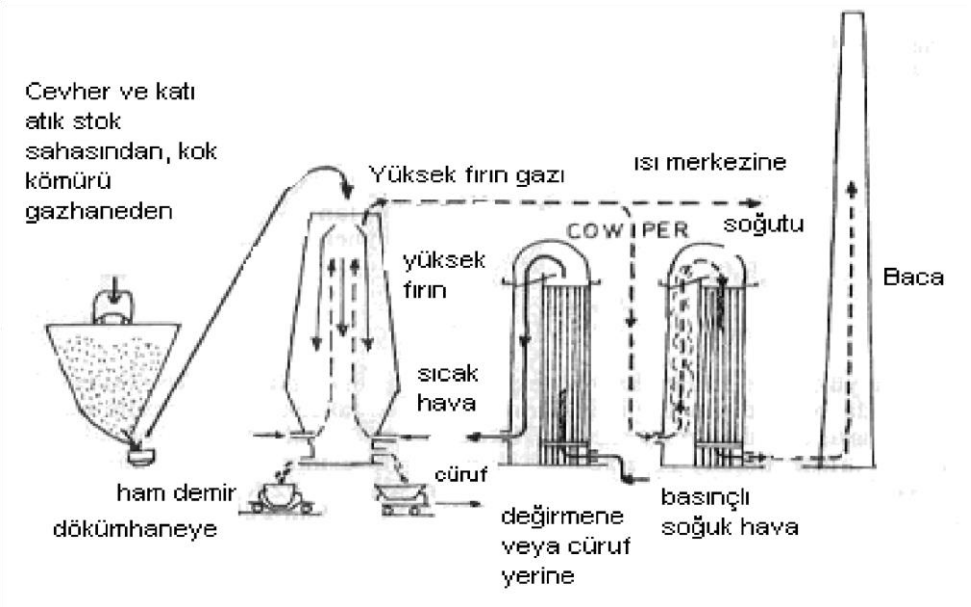
Manyetik kavurma yöntemi ile manyetit, siderit, hematit ve limonit gibi önemli miktarlarda uçucu maddeler (CO_2 ve H_2O) içeren cevherler zenginleştirilir. Cevher kavrularak içeriğindeki demir oksitlerin tümü manyetite dönüştürülmekte ve daha sonra manyetik ayırım yöntemler ile zenginleştirilmektedir.

Cevherin izabesi ve çelik yapımı

Demir cevherlerinin çoğu, yüksek fırınlarda izabe edilebileceği beklentisiyle değerlendirilir. Dünya demir üretiminin % 1'inden azı diğer yollarla izabe edilir. İzabe iki aşamalı bir işlemdir (Higgins, 1976):

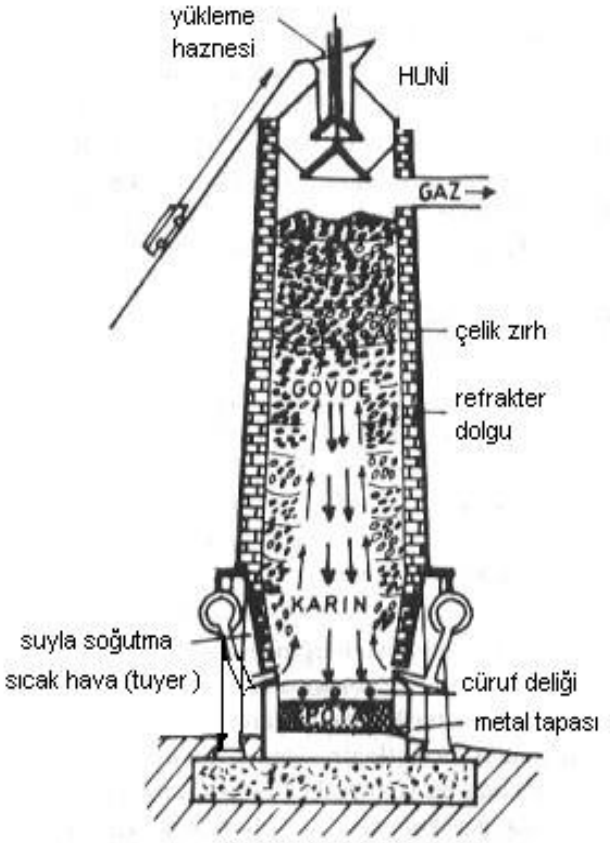
1. Demir cevherinin, kok ve bundan çıkan CO gazıyla kimyasal olarak indirgenmesi;
2. Fırından dışarı atılacak biçimde ergimeye elverişli bir cüruf oluşturmak üzere,katık eklenmesi ile gangın ayıklanması.

Demir cevherinin işletilebileceği bir yüksek fırının diğer yapılarla olan ilişkileri Şekil 5'de, fırının şematik görünümü ise Şekil 6'da görülmektedir. Yüksek fırın genel olarak üst üste oturmuş iki koniden oluşur. Yüksek fırınının yüksekliği 10-30 m arasında değişir. Böyle bir fırının kapasitesi günde 100 ile 4000 ton sıvı demir üretebilir. Yüksek fırının etkinliği ve verimi, boyutlarının bir fonksiyonudur (Reno, 1970).



Şekil 5. *Bir yüksek fırının genel çerçevesi* (Scheer, 1971).

Demir cevheri, kok ya da odun kömürü ve gerektiğinde katkı maddeleri üstten yüklenir, yanma için gerekli hava ise alttan üfürülür. Katkı maddesi olarak genellikle kireçtaşı, bazı özel durumlarda ise, silis, florit ya da tuz kullanılabilir. Bu karışıma ***Möller*** adı verilir (Scheer, 1971).



Şekil 6. *Yüksek fırının şematik görünümü* (Higgins, 1976).

Katkı gereçlerini kullanmanın amacı, cevherin ve kokun tüm gereçlerini toplayan ve kolay ergiyen bir cüruf oluşturmaktır. İdeal bir yüksek fırın cürufu, yaklaşık eşit miktarlarda asit ve baz stokiyometritik bölümler içerir. Silika ve fosforlu bileşenler olağan olarak asitleri içerir, kireçtaşı ve dolomit ise kullanılabilen bazik katkı gereçleridir (Reno, 1970). Demirin bazı kimyasal bileşimleri diğerlerinden daha kolay indirgenir. Doğal demir minerallerinden götit ve siderit en kolay indirgenenlerdir. Bunları hematit ve manyetit izler (Reno, 1970).

Yüksek fırının verimliliği yüklenen malzemenin demir içeriği ile değişir. Ayrıca, demirin yüksek fırın dışında işlenmesine dair diğer işlemler aşağıda sunulmuştur.

Elektrik ark fırını

Demir cevheri, külçe demir ya da sıvı metal elde etmek üzere yüksek fırından başka, elektrik ark fırınında da izabe edilebilir (Reno, 1970). Yüksek fırınlardaki kullanılan ısı elektrik enerjisinden sağlanır. Kok demir oksidin indirgenmesinde kullanılır. Bu süreç, elektrik enerjisinden elde edilen ısının koktan gelenden daha ucuz olduğu yerler için ekonomiktir. Elektrik ark fırınları çok küçük miktarlarda yüksek nitelikte çeliklerin ve özellikle yüksek alaşımlı (% 50'den yüksek) çeliklerin üretiminde kullanılmaktadır. Ton ürün başına enerji gereksinimi $54x10^2$ kws'dir. İndirgeyici olarak fosil yakıtlar kullanıldığından gerekli elektrik enerji ise, ton ürün başına 1000 kws'dir (Klinger, 1985).

Doğrudan indirgeme

Sünger demir ve düşük karbonlu demirin üretildiği "doğrudan indirgenmiş demir (DRI) elde etme süreçleri" yüksek fırından önce bilinmekte ve kullanılmakta idi (Reno, 1970a). Bu süreçlerin genel özelliği, demirin ergime

noktası altındaki ısılarda da indirgeme işleminin yapılabilmesidir. İndirgeyiciler, sürecin işleyişine bağlı olarak gazlar ya da karbonlu katılarla temsil edilmektedir.

Doğrudan indirgenen demir, cevherden gelen silika, alümina ve diğer gereçlerin uzaklaştırılamaması nedeniyle saf değildir. Fakat yüksek tenörlü cevher kullanıldığında ürün %90'dan fazla demir içerir ve bu da çelikhanelerde kullanılmaya elverişlidir. Tesislerin çoğu yoğun enerji ile çalışır ve ürün tonu başına enerji tüketimi $36x10^2$ ile $42x10^2$ kws'dir (Klinger, 1985).

Çelik yapımı

Çelik üretiminin temel ilkesi, ham demir içindeki Si, Mn, P ve C'un ham demirden alınarak yakılmasıdır (dekarbürasyon). Bu sürece tazeleme adı verilir. Tazeleme işlemi Bessemer konvertöründe, açık ocaklı fırınlarda (Siemens Martin ocağı), elektrik ark fırınlarında yapılır (Scheer, 1971).

Bassemerde çelik yapımı ilk ekonomik yöntemdir (Schotman, 1985). Süreç başlıca, oksidasyon yoluyla karbon, silika ve manganezin uzaklaştırılması amacıyla sıvı külçe demir içerisinden hava üfürülmesi esasına dayanmaktadır. Açık ocaklı fırınlarda çelik yapımı, demir yüküne hurda çelik katılarak karbonun oksidasyonu sonucunda külçe demirin rafine edilmesinden ibarettir. Bu yöntemle, çok büyük tonajlarda çelik ekonomik olarak üretilmekte ve niteliği mükemmel bir biçimde denetlenmektedir.

KULLANIM ALANLARI

Demir cevherinin yaklaşık % 99'u, ***demir-çelik sanayinde*** kullanılmaktadır. Geriye kalan % 1 ise çimento, ağır ortam malzemesi, baca gazlarının temizlenmesi, demir oksit pigmentleri, yüksek yoğunluklu beton, ferrit mıknatıs, gemi safrası (denge malzemesi), sondaj çamuru ve hayvan yemlerinde katkı maddesi olarak tüketilmektedir. Demir cevherinin kullanıma ilişkin bazı tespitler aşağıda sunulmuştur:

1. Demir cevheri olarak manyetit, hematit, limonit ve siderit yatakları demir-çeliksanayinde tercih edilmektedir.
2. Demir cevheri, demir metali ve çelik yapımı dışında, daha çok çimento veyoğunluğu yüksek ortam hazırlamada, daha az miktarlarda ise ferro alaşımlar, boya sanayi, yoğunluğu yüksek beton aglomerası ve hayvan yemlerinde kullanılmaktadır.
3. Demir oksit minerallerinin en önemli kullanım alanlarından birisi de demir dışımetallerin izabesinde katkı maddesi olarak kullanılmasıdır. Demir oksit mineralleri, özel beton agregatları olarak bir başka kullanım alanı da bulmuştur. Sahilde petrol ve gaz ileten boru hatlarında ağır koruyucu olarak kullanılmaktadır. Demir oksitlerden yapay olarak üretilen seramik ferrit mıknatıslar elektronik sanayinde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Pettifer,1981).
4. Avustralya'da çok az miktarda manyetit su temizleme aracı olarakkullanılmaktadır. Bataklık suyunun arıtılmasında ince taneli manyetitten (8 ile 5 mikron) yararlanılmaktadır (Pettifer, 1981).
5. Eski çağlarda demir ve çelik çoğunlukla kılıç, bıçak, tüfek, top, parmaklık ve küçükaletlerin yapımında kullanılmıştır. Ancak sanayi devrimi (19. yy'ın sonları) sırasında demir üretiminde ağırlık motor, buhar kazanları, dişli çarklar ve pervane gibi araçların yapımına kaymıştır.
6. Bessemer yöntemiyle, ucuz çeliğin yapılmasından sonra, çeliğin yapı işlerindekullanımı yaygınlaşmıştır. Başlangıçta İngiltere ve ABD'de demiryolu köprülerinin yapımında kullanılan çelik, daha sonraları diğer yapılarda da kullanılmıştır. Londra'da inşa edilen Crystal Palace, dökme demirle yapılmış ünlü bir yapıdır. 1889'da yapılan Eyfel Kulesi de (300 m) çelik iskelet yapısına güzel bir örnektir. Demiryolu, gemi, tren, otomobil, makine, yeraltı ve yer üstü yapılarında bugün büyük oranda çelik kullanılır. Çelik, ayrıca metal kaplama, boru ve hareketli parçaların yapımında da temel unsur olarak kullanılmaktadır.
7. Üretilen demir ve çeliğin ortalama % 32'si ulaşım sektöründe; % 25'i köprü vebina; % 20'si makine parçalarında; % 6'sı teneke, depo; %6'sı da petrol endüstrisinde sondaj araçları, iskele ve boru yapımında kullanılır. Bir bölümü de çeşitli alet, araç ve askeri gereç yapımında değerlendirilir.
8. Atık demir ve atık çelik, çelik endüstrisinin önemli hammaddeleridir. Çelikendüstrisinde kullanılan demirin % 50'si atık demirlerdir. Bunların % 50-60 kadarı hadde tezgâhlarından ve dökümhanelerden çıkan

atıklardır. Geri kalan bölümleri de endüstriyel atıklar ve hurda arabalar, gemiler ve raylardır. Yani, atıklar uygun teknolojiler yardımıyla ve geri dönüşüm yoluyla yeniden değerlendirilmektedir.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Maden üretimi ve çevrenin korunması, sürdürülebilir kalkınma ile birlikte düşünülmesi gereken olgulardır. Demir cevherinin özellikle ocak işletmesi sırasında topografyanın bozulması, cevher zenginleştirilmesi sırasında bazı atıkların ortaya çıkması ve çevreyi kirletmesi kaçınılmazdır.

Ortaya çıkan katı atıklar için uygun alanlar bularak değerlendirmek ve daha sonra bozulan topografyayı eski haline getirmek için yoğun çaba harcanmalıdır. Üretim sonrası oluşacak yeni topografya üzerinde bölgedeki bitki yapısının tekrar yetiştirilmesi, oluşmuş basamakların bölgenin coğrafya ve iklim yapısına uygun olarak ağaçlandırılması mümkündür. Bu nedenle üretim planlaması aşamasında öngörülen planlamanın iyi projelendirilmiş olması ve bu projenin uygulanması için cevherin tümünün bitmesinin beklenmesi gerekir. Bu beklenti yapılan düzenleme çalışmalarının madencilik faaliyetlerinden etkilenmemesi açısından zorunludur.

Demir cevheri zenginleştirme tesislerinde genellikle manyetik ayırıcılar ve gravite yöntemleri kullanıldığından bu tesislerin çevreye kimyasal atık bırakmaları sınırlıdır. Ancak çalışanların sağlığını gözeterek, demirin ağır metallerden biri olduğu da gözetilerek bir planlama yapılmalıdır. Kimyasalların kullanıldığı zenginleştirme tesislerinde de alınan önlemlerle bu tesislerin çevreye olan etkileri denetlenmelidir. İzabe evresinde, yüksek fırınlarda ortaya çıkan gazlar da hava kirliliği yaratmaktadır. Bu gazların denetimi için uygun elekro-filtreler öngörülmelidir.

25 hektar ve üzeri alanlarda metallere yönelik yapılan projeler ile metal sanayi tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 faaliyetler listesinde yer almaktadır. Bu tür projeler için kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanması zorunluluğu vardır. Ancak 1000 ton/yıl ve üzeri üretim yapan, ya da hurda demirden çelik üreten tesisler EK-2 listesinde yer almaktadır. Bu tesisler için Proje Tanıtım Formatı'nın hazırlanması yeterlidir.

SONUÇLAR

Dünya'da demirden yapılı eşyaların geçmişi çok eskidir. Yüzyıllardan beri insanlar için gerekli bir maden olan demirin sayısız kullanım alanı vardır. Bundan ötürü, demirin her dönemde sanayinin tüm kollarında önemli bir yeri olmuştur. Bazı alanlarda demir ve çeliğin yerini yapay maddeler (ambalaj endüstrisinde), beton (inşaat), alüminyum ve magnezyum gibi hafif metaller (otomobil, motor ve uçak parçalarında) almıştır. Ancak demir-çelik ürününün ucuzluğu, önemli özellikleri ve bolluğu nedeniyle uzun bir süre daha insanlık için yine en önemli ve kullanımı geniş bir maden olarak kalacaktır.

Demir cevheri yerkabuğunda çok derinlere inmeden çıkarılabilir ve yüzeye yakın yataklar, günümüzdeki tüketim için yeterlidir. Bu nedenle demir üretiminin yaklaşık tümü açık maden ocaklarından sağlanmaktadır. Yeraltındaki maden yataklarındaki üretim oranı oldukça düşük, ayrıca maliyeti de çok yüksek olduğundan tercih edilmemektedir. Yeraltı maden ocaklarının makineleşmenin, yüklemeciliğin ve taşımacılığın çok geliştiği bölgelerde açılmasında yarar görülmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerin demir-çelik gereksinimi artmakta, buna koşut olarak da çelik endüstrileri gelişmektedir. Batı ekonomilerindeki durgunluk demir-çelik üretimindeki gerilemeye koşut olarak devam etmektedir. Ancak, demir yataklarının aranmasında, ocak işletmesinde ve cevher zenginleştirme evrelerinde önemli çevre sorunlarının ortaya çıkacağı daima göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer metallerde olduğu gibi demirin de geri kazanım yoluyla değerlendirilmesi özendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Bottke, H., 1981, Lagerstattenkunde des Eisens: Verlag Glückauf GmbH, Essen, 202 s.

Caner, G., 1975, Açık İşletmelerde Optimum İşletme Sınırlarının Saptanması ve Maksimum Karın Elde Edilmesi Amacı ile Kullanılan Matematiksel Teknikler: TMMOB Maden Müh. Odası, 22s.

Caner, G., 1976, Maden İşletme Yöntemlerinin Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması ve En Uygun (Optimum) İşletme Politikasının Saptanması: MTA Yayınl., Eğitim Ser. No 18. Ankara, 27 s.

Caner, G., 1983, Maden Ekonomisi: MTA Yayın., Eğitim Ser. No 27, Ankara, 206 s.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

DPT, 2000, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenleri Alt Komisyonu, Demir Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 64 s. (yayınlanmamış).

Gross, G.A., 1965, Geology of iron deposits in Canada, 1. General geology and evaluation of iron deposits: Geol. Surv. Canada, Econ. Geol. Rep., 22 (1), Ottawa, 181 s.

Gross, G.A., 1970, Nature and occurence of iron ore deposits: Survey of World Iron Ore Resources da, Birleşmiş Milletler, New York, 13-31.

Higgins., R.A., 1976, Engineering Metallurgy: Hodder and Stoughton, Londra, 467 s.

Klinger, F.L., 1985, Iron Ore: Mineral Facts and Problems de, A.W. Knoerr (ed), Bur. Mines Bull., 675, Washington, 385-403..U.S.Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 1998.

Kosakevitch, A., 1979, Chapeaux de fer: problemes de definition et de nomenclature pratique: Bull. BRGM, Sect. II, No2-3, 141-149.

Koşal, C., 1973, Divriği A-B-C demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu üzerine çalışmalar, MTA Dergisi, sayı 81, sayfa 1-20.

Miller, J.R., 1970 Impurities in iron ore: Survey of World Iron Ore Resources da, Birleşmiş Milletler, New York, 35-41.

MTA, 1975, Dünya'da ve Türkiye'de metal ve mineral kaynaklarının potansiyeli, ticareti, beklenen gelişmeler, 1. Demir: MTA Yayınları, No 155, Ankara, 24 s.

MTA, 1994, Mineraller, Ankara, 72 s.

Ohle, E.L., 1972, Evaluation of iron ore deposits: Econ. Geol., 56, 331-361.

Oygür, V., 1991, Demir Cevherlerinin Değerlendirilmesinde Temel İlkeler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:22, Ankara, 95 s.

Öcal, M.D., 1978, Açık İşletmeciliğin El Kitabı: Etibank, c.II, Ankara, 223 s.

Önal, G., Bilgin, N. ve Nizamoğlu, S., 1984, Dünya demir madenciliğinin bugünü ve teknolojik gelişmeler: Türkiye'nin Demir Cevheri İmkanları ve Değerlendirilmesi Semineri, İskenderun, 1-18.

Peterson, E.C., 1980, Iron ore: Mineral Facts and Problems de, W. Knoerr (ed), Bur. MinesBull. 671, Washington, 433-453.

Pettifer, L, 1981, Iron oxside minerals-the other uses: Ind. Miner. (GBR), no 161, 53-63.

Reno, H.T., 1970, Benefication and smelting: Survey of World ıron Ore Resources da Birleşmiş Milletler, New York, 32-34.

Rowbotham, P.J., 1979, The impact of changes in the bulk shipping market on iron ore transportation: Iron Ore Symposium da, R. Cordero (ed), Metal Bull., Amsterdam, 1979, 90-100.

Scheer, L., 1971, Çelik Nedir (Çev. M. Sağışman): İstanbul, 139 s.

Schneiderhohn, N., 1941, Lehrbuch der Erzlagerstattenkunde: Verlag von Gustov Fischer, Jena, 858 s.

Schottman, F.J., 1985, Iron and steel: Minerals Facts and Problems da A.W. Knoerr (ed). Bur. Mines Bull. 675, Washington, 405-424.

Yalçın, T. ve Ateşok, G., 1979, Demir Cevherlerinin zenginleştirilmesi: Madencilik, XVIII (2), 20-32.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

Zitzmann, A., 1977, Iron Ore Deposits of Europa and Adjacent Areas, Hannover.

Zitzmann, A. ve Neumann-Redlin, C., 1977, The iron ore deposits of Spain: Iron Ore Deposits of Europe and Adjacent Areas da, A. Zitzmann (ed), Hannover, 269-278.

2. 6, KROM

GENEL BİLGİLER

Krom elementi ilk defa 4 Kasım 1677 yılında Fransız Kimyager Louis Vaugelin tarafından tanımlanmıştır. Vaugelin'den literatüre kırmızı kurşun adı ile geçen Krokoyit ($PbCrO_4$) mineralindeki kurşun elementinin bilinmeyen bir başka metalin oksidi ile beraber bulunduğunu keşfetmiş, bu elementin bileşiklerinin kırmızı, sarı, yeşil gibi çeşitli parlak renkler vermesi karşısında elemente Yunanca'da renk anlamına gelen "Chroma" ismini vermiştir.

1798 yılında Rusya'da Ural dağlarında zengin krom yatakları bulunmuş ve 1827'ye kadar dünya krom cevheri üretimi Ural dağlarında yapılmıştır. Daha sonra 1827 yılında Amerika'da, 1861 yılında Pakistan ve Hindistan'da, 1942 yılında da İran'da krom cevheri bulunmuştur. Krom cevheri üretimi, Güney Afrika'da 1921, Zimbabwe'de 1906, Filipinler'de 1935, Arnavutluk'ta 1941 yıllarında başlamıştır (MTA, 1995).

Ülkemizde ilk krom cevheri yatakları 1848 yılında Bursa-Harmancık bölgesinde Jeolog Lawrence Smith tarafından bulunmuştur. Muğla bölgesindeki sahaların ilk arama hakkı 1887 yılında Ali Rıza Paşa isimli bir şahsa verilmiş olup, şahıs bu bölgeyi 1926 yılına kadar işletmiştir. 1926 yılında ruhsat iptal edilmiştir. MTA tarafından bölgede 1945-1951 yıllarında yapılan arama çalışmaları sonucunda bir miktar krom cevheri bulunmuş ve saha 1951'de Etibank'a devredilmiştir. 1950'li yıllarda başlayan Türkiye krom üretimi, 1960 yıllarında belli bir düzene girmiştir. Etibank 20.6.1957'de şantiye açmış, 25.01.1965'de ise halen faaliyette bulunan Üçköprü Tesisi'ni kurmuştur.

Yerkabuğunu oluşturan ultrabazik kayaların doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalürji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineraldir. Krom elementi içeren, ancak ekonomik değer taşıyan tek krom minerali olan kromit, kübik sistemde kristalleşen ve genel formülü $M^{+2}M^{+3}O_4$ olan spinel grubu bir mineraldir. Burada M^{+2} iki değerlikli katyonları $(Mg,Fe)^{+2}$, M^{+3} üç değerlikli katyonları ise $(Cr, Al, Fe)^{+3}$ temsil etmektedir.

Teorik formülü $FeCr_2O_4$ olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü $(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe)_2O_4$'dir. Mg, Cr, Fe, Al elementleri kromit mineralini oluşturan elementler olmakla birlikte, gang minerallerinden kaynaklanan silis de krom cevheri analizlerinin ayrılmaz bir parçasıdır.

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde SiO_2, Cr_2O_3, Al_2O_3 % miktarları ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği % 68'dir.

ÖZELLİKLERİ

Kromitin kristal yapısında M^{+2} ile Fe^{+2}'nin ya da Cr^{+3} ile Al^{+3} ve Fe^{+3}'in değişen oranlarda birbirlerinin yerlerini almaları nedeni ile kromit kristallerinin Cr_2O_3 içeriği sürekli olarak değişmektedir.

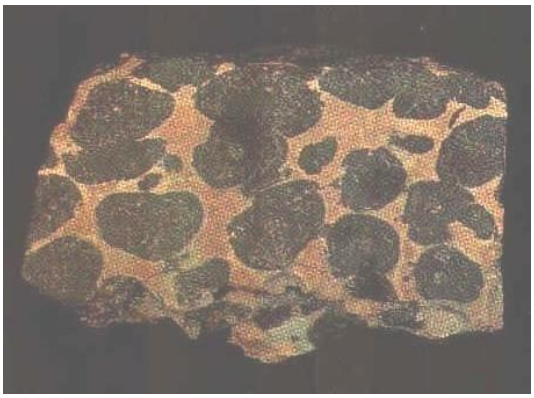
Kromitin yoğunluğu 4.5-5 g/cm^3 arasında değişmekte olup, sertliği 5-5.5 dolayındadır. Hiçbir asitten etkilenmez. Ancak Na_2O ile çözünür. En önemli özelliği çizgi renginin kahverengi olmasıdır. Krom elementinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Atom Ağırlığı :	52
Atom Numarası :	24
Periyodik Durum :	Grup VI, periyot 4
Kaynama Noktası :	2665 ^{0}C
Erime Noktası :	1875 ^{0}C
Özgül Ağırlığı :	7,15 g/ccm^3

Krom cevherinin endüstrideki kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile ilgili sınırlamalar söz konusudur. Teknolojik gelişmelere uygun olarak cevherin kimyasal bileşiminden kaynaklanan sınırlamalar giderek daha esnek hale gelmektedir. Kimyasal cevher olarak tanımlanan yüksek demirli krom cevheri, gelişen teknolojiyle artık metalürji sanayinde de kullanılabilmektedir.

Kromit mineralinin görünümü ve özellikleri ise Şekil 1'de görülmektedir.

KROMİT
Kimyasal Bileşimi: $FeCr_2O_4$
Kristal Sistemi: Kübik
Kristal Biçimi: Çok nadir bulunan kristalleri oktahedral; masif, tanesel
Sertliği: 5.5
Renk ve Şeffaflık: Parlak siyah
Çizgi rengi: Kahverengi
Ayırıcı Özellikleri : Çizgi rengi ve zayıf manyetiklik özelliği
Bulunuşu: Kromit, peridotit ve diğer ultrabazik kayalar ile serpantinitlerde yaygın olarak bulunur. Magmatik difreransiyasyon sonucu, magmadan itibaren soğuma sırasında, kromitin ilk olarak ayrılması ile zengin kromit yatakları oluşur.



Şekil 1. *Kromit mineralinin görünümü ve özellikleri* (MTA, 1994).

Kromitin dışında uvarovit ($Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$), krokoyit ($PbCrO_4$), kemererit $(Mg, Cr)_6(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$, eskolayit ($Cr_2O_3$), daubreelit ($FeCr_2S_4$), diyetzeyit ($Ca_2(IO_3)_2(CrO_4)$), bellit ($Pb_5(AsO_4,CrO_4,SiO_4)_3Cl$) gibi krom mineralleri vardır.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Maden yatakları çeşitli Yer süreçleri ile meydana gelmektedir (Gümüş, 1998, 1999). Krom yatakları, kromit minerali biçiminde ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayalarda (dunit, lerzolit ve serpantinit) yer alan kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Ultrabazik kayalar içinde kromit kristallerinin ya da tanelerinin bulunma yoğunluğu, sergiledikleri doku ve yapı özellikleri, krom cevherinin masif, saçılmış, nodüllü, orbiküler, bantlı, masif bantlı ve saçılmış bantlı biçiminde görülmesine yol açmaktadır.

Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kaya toplulukları köken, jeolojik konum, mineraloji, doku gibi özellikleri yönüyle başlıca üç gruba ayrılırlar (MTA, 2000); Yılmaz, 2009'dan):

1) Bushveld (Güney Afrika), Stilwater (ABD) gibi duraylı kıtasal bölgelerde (kraton) bulunan stratiform sokulumlara bağlı krom yatakları: Büyük boyutlu, kilometrelerce devamlılık gösteren katmanlı yataklanmalardır. Yapısal olarak büyük bir karmaşıklık sergilemezler. Küçük tane boylu, düzgün kristal şekilli, Cr/Fe oranı düşük ve yüksek demirli cevher içerirler.

2) Daha çok Alpin dağoluşum kuşakları boyunca görülmeleri nedeniyle Alpin tip diye anılan ultrabazik-bazik kaya topluluklarına (ofiyolit istifine) bağlı krom yatakları (podiform tip): Bunlar mercek ya da düzensiz şekilli, genelde küçük boyutlu, karmaşık yapısal ilişkiler sergileyen yataklardır. İri taneli düzensiz kristal şekilli, Cr/Fe oranı yüksek ve yüksek kromlu cevher içerirler.

3) Üçüncü tip olarak gruplandırılan; eşmerkezli bir iç düzene sahip, konsantrik yapıda ve ultrabazik-bazik kaya topluluklarına bağlı krom yatakları: Bunların bugün için ekonomik önemi yoktur. Genellikle Alaska'da görülen bu tip yataklardan üretim yapılmamaktadır. Bununla birlikte ABD'de, kromitlerin zenginleştirilmesi konusunda çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu tip yataklar genellikle yüksek demirli krom cevheri içerirler.

Krom yataklarının aranmasında peridotitlerin alt birimlere ayrılarak haritalanması, bu birimler arasındaki sınır ilişkileri, bileşimsel katmanlanma, yapraklanma, mineral çizgiselliği, faylanma, kıvrımlanma gibi yapısal unsurlar yardımıyla içyapının açıklığa kavuşturulması arama çalışmalarına sağlam ve gerekli bir temel oluşturmaktadır. Yüzeylenen ya da yeraltında bulunan krom yatakları doğrultu ve eğim yönleri izlenerek, yüzeylemesi olmayan gizli kromitit merceklerinin nerelerde yer aldığı saptanabilmektedir.

Alpin tip cevherler, Cr/Fe oranlarının stratiform tip cevherlere göre daha yüksek olması nedeniyle 1970'li yıllara kadar metalürji sanayinde rakipsiz olarak kullanılmıştır. Bu yüzden yüzyılın ilk üç çeyreğinde kromit üretimi Alpin tip yataklardan yapılmıştır.

Ancak Alpin tip yataklarda rezerv belirleme güçlüğü ve uzun vadeli ticari bağlantıların yapılamaması gibi nedenler, stratiform tip yataklara ait krom cevherinin özellikle metalürji sanayinde kullanımına olanak sağlayan teknolojileri geliştirmeyi zorlamış; elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak da bu tip yataklardan yapılan krom cevheri üretimi giderek artma eğilimi göstermeye başlamıştır.

Alpin tip krom yataklarının sergiledikleri karmaşık yapı ilişkileri, doku özellikleri ve nispeten küçük boyutlu olmaları bunların belirgin özellikleridir.

Krom yatakları mercek, bant ya da düzensiz şekilli kütlelerden oluşmaktadır. Kromitit kütlelerinin boyu birkaç santimetreden, 100m'yi geçen uzunluğa kadar ulaşabilmekte ise de genellikle bu uzunluk 4-5 m kadardır. Kalınlıklarının ise bazı hallerde 5 m'yi geçebildiği biliniyorsa da bu değer çoğunlukla 2-3 m kadardır.

Alpin tip krom yataklarında kromitin Cr_2O_3 tenörü stratiform tiptekilere göre daha geniş bir aralıkta değişmekte, buna karşılık FeO (toplam demir) içeriği fazla değişiklik göstermemektedir. Bu tür yataklardan üretilen krom cevheri genel olarak metalürji ve refrakter sanayilerinde kullanılmaktadır (MTA, 2000).

ÜRETİM YÖNTEMİ ve TEKNOLOJİSİ

Krom yatakları, maden yatağının boyutuna ve topografyaya bağlı olarak ***açık ocak*** ya da ***yeraltı işletme yöntemleriyle*** işletilmektedirler. Geçmiş yıllarda birçok krom yatağı açık işletme yöntemiyle işletilmişse de günümüzde krom yatakları büyük çoğunlukla yeraltı işletme yöntemleriyle işletilmektedir. Açık işletmelerin boyutuyla bağlantılı olarak, işletmelerde çalışmalar el arabasından yükleyicilere ve değişik tonajlı kamyonlara kadar çeşitlilik göstermektedir. Krom yatağını oluşturan kromitit bant ve merceklerinin boyutları ve devamlılıklarıyla bağlantılı olarak yeraltı madenciliği üretim yöntemleri de uygulanmaktadır.

Açık işletme yöntemiyle işletilen bir krom yatağı, örneğin Batı Kef (Elazığ) yatağında olduğu gibi açık işletmeyle başlayıp, sonradan yeraltı işletmesine dönüştürülebilmektedir. Daha sonra işletme çalışmaları sırasında belirlenen yeni verilere dayanarak yeniden açık işletme yöntemine dönülmesine karar verildiği durumlar da söz konusu olabilmektedir. Krom madenciliğinde işletmeleri sürdürebilmek, yeni yataklar bulabilmek ve üretim faaliyetlerini planlayabilmek için uygun standartlarda yapılmış yerüstü ve yeraltı jeolojik maden haritalarına gereksinim vardır.

Krom cevheri, ocak çıkışında çoğu kez elle seçme, elekten geçirme, yıkama yoluyla gangını oluşturan silikat minerallerinin cevherin bünyesinden ayıklanması sonucu zenginleştirilebilmektedir. Ayrıca jigler, spiraller, sallantılı masalar veya manyetik ayırıcılar yöntemleri ile düşük tenörlü cevherin bünyesindeki silikat gangı temizlenerek kromit mineralinin zenginleşmesi sağlanır. Yapılan işlemlerin sonunda zenginleştirilmiş kromit elde edilmektedir.

Zenginleştirilmiş krom cevheri üretiminde en yaygın uygulama, kromit mineraliyle gangı oluşturan olivin, piroksen ve serpantin mineralleri arasındaki yoğunluk farkı esasına dayalı sallantılı masalar yöntemidir. ***Manyetik ayırma, spiraller, yüzdürme*** ve ***ağır sıvı yöntemleri*** de bazı işletmelerde kullanılan zenginleştirme yöntemleridir (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Krom cevherleri, ticari olarak yalnızca Cr_2O_3 içeriklerine bakılarak sınıflandırılabildiği gibi, kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak da sınıflandırılabilmektedir. Krom cevherleri, Cr_2O_3 içeriklerine göre birinci, ikinci ve üçüncü kalite şeklinde sınıflandırılırlar.

3.Kalite Cr_2O_3 içeriği % 40'dan az olanlar
2.Kalite Cr_2O_3 içeriği % 40-46 arasında olanlar
1.Kalite Cr_2O_3 içeriği % 46'dan fazla olanlar

Element içerikleri gözetilerek kimyasal bileşimleri ve fiziksel özelliklerine göre metalürji, kimya, refrakter ve döküm endüstrilerinde kullanıma uygun cevherler diye ayrıca sınıflandırılırlar. Krom cevherinin kimyasal bileşimini, kromit mineralinin kimyasal bileşimi ile kromitin içinde bulunduğu ve olivin, piroksen ve serpantin minerallerinden oluşan gangın kimyasal bileşimi denetlenmektedir.

Paslanmaz çelik üretim teknolojisinde AOD (Argon-Oksijen-Dekarbürizasyon) gibi ileri yöntemlerin devreye girmesi, daha düşük Cr_2O_3 içeriği ve Cr/Fe oranına sahip krom cevherlerinin göreceli olarak daha düşük kalitede ferrokrom (yüksek karbonlu ferrokrom) üretilmesinde kullanılmalarını mümkün kılmıştır. Bu gelişmeler ışığında % 40-46 Cr_2O_3 tenörlü Cr/Fe oranı 1,5/1 olan krom cevherleri yüksek karbonlu ferrokrom üretiminde kullanılabilir hale getirilmektedir. Öte yandan, düşük karbonlu ferrokrom üretiminde Cr_2O_3 tenörünün % 46'nın ve Cr/Fe oranının 3/1'in üzerinde olması koşulu hala geçerliliğini korumaktadır.

Pelletleme ve briketleme tekniklerinin krom cevherlerine de uygulanır hale gelmesi ve plazma teknolojisi, toz halindeki krom cevherlerinin ferrokrom üretiminde kullanılmasını sağlamıştır. Metalürji sanayinde kullanılan krom cevherinin ticari temelde kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Refrakter sanayinde kullanılan krom cevherinin Cr_2O_3 tenörünün % 30-40 arasında, Al_2O_3 içeriğinin % 25-32, Cr_2O_3 ve Al_2O_3 içerikleri toplamının (Cr_2O_3+Al_2O_3) % 60, SiO_2 oranının ise % 10'un altında olması gerekir. Kırılıp elenerek çeşitli boyutlara ayrılan krom cevheri manyezitle karıştırıldıktan sonra kullanım yerine göre şekillendirilir ve pişirilerek krom manyezit tuğlaları oluşturulur. Alpin tip krom yatakları, metalürji ve refrakter sanayinde kullanılan krom cevherinin geleneksel olarak üretildiği yataklardır.

Kimya sanayinde kullanılan krom cevherlerinde aranan kimyasal özellikler biraz daha esnek sınırlara sahipse de, metalürji sanayinde kullanılan krom cevherleri, satın alış fiyatının uygun olması halinde, maliyeti azaltması bakımından tercih edilebilmektedir. Döküm kumu olarak kullanılan krom cevheri, refrakter sanayinde kullanılan krom cevheri olarak da nitelendirilebilir. Bu amaçla kullanılan krom cevherinde Cr_2O_3 içeriğinin en az % 44, SiO_2 içeriğinin en fazla % 4, Fe_2O_3 (toplam demir) içeriğinin en fazla % 26 ve CaO içeriğinin en fazla % 0,5 olması gerekir. Bu kimyasal sınırlamaların yanı sıra fiziksel olarak, krom cevherinin homojen tane boylu ve köşeli olmayan düzgün tane şekilli olması gerekir.

KULLANIM ALANLARI

Krom cevheri başlıca metalürji, kimya, refrakter gereç ve döküm sanayinde kullanılmaktadır (DPT, 2000). Kromun çeşitli alaşımları; mermi, denizaltı, gemi, uçak, sahra topu ve silahla ilgili destek sistemlerinde kullanılmaktadır. Krom süper alaşımları, yüksek ısıya dayanıklı malzemelerin kullanıldığı verimi yüksek, askeri amaçlı türbin motorlarının yapımında, krom kimyasalları paslanmayı geciktirici özellikleri ile uçak ve gemi sanayinde kullanılmaktadır.

Dolayısıyla, kromit cevherindeki elementlerin miktarına göre cevher kalitesi şu şekilde belirlenmektedir:

CrO_3 miktarı yüksek olan cevherler metalurji sanayinde ferrokrom üretiminde, Cr_2O_3 yanında Al_2O_3 miktarı fazla olan cevherler refrakter sanayinde tuğla imalinde, Cr_2O_3 yanında Fe_2O_3 miktarı fazla olan ve Cr/Fe oranı 2'den düşük olan, yüksek demirli cevherler kimya sektöründe kullanılmaktadır.

Metalürji

Metalürji sanayinde ferrokrom cevherinin en önemli kullanım alanı, paslanmaz çelik yapımıdır. Ferrokrom, paslanmaz çelik metal ve silah sanayinin çok önemli bir maddesidir. Krom; çeliğe sertlik ile kırılma ve darbelere karşı direnç verir, aşınma ve oksitlenmeye karşı koruma sağlar.

Bu kapsamda kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, uçak, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliğin dayanıklılığının yanı sıra, kullanıldığı yerlere estetik bir görünüm kazandırması; bu malzemenin son yıllarda otobüslerin ve tren vagonlarının, şehir içlerinde otobüs duraklarının, cadde ve sokak aydınlatma sistemlerinde, binalarda merdiven korkuluklarının yapımında ve deniz içi petrol arama platformlarının yapımında giderek artan oranlarda kullanılmasını sağlamıştır. Kromun süper alaşımları ısıya dayanıklı, yüksek verimli türbin motorlarının yapımında kullanılmaktadır.

Metalürji sanayinde krom; ferrokrom, ferro-siliko-krom, krom bileşikleri, ekzotermik krom katkıları, diğer krom alaşımları ve krom metali şeklinde tüketilir. Son yıllarda metalürji sanayinde kullanılan kromun (krom demir alaşımları ve krom metalinin) yaklaşık % 95'i ferrokrom şeklinde, ferrokrom ise başlıca paslanmaz ve ısıya dirençli çelik yapımında tüketilmektedir. Paslanmaz çelikler % 12-40 arasında krom içerir.

Krom, çeliğe yüksek karbonlu ferrokrom şeklinde eklenmektedir. Sanayileşmiş ülkelerin gereksinimini karşılayabilmek amacıyla paslanmaz çelik üretiminin % 3-3,5 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla sanayileşmiş ülkelerde de ferrokrom talebinin bundan daha az bir hızla artması beklenmektedir. Krom metali, yüksek performans alaşımlarında, Al, Ti, Cu alaşımlarında, ısıya ve elektriğe dirençli alaşımlarda kullanılmaktadır.

Dünyanın en büyük krom metali tüketicisi ABD'dir. Uzay sanayinde önder olması nedeniyle batı dünyasının krom metali kullanımının % 55-60'ını bu ülke tüketir. Uzay sanayinde hızlı bir gelişme beklenmekle birlikte, bu alanda kullanılan yüksek performans alaşımlarında krom metali kullanımının yüksek hızla artması beklenmemektedir. Geleneksel nikel esaslı süper alaşımlar yerine, uzay sanayinde seramikler ve kompozit gereçlerin kullanımına gidilmektedir. Bu nedenle krom metali kullanımında potansiyel gelişme alanı uzay sanayi dışındadır. Diğer yandan krom alaşımlarında, alaşımın özelliğini bozmadan kullanılan krom miktarının azaltılması konusunda araştırmalar ve krom içeren malzemelerin yeniden kullanılmalarına yönelik geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Kimya

Çoğu krom kimyasalları, kimyasal kalitedeki krom cevherinden doğrudan elde edilen sodyum bikromattan üretilir. Sodyum bikromat, kromik anhidrit ve krom oksit en yaygın kullanılan krom kimyasallarıdır. Ticari olarak üretilen diğer tali bileşikler, kurşun kromat, bazik krom sülfat, sodyum kromat, potasyum bikromat, potasyum çinko kromat ve amonyum bikromattır. Krom kimyasalları paslanmayı önleyici özellikleri nedeniyle uçak ve gemi sanayinde yaygın olarak; kimya endüstrisinde de sodyum bikromat, kromik asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır.

Krom kimyasalları; metal kaplama, deri tabaklama, boya maddeleri (pigment), seramikler, parlatıcı gereçler, katalizör, boyalar, konserve kutulama, su arıtmada, sondaj çamuru ve diğer birçok alanda tüketilmektedir. Boya maddesi (pigmentler) ve deri tabakalama hem ABD, hem de Japonya'da krom kimyasalları için daralan pazarlardır. Gerek zehirleyici kurşun esaslı boya maddelerinin kullanımının yasalarla giderek artan bir şekilde kısıtlanması, gerekse organik boya maddelerinin rekabeti, boya maddelerinde sodyum bikromat kullanımını azaltmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerde krom kimyasalları kullanımında artış olan başlıca alan, ağaç malzemeleri çürümesini önleyici / koruyucu maddelerin üretimidir. ABD'de çevresel kısıtlamalar bu alanda geleneksel maddelerin kullanımını sınırlandırmaktadır. ABD'de 1980'lerin sonlarında ağaç çürüme önleyicileri üretiminde krom kimyasalları kullanımında yıllık artış hızı % 10 olmuştur.

Refrakter

Refrakter özellikteki krom cevheri, çelik üretiminde yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın yöntemiyle çelik üretiminin azalması, kromun refrakter amaçlı kullanımını da olumsuz yönde etkilemiştir. Krom cevherinin metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayinde kullanımları ve bu alanlara göre kullanım oranları ayrıntılı olarak sadece Japonya, Fransa ve ABD için bilinmektedir. Kromun refrakter sanayindeki kullanımında, ABD'deki çelik üretimi teknolojisindeki gelişmeler sonucu, 1980'lerden itibaren bir azalma gözlenmektedir. Örneğin 1980'lerin ortalarında refrakter kromit kullanımı ortalama % 17 iken, günümüzde % 8 düzeyine düşmüştür. Bu değişimin sebebi ise, ABD çelik üretiminde "Open heart" açık ocak yönteminden AOD (Argon-Oksijen-Dekarburizasyon) yöntemine geçilmesi sonucu, magnezyum-krom refrakterlerinin yerini magnezyum karbon (Mg-Carbon) refrakterlerinin almasıdır.

Türkiye ise ürettiği ferrokromun tamamına yakın bölümünü ihraç etmekte, ancak 1000 ton'luk kısmını yurt içinde tüketmektedir. Krom cevherinin sanayideki kullanım alanlarına göre kimyasal bileşimi ile ilgili sınırlamalar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. *Krom cevherinin kullanım alanlarına göre sınırlanması* (DPT, 1993; Yılmaz, 2009).

A- Metalürji	a) Cr_2O_3	= % 34-40	Cr/Fe > 2.5 (Parça)
	b) Cr_2O_3	> % 40	Cr/Fe > 2 (Parça)
	c) Cr_2O_3	= % 46-48	Cr/Fe > 2.6 (Konsantre)
	d) Cr_2O_3	> % 36	0-25 mm (yıkanmış toz)
B- Kimya	Cr_2O_3	> % 40	Cr/Fe > 1.5 (Konsantre)
C- Refrakter	a) Cr_2O_3	> % 48	SiO_2 < % 4 (Parça)
	b) Cr_2O_3+Al_2O_3	> % 60	SiO_2 < % 4 (Parça)
	c) Cr_2O_3	> % 46	SiO_2 < % 1 (Konsantre)
	d) Cr_2O_3	> % 50	SiO_2 < % 2 (Konsantre)
D- Döküm kumu	Cr_2O_3	> % 44	SiO_2 < % 4
	Fe_2O_3	< % 26	CaO < % 0.5 (Konsantre)

Dünya krom cevheri üretimi ve ferrokrom üretimi ile bunların ihracat ve ithalat verileri incelendiğinde, krom cevheri üreten ülkelerin büyük bir çoğunluğunun ürettikleri krom cevherini ferrokroma dönüştürerek ihraç ettikleri görülmektedir. Dünya'da ve ülkemizde 2019 ve 2020 yıllarına dair üretim ve rezerv verileri Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. *Dünya krom cevheri üretimi ve rezervleri* (MCS, 2022).

	2019 üretimi (1000 ton)	**2020 Üretimi (1000 ton)**	**2020 rezerv 45% Cr_2O_3 (1000 ton)**
ABD	0	0	620
Finlandiya	2415	2290	13000
Hindistan	4139	2500	100000
Kazakistan	6700	7000	230000
Güney Afrika	16395	13200	200000
Türkiye	10000	8000	26000
Diğer ülkeler	5110	3980	Belli değil
Dünya toplamı	44800	37000	570000

Oysa, ülkemizde 20. Yy'ın sonunda krom cevherinin, krom bileşikleri ve ferrokrom tesisleri dışında yurtiçi kullanımı, refrakter sanayinde 15.000 ton/yıl ve döküm sanayindeki 1000 ton/yıl düzeyinde idi. Aynı dönemde 2.000.000 ton/yıl tüvenan krom cevheri ile 160.000 ton/yıl ferrokrom üretim kapasitesi vardı. Bu durumda

Türkiye'nin ferrokrom tesislerini tam kapasiteyle çalıştırması; hatta ek tesislerle yıllık ferrokrom üretim kapasitesini arttırması gerektiği öngörülmekteydi (MTA, 2000).

Ülkemizdeki krom işletmecileri, genellikle pazar koşullarının elverişsiz olduğu dönemlerde, zorunlu olmadıkça stok için üretim yapmak yerine, üretimi yavaşlatıp veya durdurarak kriz dönemini atlatmaya çalışır. Ancak gerek bankalar nezdinde finans sorunları ve gerekse de mevcut kadroların dağıtılmaması için belirli bir stok birikimi ile bir sonraki yıla geçmek zorunda kalınabilir.

Plazma teknolojisiyle çalışan ferrokrom tesislerinde de yoğunlaştırılmış krom cevheri kullanıldığı bilinmektedir. Yüksek tenörlü parça cevher bulmanın güçleştiği Türkiye'de, gelecekte kurulabilecek ferrokrom tesislerinin yoğunlaştırılmış cevher kullanabilecek teknolojiye göre planlanması uygun bir yaklaşım olarak görülmektedir.

ÇEVRE SORUNLARI ve ÇÖZÜM YOLLARI

Ülkemiz, önemli bir kromit cevheri potansiyeli ve krom ürünleri üreticisi olmasına karşın, kromit madenciliğinin ileri düzeyde olduğu söylenemez. Kromit madenciliğinin çok sınırlı bir bölümü ***açık ocak*** (Şekil 2), diğer kesimi ise ***yeraltı işletmeleridir***. Ocak işletmeciliğinin her iki türünde görüntü kirliliği kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Cevher zenginleştirme evresinde ise flotasyon uygulandığında atık suların uzaklaştırılmasında çeşitli sorunlar yaşanmaktadır (Yılmaz, 2009). Bu sorunları aşmanın bir yolu da işletmenin cevher zenginleştirme biriminin yanı başında atık barajı ve havuzunun tasarlanmasıdır (Karadeniz, 1996). Şekil 3' de atık barajı ve havuzunun çeşitli bölümleri görülmektedir.

Şekil 2. *Bir açık ocak krom işletmesinden genel görünüm.*

Ayrıca krom madenciliğinde emek-yoğun üretim biçimi benimsenmiştir. Bu nedenle ülkemizde verim düşük, buna karşılık işçilik maliyeti ve genel maliyetler, krom üreticisi diğer ülkelere göre daha yüksektir. Krom madeni aramacılığının diğer madenlere göre çok daha zor olduğu da bilinen bir gerçektir. Kuramsal değerlendirmeler jeofizik yöntemlerin krom aramacılığına yardımcı olabileceğini işaret etmekteyse de gerek Dünya'nın çeşitli ülkelerinde gerekse Türkiye'nin çeşitli yörelerinde krom aramacılığına yönelik olarak yürütülen jeofizik çalışmalar başarılı olamamıştır. Yeni geliştirilen jeofizik yöntemleri kullanarak ya da bu yöntemlerin krom aramasında uygulanabilirliğine yönelik araştırmalarının yapılmasında yarar görülmektedir (Karadeniz, 1996; Yılmaz, 2009'dan).

Şekil 3. *Atık barajı ve havuzundan genel bir görünüm* (Karadeniz, 1996).

Krom yataklarının tahrip edildiği, yüzeyde kolayca bulunabilecek krom yataklarının işletildiği Türkiye'de, bundan sonra krom yataklarının gerek bulunmaları gerekse işletilmeleri için geçmişe oranla daha çok uzmanlık, daha çok emek ve para gerekecektir. Ayrıca, ormanlık alanlarda yapılan kesimlerde orman idarelerinden gerekli yasal izinlerin alınması gerekmektedir.

25 hektar ve üzeri alanlarda metallere dair yapılan projeler ile metal sanayi tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 faaliyetler listesinde yer almaktadır. Bu tür projeler için kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanması zorunluluğu vardır. Ayrıca kromun gerek üretim süreçlerinde gerekse cevher zenginleştirme süreçlerinde, kullanılan kimyasallar nedeniyle, kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanmasında yarar vardır.

Öte yandan, madencilik faaliyetlerini geliştirmek üzere, çevre mevzuatının belirlediği hükümler uygulanabilir ve çevreyi koruyabilir hale getirilmelidir. Çevresel etkiyi önleme, azaltma ve yeniden düzenleme amacıyla yapılan harcamaların, Çevre Fonu'ndan karşılanması için çaba harcanmalıdır. Ayrıca krom üretimine dair yatırımların verimliliğini sağlayabilmek için, krom üreten tesislere ucuz enerji verilmesi sağlanmalı ve sektörde uluslararası düzeyde rekabet gücü geliştirilmelidir.

SONUÇLAR

Türkiye krom yataklarının ana kayası ofiyolitlerin büyük oranda yüzeylendiği bir ülkedir. Krom yataklarının ülke genelinde yayılımına bakıldığında bu gerçeklik açıkça görülmektedir. Şekil 4'e krom yataklarının ülke genelindeki yayılımı ve tanımlanan yatakların boyutları sunulmuştur. Krom yatakları başlıca Muğla, Burdur ve Denizli bölgesi (Karaismailler, Üzümlü-Sazlı, Biticealan, Kazandere, Kandak); Elazığ (Guleman) bölgesi (Batı Kef, Doğu Kef, Sori, Kapin); Sivas- Erzincan – Tokat bölgesi (Kop dağı, Artova ve Kızıldağ yatakları); Adana – Mersin-Kayseri bölgesi (Aladağ, Pınarbaşı, Tarlaocak); Eskişehir – Bursa bölgesi (Başalan, Miran-Hudut, Koca, Karıncalı, Kırocak, Karaburhan, Kavak); Antalya ve Kahramanmaraş (Kızıldağ) bölgesinde bulunmaktadır.

Ayrıca, Türkiye'de artan üretim ve ihracata bağlı olarak krom zenginleştirme tesisleri kurulmuştur. Ancak krom zenginleştirme tesisleri kurulurken, yeterli ön incelemelerin yapılması gerekmektedir. Cevherin niteliğine uygun teknoloji seçilmeli ve krom kazanım verimi ve kapasite kullanımları artırılmalıdır. Bu konuda gerekli önlemler alınmazsa işletmelerin maliyeti daha da artar. Ek olarak, nitelikli elemanların yetiştirilmesi çok önemlidir. Çoğu zenginleştirme üniteleri yeterli rezerv çalışmaları yapılmadan kurulmuş, dolayısıyla Anadolu'da birçok tesis atıl hale gelmiştir.

Türkiye'de ferrokrom üretim maliyetlerinde enerjinin payı oldukça fazladır. Bu pay krom ihracatçısı ülkelerdeki oranın çok üstündedir. Ülkemizdeki maden ocaklarının eski teknolojilerle işletilmesi, maden sektörünün geri kalmasına ve milli gelir içindeki payının giderek azalmasına neden olmaktadır. Krom ürünlerinden hammadde olarak değil de yarı mamul ve mamul madde haline dönüştürülerek yararlanılması, ülkemiz madencilik ihracatını önemli ölçüde artıracak, istihdam kapasitesini büyütecek, kırsal kesimin büyük şehirlere göçünü azaltacak, ayrıca yan sanayi ve yan hizmetlere de iş olanağı yaratacaktır.

Şekil 4. *Türkiye Krom madeni haritası* (https://www.milliyet.com.tr/egitim/haritalar/turkiye-krom madeni-haritasi-krom-nedir-turkiyede-nereden-krom-cikarilir-nasil-kullanilir6310936).

Gelişen teknoloji ile birlikte giderek artan refah seviyesi, dünya nüfusundaki artışla bir araya geldiğinde kaçınılmaz olarak maden ürünlerine olan talebi de artırmıştır. Bu durum, diğer ülkelerde olduğu gibi, Türkiye'de de krom cevheri de dâhil, mevcut madenlerin hızlı bir şekilde üretilip tüketilmesine yol açmıştır.

Öte yandan, krom madeni işletmeciliğinde çıkarılması daha kolay, maliyet düşük ve ekonomik getirisi daha yüksek olduğu için derinliği az tenörü yüksek olan yataklara öncelik verilmiştir. Bu yüzden geçen süre içinde bu niteliklere sahip cevher yatakları hızla tüketilmiş ve yerlerini daha derin ve/veya daha az zengin cevherlerin bulunduğu yataklara bırakmıştır. Geçmişte bütünüyle bir ihraç ürünü olan krom madeni, yine ham cevher olarak ihraç edilmekle birlikte, önemli bir bölümü Elazığ ve Antalya' da kurulu krom işleme tesislerinde işlenmektedir. Krom madenciliğine yönelik her türlü planlamada bu gerçeklerin göz önünde tutulması gerekmektedir.

Krom madenciliğinde de kullanılmış kroma içeren malzemelerin geri dönüşüm yolu ile yeniden değerlendirilmesine özen gösterilmelidir (Yılmaz, 2009).

TEŞEKKÜR

Bu bölüm, değerli meslektaşlarım Tandoğan Engin ve Yavuz Ulutürk tarafından irdelenmiştir. Yapılan öneriler ve eleştiriler konunun daha iyi bir düzeye ulaşmasını sağlamıştır. Kendilerine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

DPT, 2000, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler Alt komisyonu, Krom Çalışma Grubu Raporu; Ankara,70 s.

Gümüş, A., 1998, İç Olaylara Bağlı Maden Yatakları. Bilim Ofset, Bornova, İzmir, 481s.

Gümüş, A., 1999, Dış Olaylara Bağlı Maden Yatakları, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No 276, Bornova-İzmir, 210s.

https://www.milliyet.com.tr/egitim/haritalar/turkiye-krom-madeni-haritasi-krom-nedirturkiyede-nereden-krom-cikarilir-nasil-kullanilir-6310936).

Karadeniz, M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Atıkları, Çevreye Etkileri ve Önlemler, MTA Genel

Müdürlüğü Cevher Zenginleştirme Servisi Raporu, İstanbul, s. 21-37, 174-325.

MCS, 2022, Mineral Commodity Summaries (MCS).

MTA, 1994, Mineraller, Ankara, 72 s.

MTA, 1995, Sivas İli Doğal Kaynaklar Envanteri, Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü Doğal Kaynaklar Envanteri, Cilt I, Sivas, 275 s.

MTA, 2000, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Genel Endüstri Mineralleri, Cilt II, Ankara, 76 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348 s.

Bölüm 3, SANAYİ HAMMADDELERİ

Sanayi hammaddelerinin başlıca örnekleri, killer (özellikle kaolin ve bentonit), zeolitler, evaporitler (özellikle alçıtaşı, borat ve trona), mermer, diyatomit, ponza, perlit, asbest ve diğerleri sayılabilir. Sanayi hammaddelerinin aranması, işletilmesi ve zenginleştirme evrelerinde önemli çevresel sorunlar yaşanmamaktadır. Dolayısıyla çok büyük işletmeler hariç, diğer işletmeler için ÇED'in Seçme- Eleme ölçütleri uygulanmaktadır.

Üretim süreçlerinde ortaya çıkan çevresel sorunlar büyük ölçüde denetlenebilmektedir. Ancak asbest gibi, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan hammaddeler, kentsel dönüşüm sırasında bile doğrudan temel ÇED süreçlerine titizlikle uyarak değerlendirilmelidir. Killer ve özellikle zeolitler ise çevre sorunlarını yaratmaktan çok, çevre sorunlarının çözümünde kullanılan önemli kaynaklardır.

Sunulan bu bölümde, ülkemizde yaygın olan önemli bazı sanayi hammaddeleri ele alınmaktadır. Genel çerçevede sanayi hammaddelerinin tanımı, özellikleri, oluşumları, kullanım alanları, ortaya çıkan çevresel sorunlar ve bu sorunların denetimiyle ilgili konularındaki temel bilgiler sunulmuştur.

YASAL ÇERÇEVE

25 hektar ve üzeri alanlarda uygulanan projeler ile sanayi tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 faaliyetler listesinde yer almaktadır. Ayrıca fiziksel yöntemler hariç, cevher zenginleştirme tesisleri de bu listede yer almaktadırlar. Bu projelere, ÇED Genel Formatı uygulanmaktadır. Madencilik (EK-1 listesinde yer almayan; arama ve cevherin çıkarılması gibi faaliyetler) ile fiziksel cevher zenginleştirme tesisleri ise EK-2 listesinde yer almaktadır. Bu projeler için Proje Tanıtım Dosyasının hazırlanması yeterlidir.

Sanayi hammaddelerinin üretim ve kullanım evrelerinde, metalik madenler düzeyinde çevresel etkiler beklenmemektedir. Ancak, bu gruptaki malzemelerden, mermer, asbest ve evaporitler için gerek üretim süreçlerinde gerekse kullanım evrelerinde gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir. Yukarıda sunulan bilgi çerçevesinde, sanayi hammaddeleri ilgili kümülatif ÇED'in de hem arama ve cevherin çıkarılması hem de sanayi tesislerinin çevresel etkileri dikkate alınarak uygulanması ve projelerin gerçekleştirilmesi gerektiği açıktır. Sanayi hammaddelerinin çevresel etkileri derken de kümülatif etkilerin anlaşılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

3. 1, KİLLER

GENEL BİLGİLER

Dünya'da bilinen hammadde rezervlerinin giderek azalması, insanları yeni hammadde yataklarının aranmasına, bilinenlerin en iyi biçimde değerlendirilmesine yöneltmektedir. Bir yandan maden işletme yöntemlerindeki yenilikler konusunda araştırmaların yapılması, diğer yandan yeni yatakların bulunmasında çağdaş yöntemlerinin izlenmesi kaçınılmaz olmuştur. Bunun nedeni, çeşitli ülkelerin bilimsel ve teknik alanda en ekonomik yöntemleri belirlemede bir yarış içinde olmasıdır. İnsanoğlunun Dünya'ya egemen olma çabalarının yanı sıra, yeryüzünde en yaygın jeolojik gereçlerden olan killerin doğrudan ve dolaylı kullanımı ve bu kullanıma ilişkin sorunlar her geçen gün giderek artmaktadır (Yılmaz, 2009).

Killer, önemli bir çevre kaynağı olup, özellikle seramik endüstrisi, çinicilik, heykeltıraşçılık ve diğer teknolojik üretim içindeki önemi ve yeri nedeniyle, sürekli gereksinim duyulan bir gereçtir. Ayrıca killi topraklar, pekleştirici özellikleri nedeniyle Yakındoğu ve Ortadoğu'da ilaç olarak kullanılmıştır. Bu bölümde ağırlıklı olarak kaolin/kaolin ve bentonit ele alınmıştır.

Kil minerallerinden kaolin, İngiltere'de 1755 yılında keşfedilmiş ve 1758 yılında kaolinin kullanıldığı ilk porselen fabrikası kurulmuştur. Türkiye'de ise günümüzden yaklaşık 130-140 yıl önce bir çini fabrikası kurulmuş ve daha sonra kapatılmıştır.

Diğer önemli kil malzemesi bentonittir. Özellikle, kullanım alanlarının yaygınlığı nedeniyle bentonit sanayi, II. Dünya savaşından sonra hızlı bir gelişme göstermiş ve buna koşut olarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Killeri oluşturan mineraller üzerinde son 25 yıldan beri çeşitli yöntemlerle çalışılmakta, bileşimleri, oluşumları ve doğada bulunuş biçimleri, kökenleri, başlıca özellikleri ve ekonomik değerleri ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir.

Tanımlamalar

Jeolojik olarak kil, kimyasal bileşimi sulu alüminyum ve/veya magnezyum silikat olan, tane boyu çok küçük (<2 mikron) ve plastik özelliklere sahip doğal bir gereç olarak tanımlanabilir. **Mühendislikte ise kil**, ana bileşimi yine sulu alüminyum silikat ile bazı silikat ve karbonat gibi yabancı maddelerden oluşan, plastik ve kohezif özelliğe sahip, kuruduğu zaman büzülen, ıslandığı zaman şişen ve sıkıştırıldığı zaman suyunu dışarı atabilen (konsolide olan), kolloyidal tane boyutundaki ince dokulu toprak malzeme olarak tanımlanmaktadır (Kasapoğlu, 1989).

Kilin tanımlanması ve kullanımı sırasında sunumu kolaylaştırmak amacıyla pek çok terim kullanılmaktadır. Örneğin, **kohezif**, bitişik ya da yapışık (temas etmekte) olma anlamında kullanılmaktadır. Çökellerin gözeneklilik oranında ($e=V_e/V_s$) üzerindeki yük etkisiyle oluşan azalma, jeologlar tarafından **"tıkızlaşma"**, diğer mühendisler tarafından da **"konsolidasyon"** olarak tanımlanmaktadır. Oluşum mekanizmaları bakımında birbirine çok benzeyen bu iki süreç arasındaki fark tıkızlaşmanın kuru, konsolidasyonun sulu ortamda olmasıdır.

Bentonit, volkanik kül ya da tüf gibi, camsı volkanik gereçlerin kimyasal ayrışmasıyla ortaya çıkan ve genel olarak, son derece küçük kristaller halindeki montmorillonit grubu kil minerallerinden oluşan, büyük ölçüde kolloyidal silis içeren, yumuşak, şekillenebilir, gözenekli ve açık renkli bir kayatürüdür. Bentonit yatakları, ticari anlamda suyla temasa geçince şişebilen ve başlıca montmorillonit grubu kil minerallerinden oluşan, asitle aktifleştirilebilen, sondaj çamurlarını koyulaştıran ve geniş bir yüzey alanı gösteren çeşitli renklerdeki kil yataklarıdır (Akbulut, 1996). **Kaolin** ise, kaolinitten ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) oluşan alüminyum hidrosilikat bileşimli bir kil mineralidir (MTA, 1998; Çağlar ve diğerleri, 2001).

Sınıflandırmalar

Killerin sınıflandırılması çeşitli özellikler göz önünde tutularak yapılmaktadır. Jeolojide, tarımda ve sanayide, kullanım amaçlarına, oluşumlarına ve kimyasal bileşimlerine göre ya da bunların birkaçının

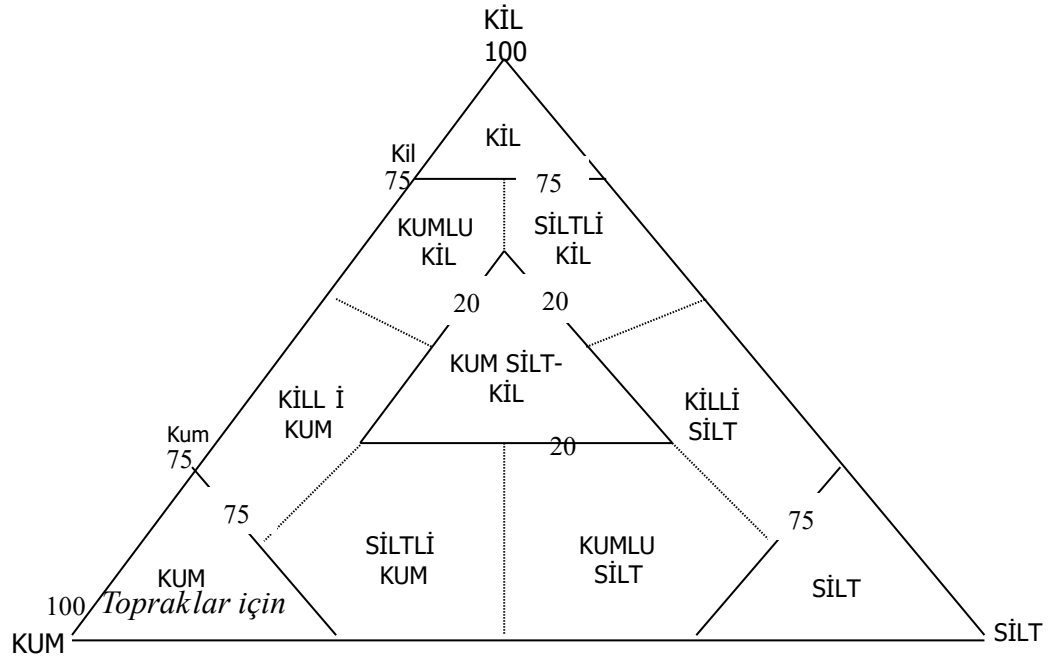
gözetilmesiyle yapılan sınıflandırmalar vardır. Her sınıflandırmada gözetilen özellikler farklıdır. Aşağıda bu sınıflandırmaların bazıları sunulmuştur (Yılmaz, 2009).

Jeolojik sınıflama

Killerin jeolojik sınıflandırılmasında, kilin oluşum biçimleri esas alınır. Oluşumlarına göre killer önce iki gruba ayrılır. Bunlar; yerli killer ve taşınmış killer olarak adlandırılmaktadır. Yerli killer, çoğunlukla ana kayanın kimyasal ve fiziksel (mekanik) bozunmasının ürünüdürler ve pek çok bakımdan ana kayaya büyük benzerlik gösterirler. Taşınmış killerin oluşumunda ise yer çekimi, su, buzul ya da rüzgârın önemli etkileri vardır.

Ayrıca jeolojik sınıflama esas alındığında kiltaşı; su içinde çökelmiş ve tıkızlaşmış kili, çamurtaşı; aynı zamanda silt ve kum tane boyunda gereçler de içeren kili, şeyl; katmanlamaya koşut ince laminalı yapıya sahip kili, lütit; su ile karıştığı zaman çamur oluşturan kil ve silt boyu malzemeyi belirtmektedir. Kil, silt ve kum tane boyundaki malzemelerden oluşan çökellerin jeolojik sınıflaması ise Shepard (1954) tarafından, bu malzemelerin birbirlerine göre oranı esas alınarak yapılmıştır (Şekil 1).

Ayrıca, boulder kili (till); buzullarla aşınmış, bu nedenle bazen buzul izlerini de taşıyan çakıllıkumlu-siltli çökelleri temsil etmektedir. Varvlı kil; buzul gölleri tabanında oluşan, birbirini izleyen kalın ve ince kum-silt ve kil katmanlarını içeren çökellerdir. Kaya unu (rock flour); kil tane boyundaki (<2 mikron) minerallerden oluşan ve kendine özgü belirgin mühendislik özellikleri olan buzul çökellerini, lös; rüzgârla taşınmış silt, kil ve ince kumdan oluşan masif (katmansız) açık kahverengimsi sarı renkli gereçleri tanımlamaktadır.



Şekil 1. Topraklar için üçgen sınıflama abağı (Kasapoğlu, 1989 ve içindeki kaynaklar).

Seramik sınıflaması

Seramik mühendisliğinde ve malzeme bilimindeki değişik kil türleri aşağıda sunulmuştur:

1. Porselen kili (china clay); beyaz renkli kaolinit olarak tanımlanır. Beyaz porselen, özel refraktörler ve yalıtıcıların yapımında kullanılır.
2. Top kil (ball clay); kaolinitle birlikte montmorillonit içerir. İnce tane boyunda ve yüksek plastisiteye sahiptir. Porselen kiline oranla daha koyu kirli beyaz renktedir.

3. Refrakter kil (refractory clay); değişik türleri olan bu kilde 1500 °C'den düşük sıcaklıklarda füzyon olayı gerçekleşmez. Yüksek oranda aluminyum içerir. Genelde yumuşama sıcaklıklarına göre sınıflandırılır. İşlenebilirlik ise bir başka sınıflama ölçütüdür.
4. Çakmaktaşı kili (flint clay); çok sert ve su ile karıştırıldığı zaman bile plastikleşmeyen bir kil türüdür.
5. Plastik ateş kili (plastic fire clay); su ile karıştırıldığı zaman yumuşayan ve işlenebilir hale gelen kil türüdür.

Pedolojik sınıflama

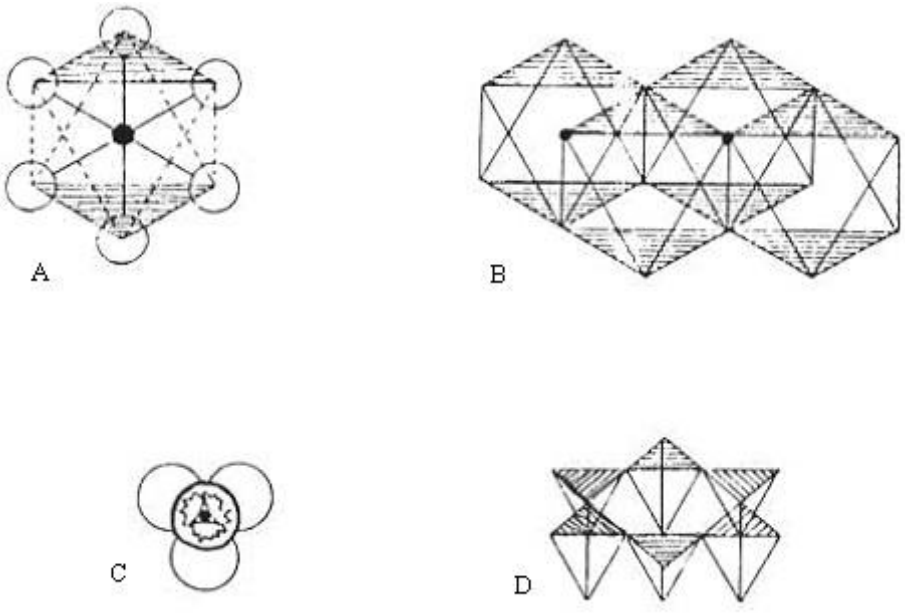
Toprak bilimciler, yerkabuğunun yüzeyden itibaren bozunmaya uğramış en üst kısmını ana kaya ile birlikte olan kesitine "toprak profili" olarak adlandırırlar. Toprak profili, renk, doku, yapı ve derinlikle değişen kimyasal bileşim gibi ölçütlere göre A-zonu, B-zonu ve C-zonu gibi bölümlere ayrılır. Bu zonların her biri de kendi içinde (A1, A2, B1, B2... gibi) alt bölümlere ayrılmaktadır (Kasapoğlu, 1989). Toprak profilinde killer, B zonunda yer alırlar. Şekil 2'de toprak profilinde ayırt edilen horizonlar, killerin konumu ve yeraltı sularının devinimi arasındaki ilişkiler görülmektedir. Yeraltı sularının devinim yönü oklarla gösterilmiştir. Katı kil, kil zonunun geçirimsiz olan düzeyini temsil etmektedir.



Şekil 2. Bir toprak profilinde yer alan horizonlar, pedolojik sınıflamada killerin konumu ve yeraltı suyunun devinimi arasındaki ilişkiler (Yılmaz, 2008 ve içindeki kaynaklar).

Kristal yapılarına göre sınıflama

Killer kristal yapılarına göre, oktahedral grup, bağlantılı oktahedral, tetrahedral grup ve bağlantılı tetrahedral grup olmak üzere ayrılmaktadır. Oktahedral grupta hem "sheet structure" diye bilinen ince-katmanlı yapı hem de "layer structure" diye bilinen kalın-katmanlı yapı görülür. Tetrahedral grupta ise ince katmanlı yapı yer alır. Şekil 3'de killerin ana kristal yapıları, Çizelge 1'de ise killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması sunulmuştur.



A- Oktahedral grup, B- Bağlantılı oktahedral, C- Tetrahedral grup, D- Bağlantılı tetrahedral

Şekil 3. Killerin ana kristal yapıları (Kasapoğlu, 1989 ve içindeki kaynaklar).

Çizelge 1. Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırması (MTA, 1998 ve içindeki kaynaklar).

Katman	Grup	Tür
2 katmanlı olanlar	Kaolinit Grubu a) Eş boyutlu olanlar b) Bir yönde uzamış olanlar	Kaolinit, Dikit, Nakrit Halloysit
3 katmanlı olanlar	Smektit Grubu İllit Grubu Vermikülit Grubu	Montmorillonit Baydellit, İllit Vermikülit
4 katmanlı olanlar	Klorit Grubu	Klorit
Zincir yapısı olanlar	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit Atapulgit Paligorskit

Endüstriyel kullanımlarına göre sınıflama

Killer, endüstriyel kullanımlarına göre kaolin; plastik kil, bentonit, ateş tuğlası killeri olarak adlandırılmaktadır.

Mühendislik sınıflaması

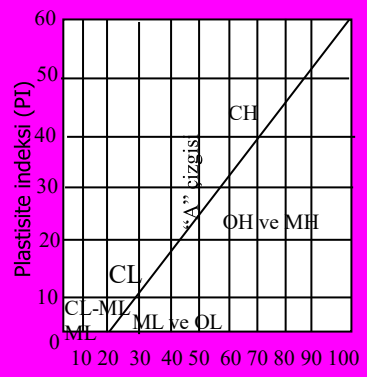
Bugüne dek değişik araştırmacılar tarafından killer yönelik birçok sınıflama sistemi önerilmiştir. Çizelge 2'de inşaatçılar ve yerbilimciler tarafından yaygın olarak kullanılan killerin jeomühendislik sınıflaması sunulmuştur. Bu sınıflamaya temel olan bazı mühendislik özellikleri ise aşağıda sunulmuştur:

1.Dilatansy (sallanmaya karşı tepkime)

2.Kuru dayanım (dry strenqth)

Çizelge 2. Killerin jeo-mühendislik sınıflamasındaki yeri (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Ana bölümler			Grup simgeleri		Tipik adlandırma	Laboratuvarda sınıflama ölçütleri		
İri taneli zeminler Malzemenin yarıdan fazlası 200 no'lu elek açıklığından daha büyük)	Çakıllar İri taneli malzemenin yarıdan fazlası 4 no.lu elek açıklığından daha büyük)	Salt çakıl (ince malzeme çok az veya hiç yok)	GW		İyi derecelenmiş çakıl, çakılkum karışımı, ince malzeme çok az veya hiç yok	Tane boyu eğrisinden kum ve çakıl yüzdelerini saptayınız. 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.....GWi GC, SM, SC % 5-12 aras ı.....sınır zonundaki malzeme (**)	Cu=D_{60}/D_{10}>4; Cg= $(D_{30})_2/D_{10}xD_{60}$ 1 ve 3 arası	
			GP		Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımı, ince malzeme çok az veya hiç yok		GW için gerekli derecelenme koşullarının hiçbirini karşılamaz	
		İnce malzemeli çakıl önemli miktarda ince malzeme içeriyor)	GM*	d u	Siltli çakıl, çakıl-kum-silt karışımı		Atterberg limitleri "A" çizgisinin altında ve PI<4	"A" çizgisinin üstünde ve PI 4 ile 7 arasında sınır zonunu oluşturur; (**) simgesinin kullanılması gerekir.
			GC		Killi çakıl, çakıl-kum-silt karışımı		Atterberg limitleri "A" çizgisinin üstünde veya PI>7	
	Kumlar İri taneli malzemenin yarıdan fazlası 4 no.lu elek açıklığından daha küçük)	Salt kum İnce malzeme çok az veya hiç	SW		İyi derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az veya hiç yok		Cu= D_{60}/D_{10}>6; Cg= $(D_{30})_2/D_{10}xD_{60}$ 1 ve 3 arası	
			SP		Kötü derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az veya hiç yok		SW için gerekli derecelenme koşullarının hiçbirini karşılamaz	
		İnce malzemeli önemli miktarda ince malzeme içeriyor)	SM*	d u	Siltli kum, kum-silt karışımı		Atterberg limitleri "A" çizgisinin altında ve PI<4	Taralı zon içinde ve PI 4 ile 7 arasında sınır zonunu oluşturur; (**) simgesinin kullanılması gerekir.
			SC		Killi kum, kum-kil karışımı		Atterberg limitleri "A" çizgisinin üstünde ve PI>7	
	Siltler ve killer Likit limit (nin altında 50		ML		İnorganik silt ve çok ince kum, kayaç unu, siltli veya killi ince kum veya plastisitesi düşük killi silt			
			CL		Plastisitesi düşük veya orta inorganik kil, kumlu kil, siltli kil, zayıfkil			
			OL		Organik silt ve plastisitesi düşük organik siltli kil			
	Siltler ve killer Likit limit (nin üstünde 50		MH		İnorganik silt, mikalı veya diyatomeli, ince kumlu veya siltli toprak, elastik silt			
			CH		Plastisitesi yüksek inorganik kil, şişen kil			
			OH		Plastisitesi orta veya yüksek organik kil, organik silt			

İnce taneli zeminler Malz emenin yarıdan fazlası 200 no'lu elek(açıklığından daha düşük)	Organik zeminler	Pt	Turba ve oldukça organik diğer zeminler	 PLASTİSİTE ABAĞI

*GM ve SM'nin alt grupları olan d ve u salt karayolları ve hava alanları içindir. LL<28 ve PI<6 ise "d", LL>28 ise "u" simgesi kullanılır. ** İki bileşik grubun özelliklerini gösteren sınır zonundaki zeminler için kullanılır ve her iki grup, simgesi birlikte yazılır (örneğin: GW-GC: kil çimentosu ile karışık iyi derecelenmiş çakıl-kum). Bu zeminlerin (ML-OH) kuru dayanımlılıkları, genleşme ve sağlamlılık özellikleri de derecelendirilmiştir.

3.Tane özgül ağırlığı (Gs)
4.Doğal birim ağırlığı (γn)
5.Doğal su içeriği (Wn)
6.Doyumluluk derecesi (Sr)
7.Atterberg sınırları
- sıvılık sınırı (LL)
- plastik sınırı (PL)
- büzülme sınırı (SL)
- doyumluluk sınırı (Wg)

8.İndeks değerleri
- plastisite indeksi (PI)
- sıvılık indeksi (LI)
- sıkışma indeksi (Cc)
- şişme indeksi (Cs)

9.En büyük hacimsel değişimi (Vmax)
10.Aktivite sayısı (A)
11.Önyükleme basıncı (Pc)
12.Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı (Mv)
13.Konsolidasyon katsayısı (Cv)
14.Geçirimlilik katsayısı (h)
15.Gözeneklilik oranı (e)
16.Büzülme oranı (SR), v.d. (Kasapoğlu, 1989).

KİLLERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Killerin tanımlanması, temel özellikleri, köken ve oluşumları ile kullanım alanlarına dair ulusal ve uluslararası düzeyde pek çok yayınlar yapılmıştır (Grim, 1962; Gillot, 1968; Velde, 1992; Önem, 1997; Karakaya ve Karakaya, 2001). Bu çalışmalara kolaylıkla ulaşılabilir.

Örneğin, alüminyum ve/veya magnezyum silikatlardan oluşan, ince taneli, doğal toprağımsı materyale genel olarak kil adı verilir. Yüksek kaliteli kil yataklarının oluşumunda, humus asitli sular büyük rol oynamaktadır. Bu asitlerin, feldispat artıklarını kaolinleştirmesi killerin refrakter özelliğini bozan maddeleri eritmesi ve renkli oksitleri uzaklaştırması, killerin kalitesini yükseltmektedir. Killer organik ve

organik olmayan maddeleri içerirler. Kil en fazla içerdiği minerale göre kaolin, smektit, illit, klorit ve sepiyolit gibi çeşitli gruplara ayrılmaktadır. SiO_2 ve Al_2O_3 tetraederleri, katmanlar meydana getirmek üzere birleşirler ve çeşitli özelliklerde kil minerallerini meydana getirirler.

Kil, türüne göre Mg ve Al'un yanı sıra Fe gibi diğer elementleri de içerir. İnce taneler, 2-5 mikron ya da daha küçük olduğundan gözle ya da normal mikroskopla ayırt edilmeleri olanaksızdır. 100.000 defa büyütme ile elektron mikroskopta resimleri çekilmekte, X ışınlarıyla, içyapısı belirlenen killerin sıcaklığa bağlı olarak değişiklikleri Diferansiyel Termal Analiz (DTA) aletleri ile ölçülmekte ve kil türleri kesin olarak belirlenebilmektedir. Killerin ergimesi 1150 ^oC'den 1785 ^oC'ye kadar olan sınırlar arasında değişmektedir (Karaman ve Kibici, 1999 ve içindeki kaynaklar).

Killer, katı, sıvı ve gaz fazlarını içeren çok bileşenli sistemlerdir. Katı faz, genellikle çok kristallidir. Kristalin bileşenler inorganik minerallerden ya da organik ve amorf içeriklerden oluşur. Killerde inorganik mineraller katı fazın %90'ını oluştururlar. Ancak bu oran, bazen örneğin "peat" gibi organik çökellerde %5'e kadar düşebilir.

Killer, katı, sıvı ve gaz fazlarını içeren çok bileşenli sistemlerdir. Katı faz, genellikle çok kristallidir. Kristalin bileşenler inorganik minerallerden ya da organik ve amorf içeriklerden oluşur. Killerde inorganik mineraller katı fazın % 90'ını oluştururlar. Ancak bu oran, bazen örneğin "peat" gibi organik çökellerde % 5'e kadar düşebilir.

Killer toprakların yüzeye yakın kesimlerinde katı faz, toplam toprak hacminin yaklaşık % 50'sini oluşturur; geri kalan kısım ise hava, su ve toprak çözeltileridir. Sıcak iklim bölgelerinde, killerin oksijen miktarı, güneyde % 20 gibi bir değerden, 70 cm derinlikte % 3 gibi çok düşük bir değere düşer.

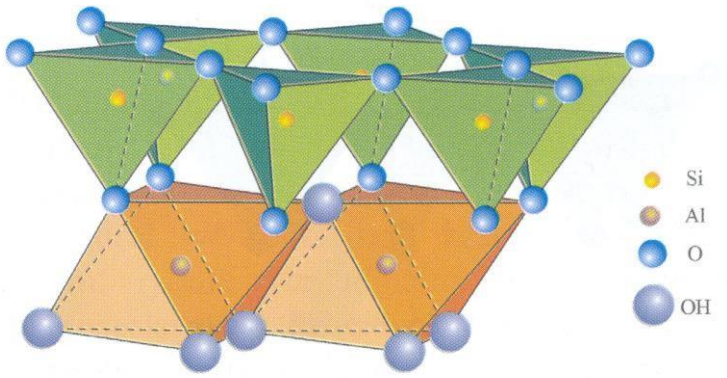
Kildeki CO_2 miktarı, derinlikle artarak yüzeydeki % 0.03'lük bir değerden % 10'luk; hatta donmuş toprak zonlarında % 20'lik bir değere ulaşabilir. Her kil türünün kendine özgü bazı özellikleri vardır. Örneğin bazıları çok fazla su emer, bir kısmı ise çok az su çeker. Killerin ekonomik işlerde kullanılırken tanımlanması gereken en önemli özellikleri aşağıda sunulmuştur:

1- Doğal rengi
2- Plastikliği, yapışkanlığı, şekillendirme özellikleri, kuruma özellikleri 3- Küçülme ve muhtelif sıcaklıklardaki durumu (Rengi, kuru küçülme, toplu küçülme, gözeneklilik, su emme özelliği vb.)
4- Suda dağılma özelliği (su emme durumu, şişme özelliği, geçirgenliği)
5- Suda eriyen tuzların varlığı veya yokluğu
6- Tane çapları ve bunların dağılımı
7- pH değeri
8- Akışkanlığı (Viskozite)
9- Kalıplanma süresi
10- Pişme büzülmesi ve pişirildikten sonra su emme ve parlaklık derecesi
11- Kırılma modülü
12- Bağlanma kuvveti
13- Kesme dayanımı
14- Geçirimlilik
15- Su emme
16- Şişme
17- Konsolidasyon
18- Plastiklik
19- Sıcaklıkta ergime özelliği

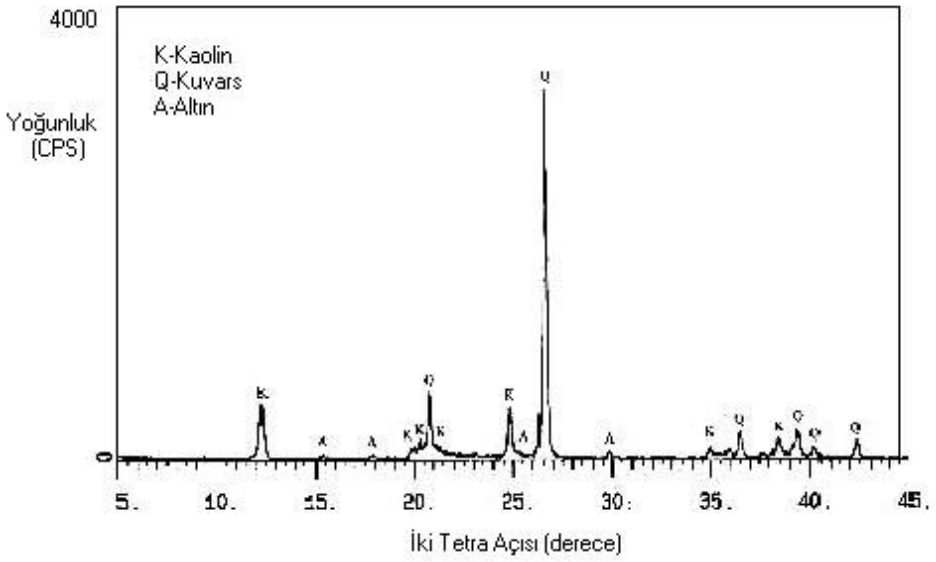
Kaolin hammaddesini oluşturan en önemli mineral kaolinit ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) ise, alüminyum hidrosilikat bileşimli bir kil mineralidir. Kaolinin kullanımını belirleyen ve onu diğer minerallerden ayıran

özellikleri; bileşimi, özşekilli (idyomorf) olması, 2 katmanlı ve eş boyutlu olması, cevher ile özgül (orijinal) kayanın çoğunlukla aynı yerde bulunmasıdır.

Şekil 4'de kaolinin kristal yapısı görülmektedir. Çanakkale yöresi kaolinleri ayrıntılı incelenmiştir. Şekil 5'de Çanakkale yöresine ait kaolinin XRD analiz sonuçları, Çizelge 3'de ise Çanakkale yöresi kaolinine ait XRF analiz sonuçları sunulmuştur.



Şekil 4. Kaolinin kristal yapısı (Grim, 1968; Yalçın, 2000'den).



Şekil 5. Çanakkale yöresi kaolene ait XRD analiz sonuçları (MTA, 1998).

Çizelge 3. Çanakkale yöresi kaoline ait XRF analiz sonuçları (MTA, 1998).

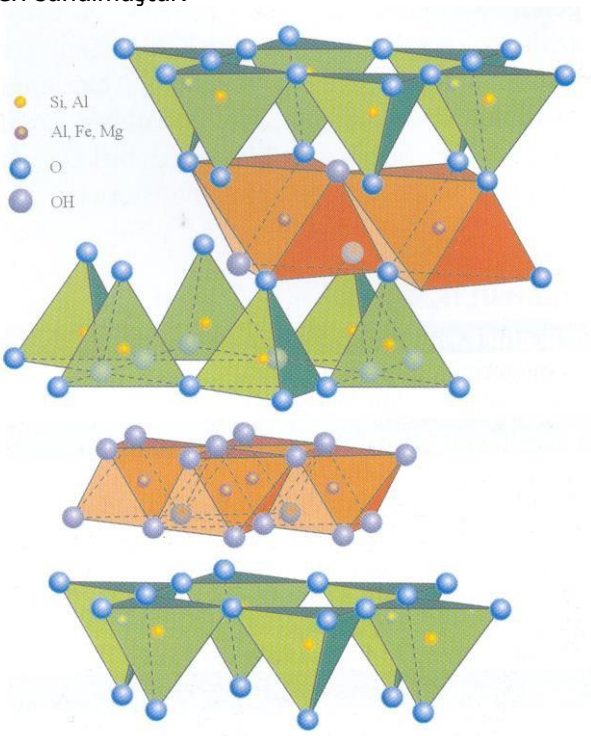
Zemin içerisindeki eser elementler (ppm)							
Cr	**Ni**	**Co**	**V**	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Rb**
710	0	3	84	14	161	23	16
Ba	**Sr**	**Ga**	**Nb**	**Zr**	**Y**	**Th**	
719	1183	26	29	270	0	25	

Zemin içerisindeki oksit bileşenleri (%)							
SiO_2	**AI_2O_3**	**TiO_2**	**Fe_2O_3**	**MnO**	**MgO**		
75.69	23.34	0.70	0	0	0		
CaO	**Na_2O**	**K_2O**	**P_2O_5**				
0.22	0.03	0.01	0.17				

Bentonit ise, smektit grubu kil minerallerinden oluşmakta ve genel olarak % 80'den fazla montmorillonit içeren üç katmanlı bir kristal yapıya sahiptir (Şekil 6). Bentonit, su ile karıştırıldığında kolloyidal özellik göstermesi, su ve bazı organik ortamlarda şişmesi ve yüksek plastisiteye sahip olması gibi özellikleri nedeniyle birçok kullanım alanına sahip bir kil türüdür. Bazı kil minerallerinin genel özellikleri Çizelge 4' de sunulmuştur.

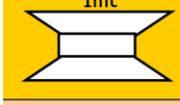
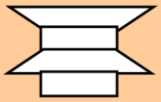
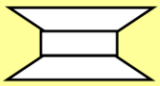
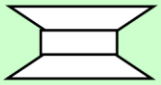
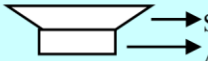
Özgül ağırlığı 2.7-2.8 g/cm^3 arasında değişir. Hafif sarı, bej, yeşilimtırak ya da beyaz renkte olan bentonitin su içerisine konulduğunda şişmesi ve jelleşme göstermesi suyu absorbe etmesinden kaynaklanmakta olup, bentonitler şişen bentonit (Na-bentonit), şişmeyen bentonit (Ca-bentonit), karışık bentonit olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Çinku ve Bilge, 2001 ve içindeki kaynaklar).

Birim katmanlar arasındaki bağların zayıf olması nedeniyle katman aralarına değişik iyonlar, organik moleküller ve su girerek bentonitlere adsorpsiyon ve absorpsiyon özelliklerini kazandırmaktadır (Güngör, 1981; MTA, 1989). Şekil 7' de diğer kil minerallerinden vermikülit, klorit ve sepiyolitin temel özellikleri ve genel görünümleri sunulmuştur.



Şekil 6. Üç katmanlı kristal yapılar (Grim, 1968; Yalçın, 2000'den).

Çizelge 4. Kil minerallerinin genel özellikleri (Hurlbut, 1970).

Kil Minerali	Kafes Yapısı	KDK (meq/100 g)	Yüzey Alanı (m^2/g)	Yük Kaynağı	Yük Özellikleri
Kaolinit 	1:1 Kuvvetli H-bağları	5-15	15	Uçlar, kırık bağlar (hidroksilleşmemiş uçlar)	Değişebilen ve sabit yükler
İllit 	2:1 Kuvvetli K-bağları	25	80	İzomorf yer değiştirme, uçlardaki bazı kırık bağlar	Çoğunlukla sabit yükler
Klorit 	2:2 Kuvvetli bağlar	10-40	80	İzomorf yer değiştirme	Çoğunlukla sabit yükler
Vermikulit 	2:1 Zayıf Mg-bağları	100-150		İzomorf yer değiştirme	Çoğunlukla sabit yükler
Montmorillonit 	2:1 Çok zayıf bağları	80-100	800	İzomorf yer değiştirme, uçlardaki bazı kırık bağlar	Çoğunlukla sabit yükler
 Silika katmanı Alümina katmanı					

KLORİT

Kimyasal Bileşimi,
$(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_R$



Kristal Sistemi, Monoklinik

Kristal Biçimi, Kristalleri levhamsı, psödohegzagonal, bazen prizmatik; masif, toprağımsı **Sertlik,** 2-3

Özgül Ağırlık, 2.6-3.3

Dilinim, {001} mükemmel

Renk ve Şeffaflık, Yeşil; sarı, kahverengi

Parlaklık, Camsı

Ayırıcı Özellikleri, Tipik yeşil rengi, dilinimi elastik olmayan yapraklanması

Bulunuşu, Klorit, magmatik kayalarda, priklosen, amfibol ve mika minerallerinin bozuşması (alterasyon) ile oluşur. Metamorfik kayalarda yaygın olarak bulunan ve yeşil şist fasiyesini karakterize eden bir mineraldir

VERMIKÜLIT



Kimyasal Bileşimi, $Mg_3(AlSi)_4O_{10}(OH)_2$. $4H_2O$
Kristal Sistemi, Monoklinik
Kristal Biçimi, Levhamsı, plaka şekilli kristaller halinde
Sertlik, 1.5
Özgül Ağırlık, 2-3
Dilinim, {001} mükemmel
Renk ve Şeffaflık, Sarı, kahverengimsi; şeffaf
Parlaklık, İnci panitifi, bazen bronz görünümlü
Ayırıcı Özellikleri, Isıtıldığında kolayca genleşir
Bulunuşu, Karbonatitlerle ilişkili olan magnezyumlu mikanın bozuşması ile oluşur.

SEPİYOLİT



Kimyasal B ileşimi, $Mg_2SiO_3O_8.2H_2O$ **Kr istal sistemi,** Ortorombik
Kris tal biçimi, Masif; ince lifsi; Çoğunlukla Kompakt ve nodüllü, toprağımsı ya da kil görünümlü **Sertlik,** 2-2.5

Renk ve şeffaflık, Beyaz, grimsi, sarımsı, mavimsi yeşil ya da kırmızımsı; organik madde içeriğine bağlı olarak kahverengimsi, opağa yak ın **Parla klık,** Mat
Bulunuşu, playalarda, bataklık ortamlarda ve sediman ter yataklarda bulunur.
Çoğunlukla manyezit ve serpantinin alterasyon ürünü olarak oluşur. Gölsel sedimanların otijenik mineralidir.

Şekil 7. Vermikülit, klorit ve sepiyolit minerallerinin genel özellikleri ve görünümleri (MTA, 1994).

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Çeşitli sanayi ve mühendislik işlerinde kullanılan killer yeryüzünde yaygın olan kaynaklardan biridir. Kil mineralleri, çeşitli jeolojik ortamlarda ve farklı mekanizmalarla / süreçlerle dönüşümü (transformasyon) ve/veya yeniden oluşumu (neoformasyon) yoluyla ile oluşurlar (Yalçın, 2000). Kil ise, önemli bir bölümünü kil minerallerinin oluşturduğu kil tane boyundaki gereçlerin bir araya gelmesiyle oluşan bir kaynaktır. Tersiyer ya da Neojen havzalarında farklı kalınlıklarda bulunan killer, değişik kotlarda ve kalınlıklarda, çoğu kez kum-çakıl-silt ve linyit ile beraber ya da bunlarla ara katmanlı bir konumda bulunmaktadırlar.

Kil yatakları, daha çok feldspatça zengin magmatik ve metamorfik kayaların bozunması ve/veya bozuşması, aşınması ve taşıması sonucunda tatlı su havzalarında çökelmesiyle oluşurlar. Kaolin ve kil oluşumu, tektonik hareketlerin az olduğu, yağışlı ve sıcak iklim koşullarının egemen olduğu jeolojik devirlerde daha yaygındır.

Havza tabanlarında, önce kalınlığı 20-30 metreye ulaşan ilksel bozunma ve/veya bozuşma örtüsü fosil topraklar, bunun üstünde ise bir deniz ilerlemesi ürünü (çakıltaşı) eşdeğeri olan kumlu ve çakıllı çökeller yer almaktadır. Ticari değeri olan killi düzeylerin ise genellikle havzanın daha derin yerlerinde oluştuğu bilinmektedir.

Kil yatakları, jeolojik yaş yönüyle genç havzalarda yer alırlar. Bu nedenle kil aramaları yapılırken, arazi ve jeolojik haritalar üzerinde öncelikle Neojen ya da Kuvaterner yaşlı genç çökel havzaları incelenmelidir. Bu havzalar, genellikle denizel ya da göl ortamlardır. Derin denizlerde çökelen killer ise genellikle silisli olup, volkanik faaliyetlerden etkilenmişlerdir. Kaya oluşturan minerallerin kil minerallerine dönüşümünde iki ana süreç egemendir. Bunlar başlıca fiziksel ve kimyasal süreçlerdir.

Fiziksel süreçler

Bu süreç boyunca ana gereçler mekanik olarak kırılıp ufalanmaktadır. Bunun da kil minerallerinin oluşumunda iki ayrı önemi vardır. Birincisi kırıklar, suyun ve aktif çözeltilerin ana malzeme içerisine kolayca girmesini kolaylaştırır; ikincisi ise, ufalanma yüzeyin alanını arttırdığından kimyasal tepkimeleri hızlandırır.

Mekanik bozunmaya ve ufalanmaya neden olan başlıca fiziksel süreçler; yük azalması, ısıl genişleme ve büzülme, kristal büyümesi ve organik etkinliklerdir. Hidrotermal koşullarda oluşan buhar ve diğer gazların basıncı da mekanik bozunmaya neden olabilmektedir. Ayrıca her türlü taşınma sürecinde belirli ölçüde mekanik bozunma ve/veya bozuşma gerçekleşmektedir.

Hidrotermal koşullarda oluşan buhar ve diğer gazların basıncı da mekanik bozunmaya neden olabilmektedir. Her türlü taşınma sürecinin belirli ölçüde mekanik bozunma ve/veya bozuşma oluşturduğunu unutmamak gerekir.

Kimyasal süreçler

Bu süreçlerde, üç ana tepkime söz konusudur. Bunlar, karbonatlaşma ve hidroksilleşme (asit ve bazlar arasındaki etkileşim), oksidasyon ve tepkime (elektron transferi) ile serbest radikal etkileşimleridir.

Ayrıca, "hidratasyon" ve "hidroliz" diye tanımlanan çözeltiler aracılığıyla kil minerallerinin oluşumu da söz konusudur. Kil minerallerinin oluşumuna en uygun iki doğal ortam ise bozuşmanın yer aldığı alanlar ve hidrotermal süreçlerin oluştuğu ortamlardır.

Alüminyum hidro-silikat bileşimli bir kil minerali olan kaolin, oluşum yönüyle feldispat içeren granitik ya da volkanik kayalardaki feldispatlarının bozunup kaolinit mineraline dönüşmesi sonucu oluşurlar. Feldispatlar açısından zengin bir ana kaya içindeki alkali ve toprak alkali iyonların, çözünür tuzlar şeklinde ortamdan uzaklaşması sonucu Al_2O_3 içerikli sulu silikatça zenginleşen kaya, kaolini oluşturur.

Feldispatlar

$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2 + 2H_2O \rightarrow Al_2O_3.6SiO_2.H_2O + KOH$

$Al_2O_3.6SiO_2.H_2O \rightarrow Al_2O_3.2SiO_2.H_2O + 4SiO_2$

$Al_2O_3.2SiO_2 + H_2O + H_2O \rightarrow Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$

Kaolinit

Bu oluşum modeline göre bozunan ana kayanın taşınmadan yerinde kalması sonucu kaolinit yatakları oluşur (MTA, 1989). Kaolin özellikle nemli ve sıcak hava koşullarına sahip tropikal bölgelerde sıkça bulunur. Kaoline dönüşen kayalar, daha çok granit, siyenit, diyorit gibi asidik türde olanlardır. Kalsiyum iyonlarının çok fazla bulunduğu ortamlarda kaolin oluşamaz. Kaolinin oluşması için alkali koşulların bulunmaması gerekmektedir. Ayrıca kaolin saf olmayan kireçtaşından türeyebilir ve bazen de kuvars damarlarındaki boşluklarda kaoline rastlanabilir. Kaolin minerallerinin bir oktahedral katman üzerine bir tetrahedral katmanın yerleşmesi sonucu, oktahedral tabakadan kaynaklanan hidroksil düzlemi ve tetrahedral katmandan kaynaklanan silika yapısında oksijen düzlemi oluşur. Bu nedenle, kaolin 1:1 kafes yapılı/iki tabakalı kil mineralidir (Grim, 1969).

Montmorillonit mineralinin egemen olduğu bentonitler ise, içinde bol camsı gereç bulunan volkanik kül, tüf ve lavların kimyasal yolla ayrışması sonucu oluşurlar. Camsı gerecin duraysız olması, bu gerecin hidroliz yoluyla montmorillonite dönüşmesine neden olurken yan ürün olarak zeolit, silisyum dioksit ve eriyik halinde metal iyonları ortaya çıkar. Bentonitler, köken kayanın bileşimine uygun olarak sodyum, kalsiyum ve potasyum montmorillonitler halinde oluşurlar. En yaygın olarak kalsiyum bentonitlerin bulunması, kalsiyumun sodyum ve potasyumu ornatmış olabileceğine bağlanmaktadır. Kalsiyumun egemen olduğu durumlarda bentonitte değişebilen iyon olarak az miktarda magnezyum bulunmaktadır.

Bentonitin oluşumu için, çoğunlukla köken kaya durumundaki volkanik külün belli miktarda alkali ve toprak alkali element içermesi gerekir. Eğer volkanik kül çok düşük miktarlarda alkali içeriyorsa uygun koşullarda halloysit oluşumu beklenir.

Bol volkanik cam içeren lav ve tüfler üç yolla killere dönüşürler (Millot vd. 1970):

1. Volkanik gaz ve buharların etkisiyle (hidrotermal bozuşma)
2. Çökel havzalardaki tüf ve volkanik küllerin değişmesiyle (dönüşüm, yeniden oluşum, diyajenetik oluşum)
3. Volkanik tüf ve küllerin yağmur, rüzgâr gibi iklim koşulları altında ayrışmasıyla (yüzeysel bozuşma, meteorik bozuşma).

Hidrotermal bozuşmayla yerkabuğundaki kırık ve yarıklar boyunca çıkan su buharları lav ve diğer yan kayaları değişime uğratır. Hidrotermal etkiyle oluşan bentonitler lavların, breşlerin ya da daha çok tüf ve küllerin değişime uğramış ürünüdürler. Bentonit oluşturan volkanik camlar çoğunlukla riyolit, trakit, fonolit ve bazen andezit bileşimli kayalardır. Sıcak suların çıkışı sırasında ayrışmış ya da ayrışmakta olan ince taneli gereçler (hemen yakınındaki bir çökel havzada birikerek) bentonit yatağını oluşturur.

Dönüşüm, yeniden oluşum ve diyajenetik oluşumla birlikte, denizel ya da gölsel çökel ortamında volkanik gereçler katmanlanmadan önce mineralojik, jeokimyasal ve kristal kimyası yönüyle değişime uğrarlar. Denizel ve gölsel ortamda bazik koşullarda volkanik gereçten diyajenetik yolla bazı katyonlar ayrılıp silis-alüminyum oranı belli bir dengeye yaklaştığında ayrışmış gereçler montmorilonite dönüşür. Bentonit bol zeolit içeren kömürlü, gri-açık kahve renkli çamurtaşlarıyla birlikte bulunur ve çökel ortamına taşınıp birikerek oluşur.

Mevcut iklime bağlı olarak ayrışan tüf ve volkanik kül gibi piroklastik kayalar camsı ve geçirgen niteliktedir. Karasal ortamda yerli yerinde ayrışmış tüf ve küllerden oluşmuş bentonitlerde bazen bentonit ile tüf arasında geçişler ve kılçık biçimli volkanik cam ile tüf kalıntıları görülür. Bu tip oluşumlarda taşınmış mineral kırıntıları bulunmaz.

Üzerinde az çok su birikmiş kapalı alanların tabanındaki volkanik kayaların özellikle feldspatları hidrolizle ayrışır. Serbest kalan iyonlar akaçlamanın olmadığı bir ortamda tutularak Al-SiO_2 birikimine yol açar. Bu da montmorillonit oluşturur (Akbulut, 1996).

Akdeniz ikliminde şişen killerin egemen olduğu topraklardaki montmorilonitin olası üç kaynağı vardır.

1. Ana kayadan hidroliz yoluyla ortaya çıkan iyonların doğrudan yerinde kalması (neoformasyon)
2. İllit ve kloritin montmorilonite dönüşmesi (transformasyon)
3. Akaçlaması kötü topraklarda iyonların tutularak ikincil oluşum (Paquet, 1970).

Ayrıca çok az örneği olsa da yeraltı suyu bazı bentonit yataklarının oluşumunda etkili olabilmektedir. Volkanik camın yeraltı suyunda hidrolize olmasıyla kalsiyum, sodyum ve magnezyum gibi iyonlar ortaya çıkar. Bu da bazik bir ortam oluşturarak silisin kısmen çökelmesini ve bentonit oluşumunu sağlayabilir (Akbulut, 1996).

Ülkemizdeki önemli bentonit yataklarından biri olan Enez (Edirne) bentonit yatağı, Enez ilçesinin yaklaşık 2-15 km güney ve güneydoğusunda bulunmaktadır. Enez bentonit sahalarındaki en yaşlı birim Oligosen yaşlı volkanik kayalardır. Volkanik kayaların üzerinde trakitik andezit, andezit bileşimli piroklastik, tüf ve volkanik küllerden oluşan bir volkano-tortul istif bulunur. Bentonit, bu volkano-tortul istifin içinde yer alır.

ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE TEKNOLOJİSİ

Kil yatakları genellikle **açık işletme yöntemiyle** işletilmektedir. İşletilecek kil yataklarının üzerindeki örtü buldozer ve skreyperler ile kaldırılır. Kilde, yeraltı işletmeciliği ise az oranda olup, daha çok şiferton tür yataklarda yapılır. Killerin ocaktan çıkarılması genellikle ilkel yöntemlerle yapılır ve patlayıcı malzeme de pek kullanılmaz.

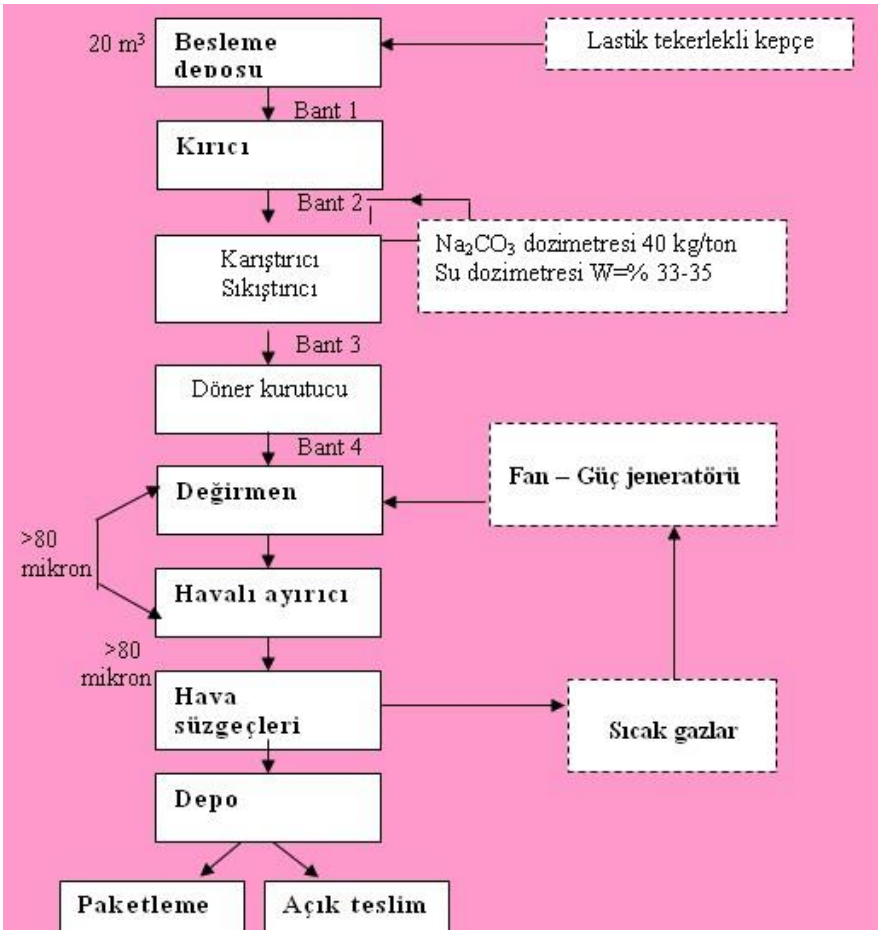
Şişen killerdeki sondaj çalışmalarında, yarma ve kuyu çalışmaları masraflı ve zaman alıcı olduğu için, el burgusu ve motorlu burgu kullanılmaktadır.

Kalın bir örtü altında bulunan kil yataklarında, kapalı işletme yöntemlerinin uygulanması, bu ocaklarda yeraltı suyu ile mücadele edilmesi önemlidir. Kil yataklarının ayrıntılı jeolojik incelemeleri sırasında açık ve kapalı işletme yapılması yönünde göz önünde bulundurulması gereken ilkeler belirlenir. Örneğin açık kil ocaklarında üretim kaybına yol açan en önemli hususlardan biri de yağışlı mevsimlerde dekapajın kil üzerine kayması ve üretim yapılan havza içerisine sel sularının akıp beyaz kaolini kirletmesidir. Bunu önlemek için işletilen alanın yamaçlarında gerekli akaçlama yapılmalıdır. Ayrıca, fırınlarda doldurma ve boşaltma kolaylığı için killerin büyük parçalar halinde çıkarılması gerekmektedir (Karaman ve Kibici, 1999).

Killerin ve özellikle bentonitin arama, işletme ve üretim süreçlerinde, bentonitin toprak örtüsü kaldırıldıktan sonra çeşitli büyüklükte işletme basamakları oluşturulup çalışmalara devam edilir. Bunun için öncelikle bentonit aramalarına başlamadan önce sahanın jeolojisi ayrıntılı olarak incelenmelidir. Bentonitin bulunduğu sahaların uygun ölçekte jeoloji haritaları yapılarak kesit ve sondaj yerleri belirlenmelidir. Kesit ve sondajlar yapılırken örnek alınması da kurallara uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

Yüzey, sondaj, yarma, jeofizik gibi uygulamalarla veriler elde edildikten sonra, yatağın üç boyutlu görünümünün sergilenmesi, olası rezervin saptanması ve tektonik yapı ve yan kaya ilişkilerinin gösterilmesi için yapı kontur, izopak ve tenör dağılım haritaları yapılır.

Killerin üretim yöntemi ve teknolojisine bakıldığında, genellikle büyük yataklarda açık işletme yolu ile üretimi yapılan kâğıt ve seramik kalitesindeki kaolinler, süzme tesislerinden geçirildikten sonra boyutlarına göre ayrılmaktadır. Bunlar, genellikle sulu değirmenlerde öğütme ve silis ayırma işlemi yapıldıktan sonra, çöktürme tankları ve hidrosilikonlardan geçirilmektedir. Manyetik ayırıcı ve havalı püskürtücü ile ağartma işlemleri daha çok kâğıt sanayi için yapılmaktadır. Kurutma işlemleri ile nem azaltılmaktadır. Şekil 8'da bir bentonit cevher zenginleştirme tesisinin akım şeması görülmektedir.



Şekil 8, Bir bentonit cevher zenginleştirme tesisinin akım şeması (Rozes, 1981; Akbulut, 1996).

Bentonitin kullanım alanlarında doyurucu sonuçlar verebilmesi için bazı bentonitlerin amaca uygun olarak önceden işlenmelerine, bazı maddelerle karıştırılmalarına gerek vardır. Ayrıca yeryüzündeki kaliteli doğal bentonit kaynaklarının giderek azalması düşük kaliteli bentonitlerden de yararlanma olanaklarının araştırılmasını gerektirmiştir. Bentonitin kalitesini yükseltme yöntemleri arasında en çok karboksil metil selüloz (CMC), sodyum karbonat ve asitle aktifleştirme yöntemleri kullanılmaktadır.

Bentonitlerin **sodyum karbonatla aktifleştirilmesi** işlemi bentonitin kalitesini yükseltmede en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, belli nem oranındaki bentonit miktarına uygun oranda soda karıştırılması işlemidir. Belli bir süre kurumaya bırakılan bentonit buradan çeneli kırıcıya gönderilir. Belli bir boya getirilen bentonit parçaları, aktifleştirme odasına gelir. Ton başına 40 kg Na_2CO_3 ile karıştırılan bentonitin, karıştırılırken % 33-35 oranında nem tutulması sağlanır.

Aktifleştirme işlemi, bir gravimetrik dozimetre ile üstten toz halindeki sodyum karbonatın serpilmesi, karıştırılıp sıkıştırılması biçiminde olur. Aktifleştirilmiş olan kilin nem içeriği de % 33-35'den %13-15'e düşürülür. Bundan sonra kil, değirmene gönderilir. Burada 80 mikronun altında tane boyuna öğütülür ve küçük taneli bentonit hava süzgeçlerine gelir ve bu arada nem oranı % 10'a düşürülür. Daha sonra depoya alınır. Depolarda toplanan bentonit ambalajlanarak piyasaya çıkarılır.

Diğer bir yöntem olan **asitle aktifleştirme işlemi,** özellikle yemeklik yağların renginin giderilmesinde kullanılan doğal bentonitlerin ağartma gücünü arttırmak amacıyla kullanılır. Killerin asitle

aktifleştirilmesinin esası, kilin kristal yapısından Al, Mg, Fe ve diğer katyonların uzaklaştırılmasıdır. Bunun sonucu olarak da kilin yapısı bozulmadan yüzey alanı artar, gözenekliliği ve kimyasal etkinliği artar.

Kalsiyum bentonitin inorganik asitlerle tepkimeye girmesi, yapısındaki Ca^{+2} iyonunun asitin H^{+} iyonu tarafından onartılmasına neden olur. Ayrıca yapısındaki kalsitin eriyip uzaklaşmasının yanı sıra oktahedral katmandan da bazı demir, alüminyum ve magnezyum iyonlarının uzaklaşması da yine bu tepkime sonucu oluşur. Bu olayda ağartma topraklarının gözenekleri % 80 artar. Tepkimenin şiddetine göre bentonitin yüzey alanı da artar. Kilin tane boyu küçüldükçe genelde ağartma gücü olumlu yönde etkilenir. Kilin tane boyu küçüldükçe genelde ağartma gücü olumlu yönde etkilenirse de yağ tutma ve sızdırma kaybı olumsuz yönde etkilenir. Ağartma toprağı asitle aktifleştirmeden sonra asitliği giderilirken fazlaca yıkanırsa ağartma gücü oldukça azalır; az yıkanma olursa, bu da yağın bozulmasına ve serbest yağ asitlerinin ortaya çıkmasına neden olur.

KULLANIM ALANLARI

Kil minerallerinin ve killi zeminlerin kendilerine özgü çok farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri vardır. Kaya ya da toprak dolgu barajlarında geçirimsiz killer, baraj seti çekirdeğinin doğal gereci olarak büyük önem taşımaktadır. Killerin geçirimsiz olmasının yanı sıra katyon değişim gücünün de yüksek olması nedeniyle, çeşitli kirletici unsurların uzaklaştırılması projelerinde de büyük önem taşımaktadır.

Kil mineralleri, insanlığın uygarlaşmasıyla birlikte doğal çevreden hammadde olarak çıkarılmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılda killer inşaat sektöründe ve seramik sanayinde kullanılmakta idi. Bu yüz yılda ise; killer plastik ve gıda sanayinin önemli bir bileşeni olmuş ve üretim süreçleri teknolojinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Killerin kullanımları kil taneciklerinin özelliklerine bağlıdır. Killerin tane boyu ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra kimyasal özellikleri (iç ve dış yüzeyler) de değişik amaçlar için değerlendirilmektedir.

Kaolinin kullanım alanları

Kaolinin kullanım alanları büyük ölçüde Karaman ve Kibici (1999) ile Karakaya ve Karakaya (2001) tarafından tanıtılmıştır. Bu alanlar aşağıda sınıflandırılarak sunulmuştur (Yılmaz, 2009):

Kâğıt sanayinde

Dünya kaolin kullanımında, parasal ve tonaj değerleri bakımından, kâğıt sanayi birinci sırayı almaktadır. Avrupa pazarında kâğıt, dolgu maddesi olarak toplam tüketimin % 40'ı, Amerika pazarında ise bu amaçla toplam tüketimin % 80'i kullanılmaktadır. Kaolin kâğıt sanayinde dolgu malzemesi olarak ve kâğıt yüzeyinin kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kaplama malzemesi olarak daha çok susuz kaolin kullanılır.

Kaolin kâğıt sanayinde temiz, beyaz renkte, parçalar halinde, yumuşak, yağımsı özellikte ve demir cevheri içermeyecek bir yapıda bulunmalıdır. Özellikle kâğıt dolguda Avrupa ülkeleri kaolinle birlikte kalsit de kullanmaktadır. Kuşe-kaplama kâğıtta benzer durum söz konusu olup, özellikle kuşe kâğıtta kaolinin kalite bakımından üstünlükleri vardır. Dünya kâğıt tüketiminde, kaolin ve kalsitin yerine, TiO_2 ve talk da kullanılmaktadır. Bunların toplam tüketimleri, belirli yıllarda kaolin tüketimini azaltmakla beraber, bu oran çok büyük boyutlarda olmamaktadır. Ancak dünya kalsit tüketimi, kaolin tüketimini etkileyen en önemli unsurdur.

Seramik sanayinde

Seramikte kaolin tüketimi, en çok sıhhi tesisat, porselen ve izolasyon sanayinde olmaktadır. Fayansta tüketim en fazla % 20 dolayındadır. Seramikte eritici madde olarak kullanılan feldispat ve kuvars mineralleri, 1150 ^{o}C dolayında eriyerek, kaolini bağlarlar ve sinterleşmeyi gerçekleştirirler. Ayrıca kaolinin ateşe dayanıklılığı nedeniyle seramik sanayinde kullanılmaktadır.

Son yıllarda seramik sektörü dışında, kaolinin en büyük tüketimi çimento sanayinde olup, kaolin tüketim oranı tüvanan üretimin % 30'u düzeyine ulaşmaktadır.

Boya, kaplama ve plastik ve lastik ve yapıştırıcı sanayinde

Kaolinin bu sanayi dallarında kullanılma nedeni, kaolinin içerisine soda, su camı ve bazı organik maddeler katılınca ve çok az su eklenince, döküm yeteneğini kazanmasından dolayı dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

Fayans yapımında ve lastik ve yapıştırıcılarda

Fayans yapımında kullanılan kaolinlerin bünyesinde Fe ve Ti bulunması, plastik özelliğinde, beyaz renkte ve ortalama 1.2 mikron boyutlarında olması istenir.

Bazı kaolinler ise; cam elyafı, kimya sanayi, ilaç sanayi gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Ancak kullanım oranlarının düşüklüğüne rağmen mali portresi yüksek olan bir tüketim gerçekleşmektedir. Ayrıca fiber cam (cam elyafı) üretiminin giderek arttığı gözlenmiştir. Bu oran ABD kaolin üretiminin % 5'ine ulaşmaktadır (450 000 ton/yıl). Çizelge 5'de dünya kaolin tüketiminin Avrupa ve Amerika pazarlarındaki tüketim alanları görülmektedir.

Çizelge 5. Dünya'daki kullanım alanlarına göre kaolin tüketim oranları (MTA, 1998).

Kullanım alanları	Tüketim oranı kaolin %
Fayans	max % 20
Yerkarosu	-
Porselen	% 40 – 45
Sıhhi tesisat	% 30 – 40
Kâğıt dolgu	Avrupa % 40, Amerika % 80
Kaplama	Avrupa % 40, Amerika % 80
Frit sır	% 10
Çimento	% 30

Bentonitin kullanım alanları

Kaolinin kullanım alanları büyük ölçüde Akbulut (1996), Karakaya ve Karakaya (2001) tarafından tanıtılmıştır. Bu alanlar aşağıda sınıflandırılarak sunulmuştur.

Temizlik maddelerinde

Bentonit yağları emme özelliğinden dolayı temizleme maddelerinin yapımında kullanılır. Kolloyidal bentonit süspansiyon yüzey gerilimini azalttığından sabunun daha iyi dağılıp köpürmesini sağlar. Suyun sertliğini de gideren bentonit kirleri emer, hidrolize olarak yağlı maddeleri sabunlaştırır.

Petrol rafinerisinde

Ağır petrol bölümlerinin katalitik parçalanarak ince petrol ürünlerinin elde edilmesinde kullanılacak bentonit asitle aktifleştirip yıkandıktan sonra istenen incelikte öğütülür. Aktifleştirilmiş olan Ca bentonit özellikle fenollerin alkilleştirilmesi sırasında çeşitli Friedel Crafts tepkimelerini kataliz etmede, dehidrasyon çevrimselleşme, izomerleşme ve polimerleşmeyi arttırmada kullanılır (Roskill, 1979). Petrol rafinasyonu için bentonit spesifikasyonları tam olarak bilinmemekle beraber, son derece düşük demir içerikli safa yakın Ca montmorillonit olması gerekmektedir.

Kâğıt sanayinde

Kâğıt sanayinde kullanılacak bentonit, sodyumlu, kuvarssız ve ince taneli olmalıdır. Dolgu kâğıt hamuruna katılan bentonit pigment, reçine ve balmumunun hamur içinde homojen dağıtılması gibi işlevler görür. Ayrıca eski gazete kâğıtlarının yeniden işlenmesinde mürekkebi çekme yani adsorpsiyon özelliğinden yararlanılır (Grim ve Güven, 1978).

Seramik sanayinde

Bentonitler seramik sanayinde (JMO, 2003) bağlayıcı özellikleri ve ateşe dayanıklılıkları nedeniyle kullanılırlar. Genelde pişme rengi beyaz olan bentonitler kullanılır. Bunlar plastisiteyi ve kuru mukavemeti arttırırlar.

İlaç sanayinde

İlaçlarda dolgu, süspansiyon, temizleme işlevi olan bentonitler için Türk standardı yoktur. İlaçlarda aranan bentonitin, suda çözünmemesi, pH'nın 0.5-10.5 arasında olması, nem oranının % 5-8 olması gibi özellikleri istenir.

Lastik sanayinde

Lastik sanayinde bentonitten dolgu gereci olarak yararlanılır. Bu sanayi dalında bentonitin akıcılığı arttırıcı, kolloyidal süspansiyon oluşturucu etkisi vardır.

Gübre sanayinde

Bentonitin kolloyidal özelliği ve katyon değişim kapasitesi, bitkinin gelişmesi için gerekli nemin sağlanmasında büyük rol oynar. Bentonit, gübrede çözünen tuzların ortamdan çabuk uzaklaşmasını önler.

Yangın söndürme sanayinde

Bentonitin yapısında fazla miktarda su tutması yangın söndürücü olarak da kullanılmasını sağlar. Bentonit süspansiyon haline getirilerek ateşin üzerine püskürtülürse, hava ile temasını keserek ateşi söndürür.

Boya sanayinde

Sodyum bentoniti, sürekli süspansiyon oluşturabilme özelliğine sahip olduklarından dolayı boya, emaye ve mürekkeplere katılmaktadır. Yağlı boyalarda da süspansiyon özelliği arttırmak için % 5 bentonit kullanılır.

Yağlı zeminlerin temizlenmesinde ve besicilikte

Yağlı yüzeylerin temizlenmesinde, sıvıda dağılmanın önlenmesi ve emici özelliğin artması için bentonit kalsine edilerek kullanılır. Hayvan dışkılarının barınak tabanlarından temizlenmesi için bentonit tabana yayılarak serpilir. Kalsine edilmiş bentonite çeşitli kimyasal maddeler de katılarak koku giderici ve mikrop öldürücü özellikler kazandırılabilir.

Çimento sanayinde

Çimentoya katılan bentonit, beton ve harçların plastik özelliğini ve çakıl ile kumun homojen dağılımını sağlayıp dayanımını arttırır. Madeni yağlarla karıştırılmış bentonit çimentoda dolgu malzemesi olarak kullanılır ve su geçirmez.

İnşaat mühendisliğinde

Şişme ve jel oluşturma özellikleri nedeniyle bentonitten, baraj yapılırken su kaçaklarını önlemede yararlanılır. Bentonitin geçirgenliği önleme özelliklerinden yararlanılarak baraj ve gölet inşaatlarında, heyelan önleme yapılarının inşaatında, sızdırmazlık perdesi inşaatında, tünellerin yapımında, kazı şevleri ile bina temellerinin desteklenmesinde ve köprü, üst geçit ayaklarının inşaatında "diyafram duvarları" oluşturmada kullanılmaktadır.

Gıda sanayinde

Bentonitler, ıslandığında yüzer tip hayvan yemi yapımında ya da hayvan yemlerinin peletlenmesine bağlayıcı olarak kullanılırlar. Un ve undan yapılan gıdalara belli oranlarda katılan bentonit bayatlamayı geciktirici rol oynar. Bira, şarap ve meyve sularının berraklaştırılması dışında bazı sütlere karışmış

kanserojen Alfatoksin M1'in sütten uzaklaştırılmasında da adsorpsiyon özelliği nedeniyle bentonit kullanılmaktadır (Akbulut, 1996).

Çevre mühendisliğinde

Bentonitin çevre mühendisliğindeki kullanım alanlarına bakıldığında, bentonit iyon değişimi ve adsorpsiyon özelliklerinden dolayı renk giderimi, ağır metal ve uranyum gibi radyoaktif maddelerin giderimi ayrıca organik madde giderimi gibi çevre mühendisliği uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir (Atmaca ve diğerleri 2001). Öte yandan depolama alanlarında, sızıntı sularının yeraltına süzülmesini önlemek üzere geçirimsiz bir malzeme olarak killerden yaralanmak mümkündür. Ayrıca, Na-bentonitler doğal fiziksel özellikleri ile sondaj çamuru olarak kullanılmaktadır. Ca-bentonitlerin ise bu amaçla kullanımı için aktive edilerek fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Dünya'da üretim yapan kaolin ocaklarında daha önceden bazı önlemlerin alınması koşuluyla önemli bir çevre sorunu yaşanmamaktadır. Kaolin ocaklarında işletme izni alınmadan önce, çevresel açıdan, alınması gerekli önlemler işletmeciye bildirildikten sonra çalışma izni verilmektedir.

Ocak işletmesi sırasında, hatta hazırlık evresinde kaldırılan örtü gelişigüzel çevreye yığılabilmektedir. Bazen ocak işletmesi sonucu ortaya çıkan katı atıklar da **görüntü kirliliği** yaratmaktadır. Oysa ortaya çıkan malzeme, genellikle tarımda kullanılabilir.

Açık kil ocaklarının işletilmesinde ise ortaya çıkan jeoteknik sorunların ana nedenlerinden biri susüreksizlik-kil (SSK) üçlüsünden doğan **duraysız ortamların denetlenememesi**dir. Özellikle bentonit işletme ocaklarında oluşan çukurlar su ile dolmakta, işletme panolarında heyelan ve düşmeler, toprak akmaları sıkça ortaya çıkmaktadır. Bunun göz ardı edilmesi durumunda, işletme çalışmalarında ekonomik kayıpların yanı sıra yeni çevre sorunlarının da ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır.

Ocaklar çoğunlukla açık işletme yöntemleriyle çalıştırılmaktadır. Çevre sorunları ile ilgili en önemli konu, kaolin yıkama ve öğütme tesislerindeki silisten ve SiO_2'den kaynaklanan tozların yarattığı **hava kirliliği**dir. İşletme tesislerinde öğütmeden kaynaklanan bentonit tozları filtrelerle tutulamadığından çevreye yayılmaktadır. Tesislerde gelişmiş toz tutma sistemlerinin devreye konulması zorunludur. Çevreyi kirletici boyutta olmamakla birlikte, insan sağlığı açısından toz tutma sistemlerinin devreye konulmasıyla hava kirliliği denetlenebilir.

Yıkama suları havuzlarda dinlendirilmekte ve genellikle kapalı devre olarak çalışılmaktadır. Dünya'da kaolin üzerine çalışan ocaklar ve tesislerde oluşan **yeraltı ya da yerüstü sularının kirliliği** büyük ölçüde denetlenebilmektedir.

İşletmenin sona erdiği bentonit ocaklarında çukurların doldurulmadığı, çevresinde güvenlik önlemlerinin alınmadığı bir gerçektir. İşletme alanlarının projenin sona ermesiyle, işletme alanının yeniden düzenlenerek tarıma ya da diğer kullanımlara uygun hale getirilmesinde önemli yararlar vardır (Akbulut, 1996).

Sonuç olarak bazı araştırmacılar, yenilenemeyen doğal kaynakların yanlış kullanımlarının çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açtığını ve çeşitli kullanımlar nedeniyle doğal dengenin bozulmasıyla göçlere, doğa kökenli afetlere ve sonuçta insanların toplu ölümlerine yol açtığını belgelemişlerdir (Matsen ve diğerleri, 1997; Newson, 1998; Cangir ve diğerleri, 2000; Akça ve diğerleri, 2000).

Yukarıda belirtilen sorunlar gözetilerek kil sektöründe Maden Kanunu'nda gerekli değişiklikler (Şahin 2001) ile ÇED Yönetmeliği (2022) çerçevesinde ve her işletmenin özelinde ortaya çıkması olası sorunları yere özgü denetlemek üzere etkin bir çaba harcanmalıdır. 25 hektar ve üzeri alanlarda yapılan açık ocak kil işletmeleri de ÇED yönetmeliği (2022)'nin EK-1 Listesinde; fiziksel yöntemlerle yapılan cevher

zenginleştirme tesisleri ise EK-2 listesinde yer almaktadır. EK-1 listesi faaliyetleri için kapsamlı ÇED Raporu'nun, EK-2 listesinde yer alan faaliyetler için Proje Tanıtım Dosyası'nın hazırlanması zorunluluğu vardır.

SONUÇLAR

Kil madenciliği bir ülke için önemli ekonomik bir potansiyel içermektedir. Kil, Dünya'da ve ülkemizde rezervi oldukça fazla, işletilmesi ve üretimi kolay ve ekonomik bir kaynaktır. Kil kaynaklarının kullanım alanları geniştir (DPT, 2000). İşletmelerin çevreye etkileri denetlenebilmektedir. Dünya'da, önemli kil minerallerinden biri olan kaolinin yaklaşık % 80'i kâğıt sektöründe kullanılmaktadır. Türkiye'de ise kaolinlerin % 80'i çimento sektöründe, % 20'si seramik, cam, kâğıt ve diğer sektörlerde kullanılmaktadır.

Bu da Türkiye'de üretilen kaolinlerin ham olarak tüketildiğini göstermektedir. Türkiye kâğıt sanayinin tam olarak gelişmediği ve Türkiye'de kâğıt sanayinde (özellikle kaplamada) kullanılan kaolinlerin üretilemediği bilinmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'de bulunan kaolin tesislerinde ancak kâğıt dolgu gereçleri elde edilebilmekte, kaplama kaolinleri ise ithal edilmektedir.

Türkiye'de bentonitin en çok tüketildiği alanlar, sondaj, paketleme ve döküm sanayileridir. Ayrıca bentonit, yağların ağartılmasında kullanıldığı gibi temizlik maddeleri yapımında ve kâğıt sanayinde de kullanımı yönünde araştırmalar yapılmaktadır. Ülkemizde özellikle 1960'lardan itibaren bentonit tüketimi giderek artmıştır. Ayrıca Türkiye'de aktifleştirme tekniklerine yeterince önem verildiğinde büyük bentonit rezervleri yurt içi ve yurt dışı pazarlarda değerlendirilebilir. Demiryolu ulaşım ağının geliştirilmesi (ulaşım ve taşınmayı ekonomik olarak kolaylaştıracağından), ülke açısından uluslararası yarışa girmeyi kolaylaştıracaktır.

Öte yandan çevre teknolojilerinde de killerin yaygın bir biçimde kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, deponi alanlarının tabanının izole edilmesinde ve bentonitin, iyon değişimi ve adsorpsiyon özelliklerinden yararlanarak, sulu çözeltilerden ve endüstriyel atıklardan renk, ağır metal, uranyum gibi radyoaktif maddeler ve organik madde giderimi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bentonit miktarının, pH değerinin, yapısında bulunan Ca, Na, Fe gibi iyonların giderim verimini etkiledikleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak; oldukça yaygın kullanım alanı olan killerin cevher zenginleştirme ve işletilmelerinin ve çevreye büyük boyutlarda olumsuz etkiler yapmaması da önemli bir şanstır. Dolayısıyla kil mineralleri en iyi şekilde yararlanmak gerekmektedir. Ancak ülkemizde, endüstride bu kadar çok kullanım alanı olan killerin işletilmesi için uygulanan süreçlerde bazı belirsizlikler bulunmaktadır. Bu belirsizliklerden doğan sorunlar, ÇED Yönetmeliği çerçevesinde çözülebilir (Yılmaz, 2009).

Özellikle ülkemizde çevre konusundaki denetimler aksatılmamalıdır. Kil yatakları da diğer kaynaklar da "Sürdürülebilir Kalkınma" çerçevesinde, yani ekonomik, sosyal değerlerle çevresel değerlerin dengelenebildiği koşullar altında işletilmelidir.

KAYNAKLAR

Akbulut, A., 1996, Bentonit, MTA Eğitim Serisi No. 32, Ankara, 78 s.

Akça, E., Kapur, S., Serin, M., Çevik, B. ve Eswaran, H., 2000, Karapınar: A Case Study of Rehabilition of a Wind Eroded Area in Turkey, 13-17 June, 2000 Desertification Meeting, Konya, s. 202210.

Atmaca, E., Beyazıt, N. ve Yılmaz, A., 2001, Bentonitin Çevre Kirliliğinin Önlenmesi ve Kontrolündeki Önemi, Katı Atık ve Çevre Dergisi, s. 2-9.

Cangir, C., Kapur, S., Boyraz, D., Akça, E. ve Eswaran, H., 2000, Land Resource Consumption in Turkey, Journal of Solid and Wrae Conversation, 3rd Quarter, s 253-259.

Çağlar, Ö., Ünal, U., Balköse, D., Köktürk, U. ve Ülkü, S., 2001, Toz Kaolin ve Aluminyum Silikat Liflerinin Karakterizasyonu, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, s.1-10.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

Çinku, K. ve Bilge, Y., 2001, Bentonit ve Aktivasyon Yöntemleri, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, SÜ., Konya, s. 1-10.

DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik özel ihtisas komisyonu, Endüstriyel ham maddeleri alt komisyonu, Genel endüstri mineralleri, cilt 4, Bentonit-barit-diyatomit aşındırıcılar çalışma grubu raporu, Ankara, 68 s.

Gillott, J. E., 1968, Clay in engineering geology: Elsevier publishing company, New York, 296s.

Grim, R.E., 1962, Applied Clay Mineralogy: McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, USA, 422s.

Grim, R.E., 1968, Clay Mineralogy: McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, USA, 596s.

Grim, G. ve Güven, N., 1978, Bentonites, Geology, Mineralogy, Properties and Uses: Elsevier, s. 256.

Güngör, N., 1981, Bentonitik kil minerallerinin yapı ve özellikleri üzerine değişebilen katyonların etkilerinin fiziksel yöntemlerle incelenmesi, Doktora tezi, İ.Ü.

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

JMO. 2003, Seramik Semineri Ders Notları; TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın no 78, 17-23 Kasım 2003, Ankara, 302 s.

Karaman, M.E. ve Kibici, Y., 1999, Temel Jeoloji Prensipleri, Devran Matbaacılık, Ankara, 361 s.

Karakaya, M.Ç ve Karakaya N. 2001, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Bildiler kitabı, Selçuk Üniversitesi, 19-22 Eylül 2001, Konya, 598 s.

Kasapoğlu, K. E., 1989, Killerin Jeo-Mühendislik Özellikleri: IV. Ulusal Kil Sempozyumu, C.Ü., Sivas, s. 1-29.

Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G. ve Swişft, M., 1997, Agricultural Intensification and Ecossystem Properties, Science, 277, 504-509 s.

Millot, G., Farrand, W.R. ve Paguet, H., 1970, Geology of Clays, Springer-Verlag, New York, USA, 429s.

MTA, 1994, Mineraller (Hazırlayanlar: M. Bahadır Şahin, Erdal Koşun, Haşim Ağrılı ve Hamdi Mengi) Ankara, 72 s.

MTA, 1995, MTA, Doğal Kaynaklar Envanteri: Sivas ili doğal kaynaklar envanteri, MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Sivas, 275 s.

MTA, 1998, "Bentonit", Mevcut Durum, Zuhurlar ve Yataklar, Potansiyel Bölgeler, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Newson, L. A., 1998, A historical-ecological perspective on epidemic disease: Advences in Historical Ecology (ed. W. Balee), Columbia Univ. Press, New York, s. 42-43.

Önem, Y., 1997, Sanayi Madenleri: Kozan Ofset Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Şti., Ankara, 368s.

Paquet, H., 1970, Evolution Gėochimique des Minėraux argileux Dans Ies Altėrations et Ies Sols des Climats Mėditerranėens Tropicaux a Saison Contrastėes: Memoire Service Carte Gėol. a'Alsace et de Lorraine, 30, 210 s.

Roskill, 1979, The Economics of Bentonite, Fuller's Earth and Allied Clays: Roskill Inf. Serv., (Ireland) Ltd, London, s. 128.

Rozes, B., 1981, Sodium-exchanged bentonites in France: Industrial Minerals, Nov., s. 59-64.

Şahin, A. İ., 2001, Maden Kanunu'nun Kil-Kaolen Grubunda ve Sektörde Yarattığı Sorunlar, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, s. 466-468.islik

Velde, B., 1992, Introduction to Clay Minerals. Chemistry, origins, uses and environmental significance: Chapman and Hall., London, 198s.

Yalçın, H., 2000, Killere İlişkin Ders Notları; CÜ Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, 210 s.

Yılmaz, A., 2008, Çevre Jeolojisi. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 107, Sivas, 379 s.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348 s.

3. 2, ZEOLİTLER

GENEL BİLGİLER

Zeolit sözcük olarak **kaynayan taş** anlamına gelmektedir. Zeolite ısıtıldığında patlayarak dağılması nedeni ile bu isim verilmiştir. Doğal oluşan en yaygın zeolitler analsim, klinoptilolit, höylandit, lömontit ve fillipsittir. Zeolitler kristal yapısında yer aldığı alkali ve toprak alkali metallerin sulu alüminyum silikatları olup çerçeve silikatları grubundandır. Mineral türü olarak 1750'lerden bu yana bilinmekle beraber kristal yapıları, X-ışınları kırınımı (XRD), Mor-Ötesi (I.R.) absorbsiyonu, nükleer manyetik resonans (NMR) ve elektron spin resonans (ESR) gibi yöntemlerin geliştirilmesi sayesinde ancak 1930'larda çözümlenebilmiştir. İskelet yapılarındaki Si/Al oranlarındaki ve içerdikleri katyon türü ve oranlarındaki bazı farklılıklara rağmen;

$(M^{+}, M^{+2})\ O.Al_2O_3.9SiO_2.nH_2O$ genel formülü ile ifade edilebilirler.

Burada M^{+} alkali katyon olup genellikle Na^{+} ya da K^{+} nadiren de Li^{+},M^{+2} ise toprak alkali katyon olup genellikle Mg^{++}, Ca^{+2}, Fe^{+2} nadiren de Ba^{+2}, Sr^{+2} olur.

1756 yılında İsveçli mineralog Freiherr Axel Fredrik Cronstedt'in bir bakır madeninde yeni bir mineral bulmasıyla tanınan doğal zeolitlere, iki asır boyunca, yalnız volkanik kayaların boşluklarında yer alan aksesuar mineral gözü ile bakılmış ve kristal yapısının analizi yapılmamıştır. 1940-1945 yıllarında şabazit ve mordenit üzerinde yapılan çalışmalarla zeolitlerin seçimli yüze soğurma ve gaz ayrımları için olağanüstü potansiyelleri ortaya konularak önemli endüstriyel uygulama alanları ve ticari potansiyelleri belirlenmiştir.

Ancak endüstriyel kullanımı bu kadar önemli olan zeolit minerallerinin, doğada volkanik kayaların boşluk ve çatlaklarındaki miktarının geniş çaplı endüstriyel uygulamalar için yetersiz olması, bilim adamlarını yapay zeolit üretme olanaklarını araştırmaya itmiştir. Bugün 150'den fazla yapay zeolit minerali bilinmektedir. Yapay zeolitlerin birden bu kadar geniş ve teknolojik olarak önemli kullanım alanlarının ortaya çıkmasına karşın üretim maliyetlerinin pahalı olması, büyük miktarlarda üretim yapılabilecek doğal zeolitlerin arama çalışmalarını hızlandırmıştır.

Doğal zeolitler, yaygın kullanım alanlarının varlığı ve büyük pazar potansiyeline rağmen birçok alanda daha yeni kabul görmeye başlamıştır. Zeolitlerin, doğada büyük rezervler halinde bulunup işletilmesi, diğer madenlere göre daha kolay ve ucuzdur. Buna rağmen doğal zeolitler, istenilen saflık ve gözenek çaplarında olmamaları nedeni ile dünya pazarında tam yerini alamamıştır. Dolayısıyla yapay zeolitlerin kullanım alanı daha geniştir. Ülkemiz büyük zeolit rezervlerine sahip olmasına karşın, belirlenen zuhurların rezervleri, kullanım alanları ve teknolojik özellikleri tam olarak araştırılmamıştır (Yılmaz, 2009). Herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi SiO_4 ya da AlO_4 tetraederleridir. Si ve Al tetraederlerinin oluşturduğu birincil yapı ünitelerinin birleşmesi ile tek ve çift halkalı ikincil yapı birimleri ve daha sonra yüksek simetrili poliederler meydana gelir.

Poliederler ve ikincil yapı birimlerinin üç boyutta değişik şekillerde dizilmesi ile mikro gözeneklere sahip zeolit iskeleti ortaya çıkar. Poliederler ve bunları birbirine bağlayan ikincil yapı birimleri arasında yer alan mikro gözenekler mikro pencerelerle birleşip bir, iki ya da üç boyutlu boşluk sistemleri ya da kanalları oluşturur. Boşluk miktarı toplam hacmin % 20'si ile % 50'si arasındadır. Zeolit minerallerinin en önemli özelliği; bu boşluklar ve bu boşluklara kolayca girebilen ve yer değiştirebilen sıvı ve gaz molekülleri ile toprak alkali iyonlardan ileri gelen "moleküler elek" olmalarıdır.

Zeolitlerin sınıflandırılması

Zeolit minerallerinin sınıflandırılması konusunda kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır. Ancak, D.W. Breck (1974) tarafından ikincil yapı birimleri ve iskelet yapılarının bileşimi temel alınarak yapılan

sınıflama aşağıda Çizelge 1'de sunulmuştur. Sınıflamada 7 grup tanımlanmış, ikincil yapı birimleri, tek halkalı ya da çift halkalı olabileceği gibi kompleks bir yapıda da olabilirler (DPT, 2000).

Çizelge 1. Zeolitlerin sınıflandırılması (Breck, 1974).

Grup	İkincil Yapı Birimleri	Grup Mineralleri
1	Tek 4'lü halka	Analsim Harmotom Filipsit Gismondin Zeolit-P Paulingit Lömontit Vugawaralit
2	Tek 4'lü halka	Eriyonit Offetit Zeolit-T Levynit Omaga Soladil
3	Çift 4'lü halka	Zeolit-A Zeolit-N-A Zeolit 2K-A
4	Çift 6'lı halka	Fojasit Zeolit-X Zeolit-Y Şabazit Gmelinit Zeolit-2K-5 Zeolit-LH
5	Kompleks 4-1	Natrolit Skolesit Mezalit Tomsonit Gonnardit Edingtonit
6	Kompleks 5-1	Mordenit Dakhiorit Ferrierit Epistilbit Bikitait
7	Kompleks 4-4-1	Höylandit Klinoptilolit Stilbit Brevserit

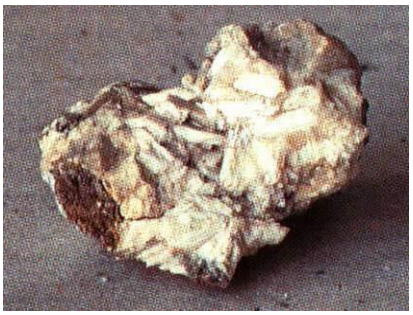
ÖZELLİKLERİ

Yukarıdaki sınıflamada yer alan önemli zeolit minerallerinden bazılarının temel özellikleri Şekil

1'de sunulmuştur. Zeolit minerallerinin görünümleri, bileşimi ve kristal yapıları birbirinden farklıdır. Ancak tüm zeolitler, kuvars ve feldispat gibi tektosilikat ailesinin üyesi olup SiO_4 tetraederlerinin üç boyutlu dizilimi ile oluşurlar.

Zeolit mineralleri birbirleri ile ilişkili katyonlar ve su molekülleri tarafından doldurulan ve birbirine bağlı boşlukların çevrelediği kafes sisteminde bir yapıya sahiptirler. Zeolitler ısıtıldıklarında bünyelerindeki suyu verebilirler ve katyon alışverişi özelliğine sahiptirler. Belirgin dilinimleri yoktur; lifsi, ışınsal, levha ya da prizmatik görünümde olabilirler.

LÖMONTİT



Kimyasal Bileşimi : $CaAl_2Si_4O_{12}.4H_2O$
Kristal Sistemi : Monoklinik
Kristal Biçimi: Kristalleri kare prizmalar halinde, lifsi, sütunsal, ışınsal
Serlik: 3-4; **Özgül Ağırlık:** 2.20-2.41; **Dilinim**: (0,10), (110) mükemmel **Renk ve Şeffaflık** : Beyaz; bazen kırmızımsı, sarımsı pembe, gri, kahverengimsi; şeffaf -yarı şeffaf
Ayırıcı Özellikleri : Hava ile temas ettiğinde suyunu kaybedip toz haline dönüşür ve tebeşi rimsi görüntü alır.
Bulunuşu: Bazı çökel kayaların ve tüflerin çok düşük dereceli metamorfizması ile oluşabilir. Diğer zeolitlerl amarlarda bulunur. e birlikte magmatik kayaçlarda ve d

ŞABAZİT



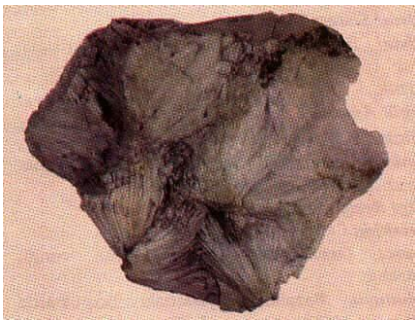
Kimyasal B ileşimi: $CaAl_2Si_4O_{12}.6H_2O$
Kristal Sistemi: Hegzagonal
Kristal Biçimi: Kristalleri kübik görünüşlü basit rombohedronlardan oluşur; bazen kompleks veya levhamsı
Sertlik: 4-5**; Dilinim** (10-11)

Çizgi Rengi: Renksiz; **Parlaklık:** Camsı
Renk ve Şeffaflık: Genellikle beyaz; renksiz, sarımsı, pembemsi, kırmızımsı beyaz, yeşilimsi; şeffaf-yarı şeffaf

Ayırıcı Özellikleri: Kristal Formu; HCL'de çözünmemesi ile kalsitten ayrılabilir.
Bulunuşu: Bazaltlardaki boşluklarda oluşur. Zeolit, kalsit ve kuvars mineralleri İle birlikte bulunur. Şist ve kristalize kireçtaşlarının çatlaklarında da oluşabilir.

NATROLİT

Kimyasal Bileşimi: $Na_2Al_2Si_3O_{10}.2H_2O$



Kristal Sistemi: Ortorombik
Kristal Biçimi: İğnemsi, prizmatik; çoğunlukla lifsi, ışınsal agregatla r halinde; masif, tanesel, kompakt

Dilinim: (110) mükemmel
Sertlik: 5-5.5**; Özgül Ağırlık**: 2.20-2.26
Renk ve Şeffaflık: Renksiz, beyaz, gri, sarımsı, kırmızımsı; şeffaf-yarı şeffaf

Parlaklık: İnci parlaklığında veya camsı
Ayırıcı Özellikleri: Lifsi yapısı

Bulunuşu: Tipik olarak bazalt veya diğer magmatik kayaların boşluklarında oluşur.

HÖYLANDİT

Kimyasal Bileşimi: (Ca, Na_2), $Al_2Si_7O_{18}.6H_2O$

Kristal Sistemi: Triklinik
Kristal Biçimi : Genellikle levhamsı kristalli; masif, tanesel
Sertlik: 3.5-4; **Özgül Ağırlık**: 2.1-2.2; **Çizgi Rengi:** Renksiz
Dilinim: (010) mükemmel; **Parlaklık:** camsı
Renk ve Şeffaflık: Renksiz, beyaz, pembe, kırmızı, kahverengi; şeffaf - yarı şeffaf
Ayırıcı özellikleri: Kristal formu, rengi parlaklığı

Bulunuşu : Bazaltik kayalardaki boşluklarda stilbit ile birlikte oluşur. çökel kayalarda birincil mineral olarak bulunur.



Şekil 1. Bazı zeolit mineralleri ve özellikleri (MTA, 1994).

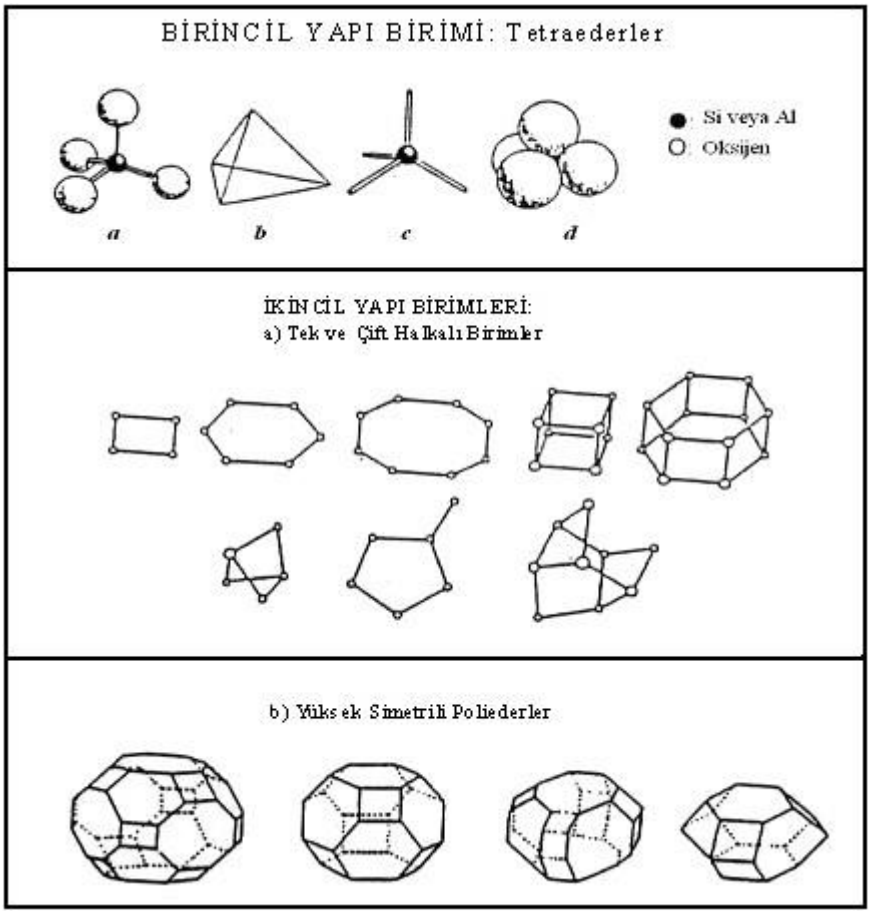
Zeolitlerin başlıca temel özellikleri:
1. Gözenekli kafes yapısında olmaları,
2. Yüksek iyon değiştirme kapasitesine sahip olmaları,
3. Moleküler elek olabilme özelliği,
4. Yapı bozunması gerekmeden bünyesine su alabilmesi ya da bünyesindeki suyu verebilmesi (dehidratasyon ve rehidratasyon özelliği),
5. Düşük yoğunluklu olmaları, 6. Silis bileşimine sahip olmalarıdır.
7. Zeolitler benzer fiziksel özelliklere sahip olduklarından, tanınmaları için genellikle X-ışınları kırınım yöntemi kullanılır. Zeolit minerallerine normal bir mikroskop altında isim vermek çok zordur (Mumpton, 1978).

Zeolitlerin kristal yapıları

Zeolit yapısının üç bölümden oluştuğu düşünülebilir:

a) Alüminosilikat temel
b) Metal katyonları içeren bağlantılı boşluklar/kanallar
c) Su molekülleri

Şekil 2'de görüldüğü gibi zeolitlerin kristal yapısının temel öğesi SiO_4 ve AlO_4 tetraederlerinin oluşturduğu birincil yapı birimleridir.



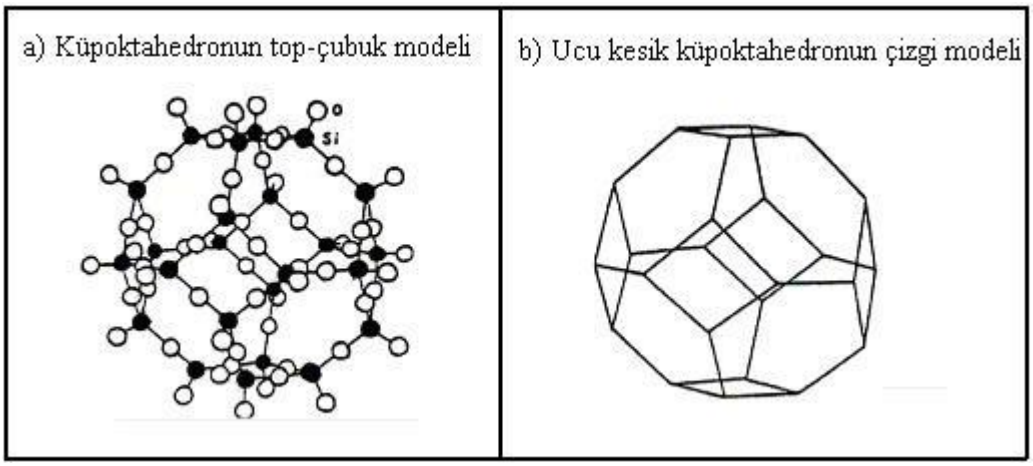
Şekil 2. Zeolit kristal yapılarında yapı birimleri. Birincil yapı birimi ve İkincil yapı birimleri: a) Tek ve çift halkalı birimler, b) Yüksek simetrili poliederler (Breck, 1974).

Tetraederlerin birleşmesi ile sıra ile tek ve çift halkalı ikincil yapı birimleri ve yüksek simetrili poliederler meydana gelir (Şekil 2 ve 3). Bu poliederlerin ve ikincil yapı birimlerinin üç boyutta değişik şekillerde dizilmesi ile de mikro gözeneklere sahip zeolit iskeleti ortaya çıkar (Şekil 4).

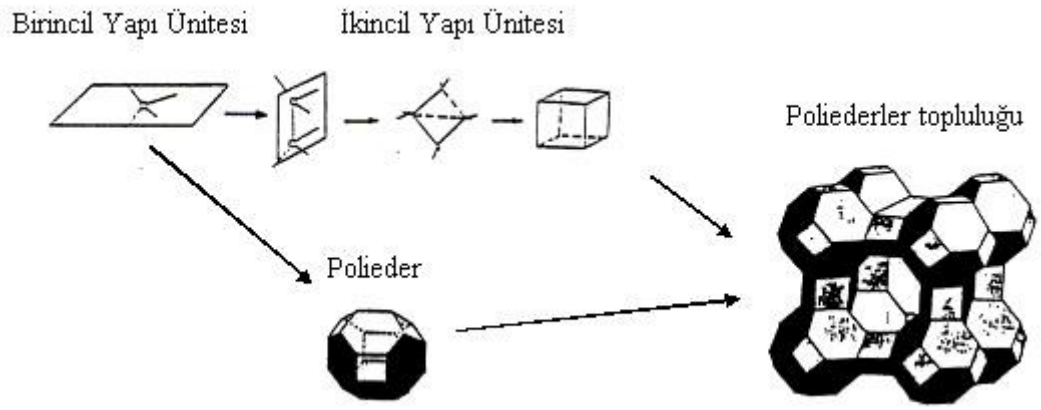
Doğal zeolitlerin tüm ticari uygulamalarında bu minerallerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinden birinden ya da birkaçından yararlanılmaktadır. Bunlar;

a) İyon değiştirme özelliği,
b) Adsorbsiyon (moleküllerin katı yüzeye tutunması) ve buna bağlı moleküler elek olma özelliği,
c) Dehidratasyon ve rehidratasyon özelliği,
d) Yüksek silis içeriği olarak verilebilir.

Söz konusu özellikler, her bir zeolit türünün kristal yapısının, iskeletinin ve kanal ya da boşluk sistemlerinin katyonik bileşiminin bir fonksiyonudur (Mumpton, 1978).



Şekil 3. Alüminyum ve silikat tetraederlerinin oluşturduğu basit çokyüzlüler (Bu çok yüzlülere ucu kesilmiş küpoktahedron denir). a) Küpoktahedronun top-çubuk modeli, b) Ucu kesik küpoktahedronun çizgi modeli; çizgiler tetraederlerin merkezinde çakışırlar (Mumpton, 1978).



Şekil 4. Zeolit iskeletinin oluşumu (Mumpton, 1978).

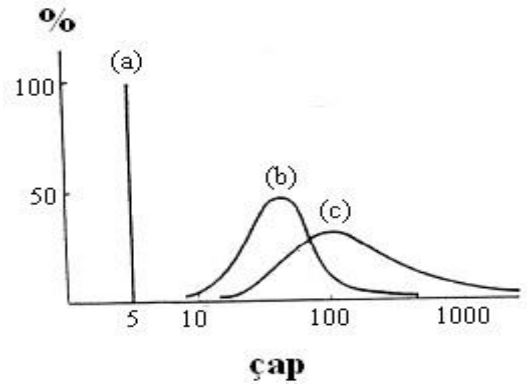
Katyon değiştirme özelliği

Zeolitlerin iyon değiştirme kapasitesi, temelde iskelet yapısındaki Si'un yerine geçen Al miktarının bir fonksiyonudur. Bir başka deyişle, Al miktarı arttıkça, daha fazla yük eksikliği ortaya çıkacak, sonuçta da yapıdaki alkali ve toprak alkali elementlerin miktarı yükselecektir. Söz konusu kapasite pratikte, katyon türlerinin özelliklerine (cinsi, boyutu, değerleri ve yapıdaki görevleri), sıcaklığa, çözeltideki katyon türlerinin derişimine ve zeolit mineralinin cinsine bağlıdır.

Adsorpsiyon özelliği

Zeolitlerin en önemli özelliklerinden biri adsorpsiyona, diğeri ise bal peteğine benzeyen mikro gözenekli bir yapıya sahip olmalarıdır. Adsorpsiyon, kimi moleküllerin katı yüzeylere tutunması olayıdır. Mikro pencerelerle birleşerek bir boşluk ya da kanal sistemi oluşturan bu mikro gözenekler ise normal oda sıcaklığında su ile dolu durumdadır. Zeolitik su olarak adlandırılan bu su, zeolitler ısıtıldığında yapıdan uzaklaşır. Bu olay zeolitlerin önemli bir kesiminde kristal yapıda değişikliğe neden olmaz. Genellikle 350-400 ^{0}C'de ısıtılarak buharlaştırılan suyun kristal yapıda bıraktığı boşluklar, bu boşluklara sığabilecek büyüklükteki gaz ya da sıvı molekülleri ile doldurulabilir (Flanigen ve Mumpton, 1981).

Ancak zeolitler, diğer mikro gözenekli yüzey soğuruculardan (silika jel, aktif karbon ve alümina gibi) farklı olarak, homojen bir mikro pencere ya da kanal giriş çapına sahiptir (Şekil 5). Bu nedenle, bir gaz ya da sıvı karışımından sadece bu pencerelerden geçebilecek büyüklükteki moleküller adsorplanır. Daha büyük olanlar zeolit yapısının dışında kalır (Not. Burada adsorpsiyon olayı, absorpsiyon olarak bilinen olaydan farklı bir olaydır. Absorpsiyon, atmosferdeki gazların bir kısmının güneşten gelen radyasyon –ışıma- enerjisini yaratan bazı dalgaları yutması olayıdır).



Şekil 5. Mikro boşluklu adsorbentlerde boşluk boyutlarının dağılımı:
a) Susuz kristalin zeolit, b) Silika jel, c) Aktif karbon (Breck, 1974).

Zeolitler, polar moleküllere daha fazla ilgi gösterirler. Bu özelliğin temelinde kristal yapının anyonik niteliği ve bu yapının elektrik yükünü dengeleyen katyonların neden olduğu elektrostatik alan vardır. Bunun sonucu olarak, H_2O, CO_2 ve H_2S gibi polar moleküller, polar olmayan moleküllere tercih edilirler. Bu özellikleri nedeniyle, doğal gazların CO ve benzeri gazların temizlenmesinde doğal zeolitlerden yararlanılır. Ayrıca zeolitler, kuru ağırlıklarının %30'una kadar gaz ya da sıvı molekülünü adsorplayabilirler (Flanigen ve Mumpton, 1981).

Dehidratasyon ve rehidratasyon olayları

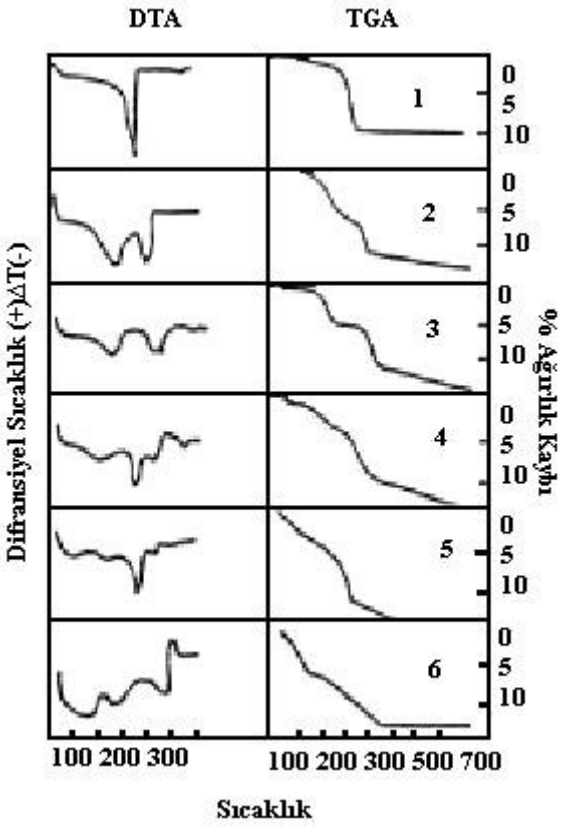
Zeolitler ısıtıldıklarında yapılarındaki zeolitik suyu verebilmekte (dehidratasyon) ve soğutulduklarında bu suyu tekrar geri alabilmektedirler (rehidratasyon). Zeolitler, 100 ^oC'nin üzerinde gerçekleşen dehidratasyon sırasındaki davranışlarına göre iki gruba ayrılabilirler:

1)Dehidratasyon sırasında kristal yapı değişikliği göstermeyen ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak sürekli bir ağırlık kaybı göstermeyen zeolitler.

2)Dehidratasyon sırasında önemli kristal yapı değişiklikleri ve sıcaklığa bağlı olarak sürekli ağırlık kaybı gösteren zeolitler.

Bunlardan birinci grupta, 700-800 ^oC'ye kadar kristal yapısında önemli değişiklikler gözlenmeyen sentetik Zeolit-A ve –X ile doğal zeolitlerden şabazit, mordenit, eriyonit ve klinoptilolit bulunur. Bu mineraller yukarıda belirtilen sıcaklıklara kadar dehidratasyon-rehidratasyon özelliklerini koruyabilmektedirler. Buna karşın, natrolit grubu zeolitlerin oluşturduğu ikinci grup, sadece düşük sıcaklıklarda (örneğin 300 ^oC'nin altında) dehidrate edildiklerinde kaybettikleri su moleküllerini tekrar adsorbe edebilirler.

Ancak, daha önce büyük yapısal değişiklikler meydana gelir. Bu da endoterm eğrisinde keskin, ağırlık artışı eğrisinde dik değişikliklerle kanıtlanır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise, ısıtma etkisi ile meydana gelen yapısal değişiklikler bu minerallerin zeolitik karakterlerinin kaybolmasına neden olurlar (Flanigen ve Mumpton, 1981). Natrolit mineralinin dehidratasyon sırasındaki davranışı diferansiyel termal analiz (DTA) ve termal gravimetrik analiz (TGA) grafikleri Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Natrolit grubu minerallerin DTA ve TGA eğrileri:
1-Natrolit, 2-Mezolit, 3-Skolesit,
4-Tomsonit, 5-Gondaldit, 6-Edingtonit (Breck, 1974).

Yukarıda sunulan analiz türlerinin yanı sıra zeolit minerallerinin dehidratasyon özelliklerinden yararlanılan teknolojik uygulamalarda, mineral türlerinin ısıl kararlılıklarının bilinmesi gerekir (Flanigen ve Mumpton, 1981).

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Sulu alüminosilikatların bir grubu olan zeolitler, çökel kayaların farklı türlerinin en önemli **otijenik** bileşenlerinden biridir. Zeolitler, volkanik cam, kristalin ve kristalin olmayan killer, feldispat, feldispatoyid ve hatta zeolitin kendisi gibi birçok minerallerden oluşurlar. Bununla birlikte; yüksek kimyasal etkileşimi, bileşenlerinin zeolite benzer olması, zaman ve alan bakımından yaygın olmaları nedeniyle volkanik cam parçaları doğal zeolitin en uygun ve önemli başlangıç malzemesidir. Sonuç olarak camsı volkano-tortul kayalar, zeolitin ana kayası kadar önemlidir.

Zeolitin türü ve miktarı, başlıca ana kayanın dokusunun ve bileşiminin, dokular arası suyun bileşiminin, yaşın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişir. Zeolitler metamorfizmada gömülme sırasında ve sonrasında, genellikle gözenek sularıyla katı alüminyum silikat gereçlerin (volkanik cam, feldispat, biyojenik silis ve kil mineralleri) tepkimesiyle oluşur. İlk oluşan zeolitler klinoptilolit ve fillipsit olup daha sonra ise analsim, höylandit, lömontit oluşur. Zeolitik reaksiyonların hızını belirleyen en önemli kimyasal parametre pH olup; 9,5'ta birçok sahra gölünde olduğu gibi önemli miktardaki zeolitler birkaç bin yılda oluşabilir.

Zeolitik oluşumların çoğu, jeolojik ortamların, hidrolojik sistemlerin ve çökellerin çeşitli tiplerinden birinde saptanmaktadır. Bunlar: 1. birincil magmatik zeolitler, 2. kontakt metamorfizma, 3. hidrotermal alterasyon, 4. gömülme diyajenezi, 5. yeraltı suyu sızması (açık sistem), 6. bozunma (topraklar ve kara yüzeyleri), 7. alkalin tuz çökelleri (kapalı sistem), 8. denizel jeolojik ortamlar, 9. derin deniz çökelleri. Bu oluşum tipleri zeolit zonlamasının karakteristik tipleriyle sonuçlanır. Zeolitlerin tüm mono mineralli çökelleri tuzlu, alkalin göllerin ve açık hidrolojik sistemlerin bozunmuş (altere) tüfleri olarak bulunurlar.

ÜRETİM YÖNTEMLERİ ve TEKNOLOJİSİ

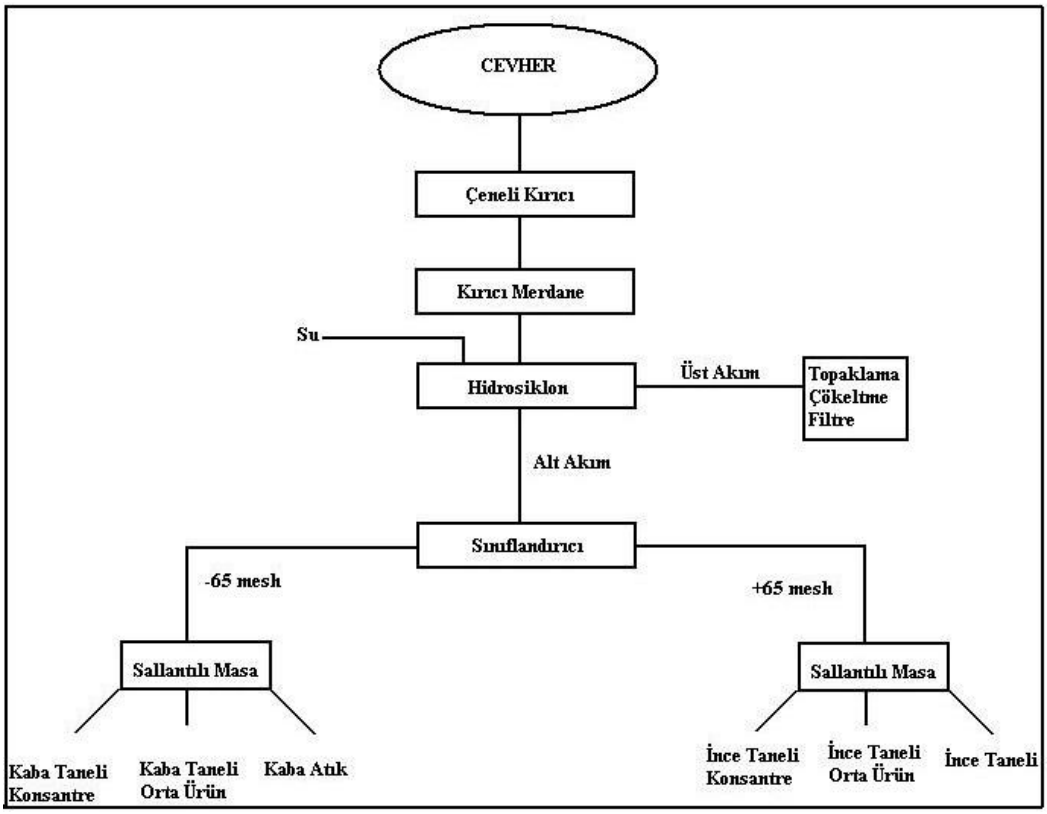
Zeolit cevheri daha çok yatay olarak yataklanmıştır. Bilinen yataklanmaların hemen tümünde ya çok az bir örtü vardır ya da bir kısmında da örtü yoktur. Bu nedenle genel olarak **açık ocak işletme yöntemleri** ile cevher çıkarılmaktadır.

Diğer minerallerle karşılaştırıldığında zeolit madenciliği oldukça basittir. Zeolit içeren birimler yüzeye yakın olmaları nedeniyle toprak örtüsü fazla olmadığından dekapaj nadiren yapılmaktadır. Cevher genellikle yumuşak olduğundan, patlatmaya gerek duyulmadan çıkartılan cevher, maden sahasında kırılıp elendikten sonra, çuval ya da yığın halinde tüketim yerine sevk edilir. Zeolit cevherleri özellikle bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmamaktadır. Ancak; kuvars, feldspat, kil mineralleri, mika ve kalsit içerebilen düşük kaliteli zeolit mineralleri, kırma ve eleme işlemleri sırasında zenginleştirilirler.

Dünya'da zeolit üretimi yaklaşık 40 yıldan beri yapılmaktadır. Üretici ülkelerin başında ABD, Japonya, Kanada, Avustralya, Küba, Çin ve Kore gelmektedir. Ülkemizdeki ve Dünya'daki zeolit üretim yöntemleri aynıdır. Ülkemizdeki ve Dünya'daki üretim teknolojileri arasındaki tek fark, tesis büyüklükleri ve ülkemizdeki tesislerde halen kurutma ünitelerinin olmamasıdır.

Zeolit üretimi ham cevherin doğadan çıkarılıp yalnızca **kırma-kurutma** ve **eleme** ile değişik boylarda sunulmasından ibaret olduğundan, üretim olarak herhangi bir hammadde girdisi yoktur. Üretim girdisi olarak, **akaryakıt, elektrik ve iş gücü** sayılabilir. Üretim ve talep miktarları sağlıklı değerlendirilmediğinden, bu verilerin sunulması bir anlam taşımayacaktır. Zeolit cevherinin çıkartılıp piyasaya sunulmasına kadar geçirdiği teknolojik işlemler Şekil 7'de sunulmuştur.

Zeolitlerin kullanım alanlarına göre ufalanabilmeleri ve belirli boyutlarda gruplanabilmeleri büyük önem taşımaktadır. Zeolitler iyon değiştirici olarak kullanılacakları zaman, 20-50 mesh (0,84-0,50 mm), 30-40 mesh (0,60-0,40 mm), 30-80 mesh (0,60-0,17 mm) gibi yakın boyut gruplarına sınıflandırılmaları gerekmektedir. Adsorpsiyon amacı ile kullanılacakları zaman, 35 mesh (0,50 mm), 50 mesh (0,30 mm), 80 mesh (0,17 mm) ve 100 mesh'lik (0,14 mm) eleklerle sınıflandırılarak kullanılırlar.
Dolgu malzemesi olarak kullanılacakları zaman ise boyutlar daha da küçülerek mikro boyutlara inilmektedir.



Şekil 7. Zeolit cevheri zenginleştirme tesisinin akım şeması (Çerikçioğlu, 1997; Yılmaz, 2009'dan).

Zeolitlerin kullanım alanları çok çeşitli olduğu gibi, zeolit üreticileri tarafından piyasaya sunulan ürünler de çok çeşitlidir. Zeolitler ayrıca tane boyutuna göre sınıflandırılmaktadır. Örneğin Amerika'nın önemli zeolit üreticilerinden olan Double Eagle Petroleum and Mining isimli firmanın piyasaya sunduğu ürünleri -50 mesh (-0,30 mm), 50-20 mesh (0,30-0,84 mm) ve 20-2 mesh (0,84-13 mm) boyutlarında gruplandırmaktadır. Avustralya'nın East-West Minerals NL firması ise tane boyutları esas alınarak zeolitleri daha farklı gruplar halinde sınıflandırıp pazara sunmaktadır.

KULLANIM ALANLARI

Zeolitlerin endüstriyel alanlarda kullanılabildiği 1940'lı yıllardan beri bilinmesine karşın, tali mineral olarak volkanik kayaların boşluk ve çatlaklarında bulunduğunun da bilinmesi kullanımlarını sınırlamıştır. Ancak 1950'li yıllardan sonra denizel ve gölsel tüflerin zeolit içerdiklerinin saptanmasıyla, doğal zeolitlerin kullanım alanları hızla genişlemiştir (DPT, 2000).

Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan, iyon değişikliği yapabilme, adsorbsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli sanayi alanlarında kullanılmalarına yol açmıştır. Son yıllarda önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerin bu özelliklerinden biri ya da birden fazlasının değerlendirilmesi sonucu kullanım alanları, kirlilik kontrolü, enerji, tarım-hayvancılık, maden-metalürji ve diğer alanlar olmak üzere 5 ana bölümde toplanabilir.

Kirlilik denetimi

Radyoaktif atıkların temizlenmesi

Nükleer santral atıklarında bulunan ve çevre sağlığı açısından tehlikeli olan Sr^{90}, Cs^{137}, Co^{60}, Ca^{45} gibi izotoplar, zeolitlerle tutulabilmektedirler. Böylece atık sudan alınan radyoaktif atıklar, zeolitle birlikte gömülerek zararsız hale getirilmektedir. Bu alanda asitlere dayanıklılıkları nedeniyle klinoptilolit ve mordenit kullanılmaktadır.

Atık suların temizlenmesi

Zeolit, şehir ve endüstri tesislerinin atık sularında bulunan azot, balık ve diğer su faunasına zehirli etki yapmanın yanı sıra bu faunanın beslenmesi için gerekli alglerin üremesini de engellemektedir. Atık sularda bulunan azot ve istenmeyen bazı ağır metal katyonları (örneğin Pb^{+2}) zeolitler tarafından tutulmaktadır. ABD'de klinoptilolit kullanılarak atık sulardaki amonyum, % 99 oranında arıtılmıştır.

Ayrıca sulama ve sel suları, azotlu gübreler ve hayvan dışkısı içerdiğinden, akarsu ve gölleri kirletmektedir. Bunu önlemek için doğal ve yapay gübreler, klinoptilolitle karıştırılarak kullanıldığında azotun fazlası tutularak zararsız hale getirilmekte ve gübre kullanımında tasarruf sağlanmaktadır. Üst Tüf klinoptilolit oluşumlarının, yüksek miktarda Pb^{+2}, düşük miktarlarda da Cu^{+2}, Zn^{+2} ve Cd^{+2} içeren ve çevre kirliliğine neden olan atık suların temizlenmesinde kullanılabilir nitelikte olduğu görülmüştür. Ayrıca, klinoptilolit/höylandit ve simektitçe zengin Bigadiç bor havzasındaki Alt Tüf biriminin ise Bor'un tutulması yönüyle küçük de olsa bir potansiyele sahip görülmektedir (MTA, 2000).

Baca gazlarının temizlenmesi

Petrol ve kömür kullanan tesislerin bacalarından çıkan CO_2 ve diğer kirletici gazlar, zeolitlerin adsorblayıcı özelliği ile ayrılabilmektedir. Mordenit ve klinoptilolitin bu alanda çok iyi sonuçlar verdiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur.

Petrol sızıntılarının temizlenmesi

Kirlilik kontrolü uygulamalarında yeni gelişen bu alanda aktifleştirilmiş zeolit, genleştirilmiş perlit, sodyum karbonat, tartarik asit ve % 20 metilsiloksan içeren bir bağlayıcıyla peletlenmiş halde kullanmaktadır. Özgül ağırlığı 0,5 g/cm^3 ve yağ adsorblama kapasitesi 0,97 g olan bu malzeme, 200 saat suda yüzebilmekte ve tanker facialarında denize dökülen yüzeydeki petrolü adsorblamaktadır.

Oksijen üretimi

Yüzyılımızın sorunlarından olan su ve hava kirliliği yaşam için gerekli olan oksijenin azalmasına neden olmaktadır. Akarsu ve göllerdeki oksijen eksikliği, bu ortamlarda yaşayan balık ve bitkilerin yok olmasına neden olurken, kapalı bir yerdeki oksijen azlığı insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu durumlarda zeolitlerin azotu seçimli adsorblama özelliklerinden yararlanarak bu ortamlara oksijence zenginleştirilmiş hava sağlanabilmektedir. Oksijen üretiminde, daha çok yapay zeolitlerden yararlanılmakla birlikte, doğal zeolitlerden özellikle mordenit ve bazı klinoptilolitlerle, şabazit kullanılabilir görülmektedir.

Toprak kirliliğinin denetimi

Doğal zeolitlerin katyon değiştirme özelliklerinden sadece besleyici iyonların bitkiye aktarılmasında faydalanılmayıp, aynı zamanda beslenme zincirlerinde Pb-Cd-Zn-Cu gibi istenmeyen bazı ağır metal katyonlarının tutulmasında da yararlanılabilir. Bu alanda kullanılan klinoptilolitin, radyoaktif kirlenmenin söz konusu olduğu topraklara eklenmesi ile bitki tarafından alınan S^{90} miktarının büyük ölçüde azaltıldığı da saptanmıştır.

Organik atıkların uzaklaştırılması

Bu alanda kullanılan doğal zeolitler dışkıların kötü kokusunun giderilmesini, nem içeriklerinin kontrolünü ve dışkılarının oksijensiz ortamda çürümesiyle oluşan metan gazının diğer gazlardan ayrılmasını sağlamaktadır. Koku giderimi ve nem içeriğinin denetimi ile hayvan barınaklarında daha sağlıklı koşul yaratılmaktadır.

Enerji sektörü

Dünyanın gittikçe büyüyen enerji gereksinimi; kömür ve petrolün yanında nükleer ve güneş enerjisi gibi geliştirilmekte olan diğer değişik enerji kaynaklarından karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu kaynakların da enerjiye dönüştürülmesi sırasında yapay ve doğal zeolitlerden yararlanılmaktadır.

Kömürün gazlaştırılması

Kömür gereksiniminin gün geçtikçe artması nitelikli ve kolay işletilebilir rezervlerin azalması, çok derinde bulunan ya da kükürtçe zengin kömür yataklarının işletilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu tür yataklarda, kömür, yeraltında yakılarak gazlaştırılır ve elektrik enerjisine çevrilir. Bu işlem sırasında zeolitler kömürün yeraltında yakılabilmesi için gerekli oksijenin üretilmesinde ve yanma sırasında oluşan SO_2'nin yanında patlayıcı özellikteki azot oksit ve hidrokarbonların temizlenmesinde kullanılabilmektedir. Ancak bu kullanım yaygın değildir.

Doğal gazların arıtılması

Zeolitler, 1968 yılından beri kirli ya da saf olmayan doğal gazlarından CO_2'in uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanma (Hidratasyon)

Zeolitlerin sıcaklığa bağlı olarak su alıp verme özelliklerinden yararlanarak, klinoptilolit ve şabazit üzerinde yapılan uygulamalarda, küçük yapıların ısıtılması ya da soğutulması, diğer bir deyişle, zeolitlerin güneş enerjisinin transferinde ısı değiştirici olarak kullanılması mümkün görülmektedir.

Petrol ürünleri üretimi

Burada genellikle, adsorbsiyon kapasiteleri ve etkin gözenek çapları doğal zeolitlere göre daha yüksek olan yapay zeolitler kullanılmakla birlikte petrol ve gaz içeren alanların aranması ve eski ortam koşullarının belirlenmesinde önemli bilgiler veren doğal zeolitler, petrol ve gaz üretimi ile bunların inceltilmesinde (rafinasyonunda) bazı özel uygulamalarda kullanılabilmektedir. Doğal gazlardan H_2O ve CO_2, mordenit, şabazit ve klinoptilolit kullanılarak ayrılmaktadır. Ayrıca doğal zeolitlerden petrol inceltilmesinde (rafinasyonunda) yararlanılabilecek nitelikte katalizörler üretilmiştir (MTA, 2000).

Tarım ve hayvancılık

Zeolitli tüfler, gübrelerin kötü kokusunu gidermek, içeriğini denetlemek ve asit volkanik toprakların pH'nın yükseltilmesi amacıyla uzun yıllardan beri kullanılmaktadır.

Gübreleme ve toprak hazırlanması

Doğal zeolitler, yüksek iyon değiştirme ve su tutma özellikleri nedeniyle toprağın tarım için hazırlanmasında, çoğunlukla kil bakımından fakir topraklarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca klinoptilolitin yüksek amonyum seçiciliği nedeniyle gübre hazırlanmasında taşıyıcı olarak ya da amonyumun bitkiler tarafından daha etkin biçimde kullanılmasına katkısı nedeniyle gübre tasarrufu sağlanmaktadır.

Tarımsal mücadele

Tarımsal mücadelede, iyon değiştirme ve absorplama kapasitelerinin yüksek olmasından dolayı, doğal zeolitlerden ilaç taşıyıcı olarak yararlanılmaktadır.

Besicilik

Yemlerine zeolit eklenen tavuk, domuz ve geviş getiren hayvanların normal yemlerle beslenenlere oranla sağlıkları bozulmaksızın ağırlıklarının artığı belirlenmiştir. Bu alanda kullanılan zeolitlerin başlıcaları klinoptilolit ve mordenit'tir. Yemlere katılan klinoptilolit, koyun ve sığır gibi hayvanların geviş sıvısındaki amonyağın zehirli etkisini azaltmaktadır.

Su kültürü

Göl ve göletlerde biyolojik artıkların neden olduğu kirliliğin temizlenmesinde doğal zeolitler, özellikle klinoptilolit etkin olarak kullanılmaktadır. Bu kirlilikler arasında en tehlikelisi ise, su kültür ortamlarında zehir etkisi olan amonyum (NH_4^+) katyonudur. Bu katyonun temizlenmesinde, özellikle klinoptilolit etkin olarak kullanılmaktadır. Ayrıca doğal zeolitlerden, canlı balık taşımacılığı ve su kültür ortamlarında gereksinim duyulan oksijence zengin hava akımının temininde de yararlanılmaktadır (MTA, 2000).

Madencilik ve Metalürji

Maden yataklarının aranması

Volkanik malzemenin hidrolizi sonucu oluşan zeolitler, cevher yataklarının oluşumlarının açıklanması yanında, aramalarında da kullanılabilir. Japonya'da tüflü kumtaşlarındaki uranyum cevherleşmesinin klinoptilolit-höylanditli düzeylere bağımlı olduğu belirlenmiştir. Zeolitli tüflerin borat oluşumları ile ilişkileri olduğu ortaya konulmuştur.

Metalürji

Çevre sağlığı açısından tehlike oluşturan bazı ağır metal katyonları içeren madencilik ve metalürjik faaliyetlerinden ortaya çıkan atık sular, doğal zeolitlerin katyon değiştirme özelliklerinden faydalanılarak arıtılabilmektedir. Ayrıca pirometalürji sanayinde $CaCO_3$ ve doğal zeolit karışımı Cu-Pb alaşımlarının eritilmesinde ortaya çıkan zararlı dumanları % 90 oranında uzaklaştırmaktadır.

Diğer kullanım alanları

Kâğıt endüstrisi

Yüksek parlaklığı olan zeolit cevherleri, kâğıt endüstrisinde dolgu maddesi olarak gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Klinoptilolit katkılı kâğıt, normal kil katkılı kâğıtlara göre daha tok olup, kolay kesilebilmekte ve mürekkebi daha az dağıtmaktadır. Klinoptilolit 10 mikrona kadar öğütüldüğünde aşındırma endeksi % 3'den az, parlaklığı 80 civarında bir malzeme özelliği kazanır. % 28 zeolit tozu katılmış bir karışımdan klasik kâğıda göre çok daha hafif kâğıt üretimi mümkündür.

İnşaat sektörü

Puzzolan çimento ve beton: Zeolitik tüf yatakları, birçok ülkede puzzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzzolanlar, son beton ürününün daima yeraltı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli yararlar sağlamaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin çözülmesini sağlayabilmektedir.

Hafif agregat: Perlit ve diğer volkanik camlar gibi doğal zeolitler de genleşmeye uygundur. Genleştirilmiş zeolitlerin sıkışma ve aşınmaya karşı dayanımı daha yüksek olup, genleştirilmiş hafif agregat üretilmektedir.

Boyutlandırılmış taş: Zeolitik tüfler, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen, sıkı-sağlam yapılıdırlar. Kolayca kesilip işlenebilmeleri ve hafiflikleri ile yapı taşı olarak kullanılırlar. Birçok ülkede uzun yıllar bu amaçla kullanılan camsı volkanik küller ve değişime uğramış tüflerin zeolit içerikli olduğu son yıllarda anlaşılmıştır.

Sağlık sektörü

Doğal zeolitler bu alanda çeşitli şekillerde kullanılmakla birlikte, bunlar arasında en önemlisi klinoptilolitin flörürlü diş macunlarında parlatıcı katkı maddesi olarak kullanılmasıdır. Doğal fillipsitler, hemodiyaliz sıvısındaki amonyağın azotunu da ayırabilir.

Deterjan sektörü

Çevre kirlenmesi nedeniyle deterjanlarda fosfat kullanımı bazı ülkelerde kısıtlanmaktadır. Bu yüzden deterjan katkı maddesi olarak zeolitler fosfatlarının yerine kullanılmaktadır (MTA, 2000).

ÇEVRE SORUNLARI ve ÇÖZÜM YOLLARI

Zeolitlerin üretimi için de hem ocak işletmesine hem de cevher zenginleştirmeye gereksinim vardır. Öte yandan, Etibank Bigadiç Kolemanit işletmesinde (Baysal ve diğerleri, 1986) boratlı kaya birimlerin üzerinde yer alan örtü katmanında bulunan zeolitli tüfler, üretimi yapan firma tarafından değerlendirilmiştir. Onun için kolemanit üretimine bağlı olarak ortaya çıkan çevre sorunlarının zeolit üretiminde de yaşanabileceği belirtilebilir.

Türkiye'deki zeolit yataklarının büyüklüğü, kalitesi, işletilmesi ve kullanım alanları üzerindeki bilgilerin azlığı, bu kaynakların kullanımına engel olmaktadır. Ancak, pilot çapta ürün kullanımını belirleme çalışmaları için küçük ölçeklerde üretim yapılmaktadır.

Zeolit sektörünün çevre üzerinde olumsuz etkileri sınırlıdır. Ocak işletmesi sırasında ortaya çıkması olası tozlardan ileri gelen hava kirliliği ve gürültü denetlenebilir. Büyük boyutlarda sıvı atıklar ortaya çıkmamaktadır. Ocak işletmesi sonrasında çevrenin yeniden düzenlenmesinde yarar vardır.

Yukarıda da ifade edildiği gibi, Zeolitler, çevre kirliliğini denetim çalışmalarında ve diğer alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Zeolit çevreye zarar veren bir kaynaktan çok çevre sorunlarının çözümünde önemli işlevi olan bir kaynak olarak düşünülebilir. Ancak her faaliyetin üretim ve kullanım evrelerinde çevre üzerinde etkileri vardır. Dolayısıyla ÇED Yönetmeliği (2022) dikkate alınarak söz konusu faaliyetlerin yürütülmesinde yarar vardır.

SONUÇLAR

Zeolitler hem jeolojik olayların açıklanması hem de endüstriyel hammadde olmaları açısından önemlidirler. Çeşitli jeolojik zamanlarda ortaya çıkan zeolit mineralleri ile volkanik cam arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Bozunmuş (altere) volkanik kayaların tanımlanması zeolit mineralleri ile mümkündür. Ayrıca zeolit minerallerinin ayrıntılı incelenmesi ile bir bölgenin volkanolojik evriminin ortaya çıkarılmasının yanı sıra, gömülme metamorfizması/diyajenezi koşullarının ya da kil ve organik parametreler ile birlikte kullanılarak petrollü zonlar belirlenebilir.

Gelişen sanayi ve teknolojiye bağlı olarak endüstriyel hammaddelere olan talep her geçen yıl tüm Dünya'da artmaktadır. Kullanılmaya özellikle 1960'lı yıllardan itibaren başlanan zeolit mineralleri, endüstriyel hammaddeler arasında ekonomik açıdan giderek daha da önem kazanmaktadır (Baysal ve diğerleri, 1986). Sanayileşme sürecinde olan Türkiye'nin ekonomik girdilerinin önemli bir kısmı tarım sektöründen sağlanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında zeolitlerin Türkiye'deki en önemli kullanımının tarım sektöründe olduğu düşünülebilir (Yılmaz, 2009).

Son yıllarda özellikle Batı Anadolu'da Neojen yaşlı gölsel (Gündoğdu vd., 1996) ve Orta Anadolu'da denizel Eosen yaşlı volkano-tortul havzalarda yapılan çalışmalar (Yalçın, 1997) Türkiye'nin önemli bir zeolit potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Ancak zeolit rezervi hakkında Bigadiç dışında ayrıntılı bilgiler bulunmamaktadır. Bundan sonra zeolit konusunda yapılacak çalışmaların zeolit oluşumları açısından umut veren bölgelere yöneltilmesi, sondaj, yarma, galeri gibi yöntemler kullanarak rezerv saptama çalışmalarına gidilmesi, bulunan zeolit minerallerinin hangi alanlarda daha iyi kullanılabilir özellikte olduğunun belirlenmesi yararlı olacaktır.

Yapılması gereken çalışmalar

Doğal zeolit sektörünün üretimindeki en büyük karmaşa, zeolitin Maden Yasası'ndaki tanımından kaynaklanmıştır. Doğal zeolitler bilindiği gibi 40'a yakın üyesi bulunan bir mineral grubunun adıdır.

Maden Yasasında bu belirtilmediği gibi işletilebilecek zeolitin tenörü de belirlenememiştir. Dolayısıyla içinde çok az zeolit bulunan kayalar bile zeolit olarak ruhsatlandırılmıştır.

Standartlar yönüyle doğal zeolitlerin kullanımına yönelik herhangi bir çalışma yoktur. Özellikle eriyonit gibi bazı doğal zeolitlerin lifli mineraller ya da zararlı elementler içermeleri nedeniyle bunlara belirli standartlar getirilmesi gereklidir. Ayrıca kullanım alanları açısından ürün standartlarının çok iyi belirlenmesi ve TSE belgesi istenmesi yaygınlaştırılmalıdır.

Aşırı yapay gübre ve tarımsal ilaç kullanımı, çevre kirliliğine yol açmaktadır. Doğal zeolitlerin gerek toprak düzenleyici olarak kullanımı gerekse gübre katılması ya da tarımsal ilaç taşıyıcısı olarak kullanımı, yeraltı ve yerüstü suların korunmasında doğrudan yarar sağlamaktadır. Bu nedenlerle, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın kısa dönemde doğal zeolit kullanımını zorlayıcı ya da yapıcı yasal düzenlemeleri yapması gerekmektedir. Ayrıca, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın arıtma sektöründe doğal zeolit kullanımı için teşvikler ve sınırlamalar getiren yasal düzenlemelere gitmesinde yarar vardır.

Doğal zeolitlerin kullanım alanlarına yönelik projeler ve araştırmalar desteklenmeli ve yurt dışındaki gelişmeler yakından izlenip gerek üniversite gerekse araştırmacı kurumların uluslararası ortak projeler yapmaları teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

Baysal, O., Gündoğdu, M.N., Temel, A. ve Öner, F., 1986, Bigadiç Zeolit Oluşumlarının Ekonomik Jeoloji Açısından İncelenmesi Projesi, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Proje no. YUVAM/85-2, Ankara, 155 s. (yayınlanmamış).

Breck, D.W., 1974, Zeolite Molecular Sieves, John Wiley & Sons., Inc., New York, 771 s.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

Çerikçioğlu, B., 1997, Doğal Zeolitler, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Sivas, 110 s.

DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel hammadeleri alt komisyonu, Genel endüstri mineralleri cilt 2, Mika-zeolit-lületaşı çalışma grubu raporu, Ankara,76 s.

Flanigen, E.M. ve Mumpton, F.A., 1981, Commercial Properties of Natural Zeolites, In Mineralogy and Geology of Natural Zeolites, F.A. Mumpton ed., Book Crafters Inc., Michigan, s. 165-174.

Gündoğdu, M.N., Yalçın, H., Temel, A., Clauer, N., 1996. Geological, mineralogical and geochemical characteristics of zeolite deposits associated with borates in the Bigadiç, Emet and Kırka Neogene lacustrine basins, Western Turkey. Mineralium Deposita, 31, 6, 492-513.

MTA, 1994, Mineraller, MTA Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara, 72 s.

MTA, 2000, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Genel Endüstri Mineralleri (İsmail Seyhan ve diğerleri), Cilt II, Ankara, 76 s.

Mumpton, F.A., 1978, Natural Zeolites: A New Industrial Mineral Commodity, In Natural Zeolites, occurence, properties, use, L.B. Sand and F.A. Mumpton eds., Pregamon Press, New York, 285302.

Yalçın, H., 1997. Eosen yaşlı denizaltı volkanizması ile ilişkili İç Kuzey Anadolu zeolit oluşumları. C.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri, 14, 43-56.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

3. 3-EVAPORİTLER

GENEL BİLGİLER

Çökel kayalar, kırıntılı kayatürü topluluklarında, çözeltilerin buharlaşmasından (evaporasyon) sonra inorganik ve organik gereçlerin pekişmesi ve kayalaşması sonucu oluşan kayalardır. Çökel kayaların gereçleri, değişik kayatürlerinden ve çeşitli organizmaların kalıntılarından oluşmaktadır.

Çökel kayalar iki temel gruba ayrılırlar;

1. Kırıntılı (çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı gibi) kayalar
2. Kimyasal ve biyolojik (kireçtaşı, dolomit, çört, evaporitler, kömür gibi) kayalar

Kimi çökel havzalarında, petrol ve evaporit gibi biyolojik ve kimyasal kökenli önemli iki bileşenin birlikte bulunması ilginçtir. Denizel evaporitler, ekonomik öneme sahip mineral birliktelikleri sunmaları nedeniyle yıllardır pek çok araştırmaya konu olmuşlardır. Bunların önemi yalnızca tuz içerikleri ile sınırlı değildir. Ayrıca ekonomik olarak önemli metal sülfit çökelleri (Zechtein tuz serisi) ve petrol (Midland Elk Point Baseni ve diğer alanlar) içermeleri de önemlerini artıran diğer unsurlardır.

Dünya'daki otuz dokuz ana petrol üretim alanının on yedisinde evaporitlerle petrol rezervleri arasında bir birlikteliğin olduğu görülmektedir (Moody, 1959). Weeks (1961) büyük petrol birikiminin olduğu yirmi istifte evaporitlerin de evreler halinde petrol birikimine eşlik ettiğini belirtmektedir. Birçok petrol sahasında rezervuarlar geçirimsiz bir anhidrit katmanıyla örtülü olup birçok resif rezervuarı evaporit birimleriyle komşudur. Ayrıca petrol, tuz domları ile ilişkili kapanlardan da üretilebilmektedir.

Birçok alanlarda evaporitler, kaynak kaya olarak düşünülmesine karşın bu görüş tam anlamıyla kanıtlanamamıştır. İlk kez Woolnough (1937) tarafından "Sınırlı Basenler" konulu araştırmasında bu ilişki irdelenmeye çalışılmıştır. Hedberg (1967) ve diğer araştırmacılar da bu konu üzerinde bazı çalışmalar gerçekleştirmiş ve evaporitlerin öneminin sınırlı su dolaşımına sahip kapalı havzaların organik madde korunumuna uygun jeokimyasal koşullara sahip olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Peterson ve Hite (1969), evaporitlerle ilişkili petrollerin çoğunun diğer derin denizel ortamlardan evaporitik ortamlara doğru sürüklenen organik madde kırıntıları ya da eriyiklerden oluştuğunu ileri sürmektedir (Yılmaz, 2009'dan).

Jips ya da jips-halit çökelmesinin oldukça fazla olduğu denizel ortamlar, **mezosalin** özellikte olup bu ortamların temel özellikleri; büyük miktarda organik madde üretiminin olması, diğer çökeller ile organik madde karışımının fazla olmaması ve yeterli su derinliğinde organik maddenin korunmasını sağlayacak koşulları sağlayabilmesi olarak sıralanabilir.

Mezosalin ortamlar, evaporitik ortamlar içinde tuzluluğu % 4-12 arasında olan ve kimyasal kayaların çökeldiği bölgelerdir. Evaporitik kayalar, Dünya'da pek çok petrol sahasında karbonat rezervuarların örtü kayası (Orta Doğu ve Batı Kanada) ya da tuz diyapirleri boyunca etkili yapısal kapanlar olarak bulunmaktadır. Jeolojik olarak evaporitler genellikle göreli nemliliğin düşük, sıcaklığın yüksek olduğu kurak sahalarda bulunmaları, eski iklimin anlaşılmasıyla ilgili çalışmalarda kullanılmalarını sağlamaktadır.

Tanımlamalar

Evaporitler ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (Özdemir, 1975; JMO, 2004). Buna göre evaporitler, aşırı tuzlu denizel ya da gölsel suların buharlaşması ile oluşan kimyasal çökel kayalardır. Evaporitlerin çökelebilmesi için yüksek oranda tuz derişiminin olması gerekir. Tuz çökellerinin ana kaynağı deniz suyu olmasına rağmen, daha az oranda tuzlu su kaynakları ve yeraltı suyu da bu kayaların oluşumlarında etkili olabilmektedir.

Evaporitler, buharlaşma sonucunda çökelebildikleri gibi diyajenez süresince başlangıçta evaporit içermeyen kayalarda ornatma yolu ile de gelişebilirler. Evaporitlerin oluşumları ile ilgili pek çok görüş vardır. Ancak, evaporitlerin deniz suyundan buharlaşma ile oluştukları kabul edilmektedir. Abu Dhabi'de gelgit düzlüğünde oluşan evaporitler, sığ denizel evaporitlere örnektir. Derin denizel evaporit çökelme modelleri henüz kuram aşamasındadır. Sığ denizel evaporitler, genellikle deniz yönünde gelgit karbonat çökellerine kara yönünde ise kırmızı karasal kumtaşlarına geçiş gösterirler. Evaporitler karbonatlara oranla çok daha kalın çökeller oluşturabilirler (Salem vd., 1986).

Atmosferik süreçlerin, kimyasal ve biyolojik olayların denetiminde oluşan kaynaklardan biri de buharlaşma yoluyla meydana gelen evaporitik kökenli maden yataklarıdır. Örneğin, tuzlu sığ sulardaki

buharlaşma sonucu kimyasal çökelme ile meydana gelen Jips, Anhidrit, Kaya tuzu, Potas, Nitrat, Sodyum sülfat ve Borat tuzları kapalı, gölsel ya da denizel havzalarda oluşurlar. Evaporit çökelme ve çözünme sırası tuzların çökelerek yoğunlaştığı alanlar, sıcak ve kuru iklimin egemen olduğu çöllerdeki göller ve denizel ortamlardır.

Örneğin Kuzey Afrika'daki bazı göller, Hazar Denizi, Kızıl Deniz günümüzde de evaporitik kaynakların oluşumunu sürdürdüğü bölgelerdir. Evaporitler, okyanuslarla bağlantılı iç denizlerde (yani sabka ortamlarında) ya da denizlerle bağlantısı olmayan gölsel (playa) ortamlarda oluşmaktadır.

Tuzlu bir su kütlesinde yer alan tuzlar, buharlaşmayla (evaporasyon) önce yoğunlaşır ve tuzlardan biri doyuma (sursaturasyon) ulaşınca çökelmeye başlar. Az çözünen tuzlar önce, kolay ve çok çözünen tuzlar sonra çökelmekte ve genel çerçevede bir sıralanma meydana gelmektedir. Normal koşullarda deniz suyunun buharlaşması ile aşağıdaki sıraya göre çökelme gerçekleşir. Ca ve Mg karbonatlar, Ca sülfat (jips ve anhidrit), NaCl, K ve Mg tuzları (klorür, nitrat ve sülfatları). Ne var ki tuzların suda çözünme derecesine, sıcaklığın yanı sıra tuzun yoğunluğu, türü ve jeolojik süre (zaman) evaporitlerin oluşumunda önemli rol oynar. Bazı tuz türleri, çökelme sırasında ya da çökelmeden sonra değişime uğrarlar.

Örneğin, $CaSO_4$ (Anhidrit) $\xrightarrow{2H_2O}$ $CaSO_4.2H_2O$ (Jips)

Evaporitler, suyun buharlaşması sonucu oluşan kristallerden meydana gelirler ve deniz suyu ya da bir tuz gölünün buharlaşmasının ürünüdürler. Evaporitler iç içe büyüyen bir kristalin dokuya sahiptirler.

Deniz suyu tümüyle buharlaştığında çeşitli tuzlar arta kalır. Bunlardan **kaya tuzu** (Halit, NaCl) en bol olanıdır. Yemek tuzu olarak ya da kimya sanayinde kullanılan kaya tuzu, Sivas yöresinde Zara- Cedit ve Çarkı tuzlaları, Merkez-Bingöl ya da Faldım tuzlalarında çeşitli bomeler halinde bulunurlar. Bu tuzlalarda elde edilen ürünler, Sivas ili ve dolayının yanı sıra ülkenin gereksinimini büyük bir ölçüde karşılamaktadır.

Jips (Selenit, $CaSO_4.2H_2O$), **anhidritin** ($CaSO_4$) değişimi sonucu oluşan bir üründür. Jips 120/130 ^oC'de suyunun $^3/_4$'ünü yitirir ve **alçıya** ($CaSO_4.1/2H_2O$) dönüşür. Alçı su ile karıştırılırsa bir süre sonra katılaşır. Bu niteliğinden yararlanarak jips heykel yapımında, kalıp almakta, inşaatta, dişçilikte ve ilaç sanayinde kullanılır. 190 ^oC'de ısıtılan jipsler suyunu tümüyle yitirir. Jipsin bu sıkı yapılı türüne **albatr** denir. Bu madde de tuz asidinden çok kolay etkilenir. Alçı, tarımda da, özellikle asidik toprakları terbiye etmekte kullanılır. Jipslerde gelişen karstik oluşuklar, genellikle faylar boyunca gelişir.

Jipsin geniş kullanım alanları olmasına karşın kimi zaman zararlı yan etkileri de vardır. Örneğin jips suda kolay çözünen ve çeşitli zararlı iyonları yeraltı ya da yerüstü sulara bırakarak, su kaynaklarını kirleten bir evaporittir. Onun için Sivas yöresinde çok geniş bir yayılıma sahip olan jipsin başlı başına incelenmesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortaya konulması ve olabildiğince yararlı yönlerini değerlendirmek, zararlı yönlerini de en aza indirmek üzere çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Doğada, evaporitlerin hidratlı şekli olan **jips (ya da kaya jipsi)** ve hidratsız şekli olan **anhidrit** ve kaya tuzundan daha yaygındır. Jips, çökelme süresince ilk ayrılan evaporit minerali olup henüz tuzluluğun yoğun olmadığı bir evrenin ürünüdür. Jips, az ya da çok kaya tuzu ile beraber bulunur. Kaya tuzunun kalın katmanları jips ve anhidrit ile birlikte yer alır. Kimi yerlerde deniz suyunun tümüyle buharlaştığı yerlerde potasyum tuzları (KCL) ve Potas, Salsoda, Boraks, Nitratlar, Na_2SO_4 ve epson tuzları gibi diğer değerli geç kristalleşen mineraller de oluşur. Ekonomik sülfit yatakları da yerel olarak evaporitlere eşlik eder.

Sınıflandırmalar

Evaporitlerin çökelme dinamikleri yeterince bilinmektedir (Scruton, 1971). Bunlar, oluştukları ortamlara göre denizel ve karasal evaporitler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar (Çizelge 1).

Çizelge 1. En yaygın denizel ve denizel olmayan evaporit mineralleri.

Denizel evaporitler		**Denizel olmayan ya da karasal evaporitler**	
Halit	NaCl	Halit, Jips, Anhidrit	
Silvit	KCl	Epsomit	$MgSO_4.7H_2O$
Karnalit	$KMgCl_3.6H_2O$	Trona	$Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O$
Anhidrit	$CaSO_4$	Mirabilit	$Na_2SO_4.10H_2O$
Jips	$CaSO_4.2H_2O$	Tenardit	$NaSO_4$
Polihalit	$K_2MgCa_2(SO_4)_4.2H_2O$	Bloyedit	$Na_2SO_4.MgSO_4.4H_2O$
Kiyeserit	$MgSO_4.H_2O$	Gaylusit	$Na_2CO_3.CaCO_3.5H_2$
Kayinit	$KMgClSO_4.3H_2O$	Globerit	$CaSO_4.Na_2SO_4$

Denizel evaporitler

Eşik şeklindeki bir yükselti ile açık denizden ayrılmış olan, üstten devamlı olarak deniz suyu ile beslenen, ancak buharlaşma sonucu yoğunlaşmış suyun bir engel nedeniyle bu sularla alttan karışmasının mümkün olmadığı ortamlarda oluşmaktadır. Yüksek buharlaşma oranı nedeniyle yok olan su miktarı, yağmur ya da akarsularla karşılanmaktadır. Örneğin, sınırlı ortam koşullarında bulunan 100 m kalınlığındaki deniz suyu ancak ilksel hacminin yaklaşık % 85'i buharlaştığında evaporit minerallerinin çökelmesini sağlayacak koşullara sahip olmaktadır. Oldukça sığ ve çok hızlı buharlaşmaya uğrayan bir havzada kalınlığı birkaç yüz metre olabilen, çok kalın tuz katmanları, kilometrelerce kalınlıkta deniz suyunun buharlaşması sonucunda oluşabilmektedir.

Denizel ortamların daha derin kesimlerinde yer alan evaporitler içinde çok kalın katmanlar halinde sodyum ve potasyum klorürler yer almakta ve yanal yönde yüzlerce kilometre devamlılık sunan halit, anhidrit katmanları sık görülmektedir. İstifin en altında yer alan karbonatlar ise planktonik ve nanno organizmaların bol miktarda bulunduğu açık denizel fosilleri içermektedirler. İstifin alt bölümündeki anhidrit katmanları içinde, organik madde bakımından zengin ince çamurtaşı, şeyl (bitümlü şeyl) düzeyleri yer almaktadır. Evaporitlerin oluştuğu ortamlar, genellikle lagün olarak adlandırılmaktadır.

Lagünler; set adaları gerisinde bulunan ve kısmen egemen iklime de bağlı olarak değişik oranlarda sığlık gösteren ortamlardır. Günümüzde tuzlalarda yapılan pek çok çalışma, eski denizel evaporitlerin sığ, yavaş çökelen havzalarda (kurak ya da yarı kurak iklimlerde) meydana geldiklerini göstermektedir.

Karasal evaporitler

Magmatik, metamorfik ya da çökel kayaların kimyasal bozunmaları ile ortaya çıkan, HCO_3^-,Ca^{+2}, SO_4^{-2} iyonları, yüzey sularında bulunan önemli bileşenlerdir. Bu nedenle karasal kökenli evaporitik kayaların bileşimi, yüzey sularının ortaya çıktığı ve bunların akarak toplandığı bölgelerde bulunan kayaların ya da toprağın bileşimine geniş ölçüde bağlıdır. Karasal kökenli evaporitik kayaları oluşumlarına göre üç grupta toplamak mümkündür.

1. Tuz çiçeklenmeleri, kabuksu tuz oluşumları
2. Tuz bataklıkları, tuz çanakları
3. Tuz gölleri

Stepler ve yarı çöl bölgeleri gibi kurak bölgelerde yüzeyde tuz çiçeklenmeleri ya da kabuksu tuz oluşumları gerçekleşmektedir. Giderek yükselen yeraltı suyunun buharlaşması sonucu yüzeyde ya da yüzeyin hemen altında toprakta tuz kristalleşmeleri olmaktadır. Bu kesimlerde yer alan mineraller başlıca kalsit, aragonit, jips ve halittir. Bu bileşenler yüzeyde giderek zenginleşerek kabuksu bir görünüm almaktadırlar. Yoğun tuzlu su ile doygun çamur içinde ve bataklık yüzeyinde de tuz kristalleşmeleri gelişmektedir. Tuz çanakları, kimi zaman kuruyan kısımlar arasında su birikintileri içeren tuz göllerine bir geçiş fasiyesi sunarlar.

Karasal evaporitik kayaların önemli çökelme ortamlarından biri de kıtasal ortamlardır. Bu ortamların kıta içi ve deniz kıyısı olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Kıtasal ortamların en iyi bilinen örneği, Kızıldeniz ve Ölüdeniz arasındaki Arava Vadisi güneyindeki Yotvata Sabkası'dır. Sabkalar, yeraltı suyunun derinliği, suyun bileşimi ve bitki dağılımına göre üç bölüme ayrılarak incelenebilmektedir. Bunlar;

1. Bitki bakımından çorak, orta kesim
2. Geçiş zonu
3. Bitki örtülü dış zonudur.

Dış zondan iç zona gidildiğinde yeraltı suyu tablası sabkanın tavanına doğru yükselmekte ve bu doğrultuda suyun tuzluluk oranı artmaktadır. Jips çökelleri geçiş ve dış zonda, halit çökelmesi ise merkez ve geçiş zonunda gerçekleşmektedir. Genellikle sabkalar playa gölleri kenarında oluşmaktadır.

Playalar karasal bir evaporit çökelme ortamıdır. Playa sözcüğü kıyı, kenar ya da bir su kütlesinin kenarı olarak kullanılmaktadır. Bazen bu terim ile bir playa gölünün kuru yatağını ifade etmek mümkün olabilmektedir. Playalar, çöl alanlarında genellikle ince bir su tabakasıyla örtülü geniş, sığ çöküntü alanlarıdır. Bu alanlar yüzeysel akaçlama alanlarından yoksun olup, alanın en düşük topografik yüzeyinde oluşmaktadır. Bu kesime gereçler yeraltı suları ile gelmektedir. Yeraltı suları ile gelen gereçler playaların zeminindeki çökellerin geçirimsiz olması nedeniyle birikirler.

ÖZELLİKLERİ

Aşağıda bazı önemli evaporit minerallerinin temel özellikleri sunulmuştur:

Kaya tuzu:
Kimyasal bileşimi, NaCl **Kristal sistemi**, kübik
Kristal biçimi, çoğunlukla kübik kristalli; masif, tanesel, kompakt
Sertlik, 2 **Özgül ağırlık,** 2.168
Dilinim, (001) mükemmel
Renk ve şeffaflık, renksiz, beyaz, sarı, turuncu, kırmızımsı, mor, mavi; şeffaf-yarı şeffaf
Parlaklık, camsı
Ayırıcı özellikleri, suda kolay çözünmesi, şekli, tadı
Bulunuşu, halit, evaporit ortamlarda yaygın olarak oluşan bir kaynaktır. Tuzlu suların buharlaşması ile oluşan evaporit yataklarında bulunur. Güncel olarak playa ortamlarında oluşabilir. Silvin, jips ve anhidrit gibi minerallerle birlikte bulunur. Kaya tuzu mineralinin genel görünümü aşağıda görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kaya tuzunun görünümü (MTA, 1994). **Silvin:**

Kimyasal bileşimi, KCl **Kristal sistemi,** kübik
Kristal biçimi, çoğunlukla kübik bazen oktahedron kristalli; masif, kompact, tanesel, sütunsal **Sertlik,** 2
Özgül ağırlık, 1.993
Dilinim, (001) mükemmel
Renk ve şeffaflık, beyaz, gri, mavimsi; şeffaf
Parlaklık, camsı parlaklıkta
Ayırıcı özellikleri, halite çok benzer, tadı daha keskin ve acıdır.
Bulunuşu, halit mineraliyle aynı ortamda, buharlaşma ile oluşur. Sudaki çözünürlüğü halite göre daha az bulunur. Silvin mineralinin genel görünümü aşağıda görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Silvinin görünümü (MTA, 1994).

Sölestin:

Kimyasal bileşimi, $SrSO_4$ **Kristal sistemi**, ortorombik
Kristal biçimi, levhamsı veya prizmatik kristalli, bazen lifsi veya tanesel
Sertlik, 3-3.5 **Özgül ağırlık**, 3.97
Dilinim, (001) mükemmel
Renk ve şeffaflık, renksiz mavimsi beyaz, beyaz, mavi bazen kırmızımsı; şeffaf-yarı şeffaf

Çizgi rengi, beyaz **Parlaklık**, camsı
Ayırıcı özellikleri, yüksek özgül ağırlığı, dilinimi, rengi
Bulunuşu, yaygın olarak sedimanter kayalarda özellikle dolomitlerde boşlukların çeperlerinde, anhidrit ile birlikte evaporit çökellerde, hidrotermal damarlarda, nadiren bazik magmatik kayalarda ikincil olarak oluşur. Barit, jips, halit, anhidrit, kalsit, dolomit ve fluorit ile birlikte bulunur. Sölestin mineralinin genel görünümü aşağıda sunulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Sölestin (MTA,1994).

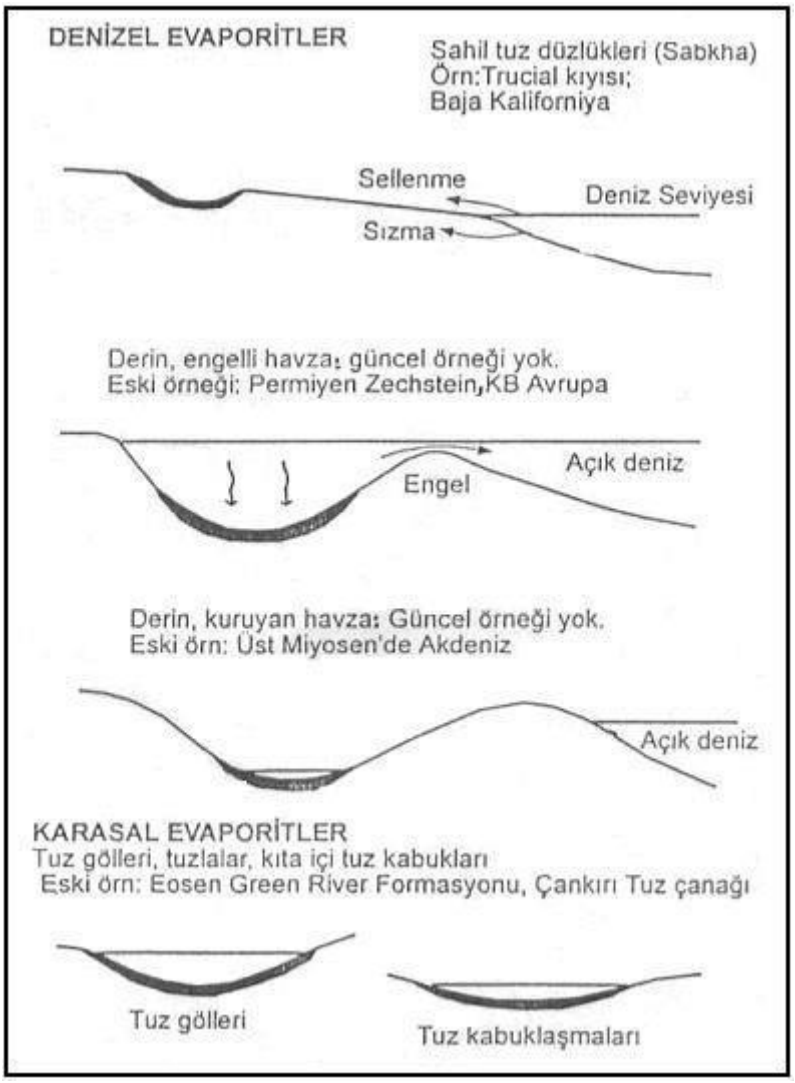
KÖKENİ VE OLUŞUMU

Evaporitik ortamlarda mineral oluşumu, suyun bileşimi, derişimi, sıcaklık ve basınç gibi etmenlerle denetlenmektedir. Yaklaşık seksen dolayında evaporit minerali bilinmekte olup, bunlardan en tanınanları halit, jips ve anhidrittir. Bu mineral topluluğu hem denizel hem de gölsel evaporitler içerisinde bulunmakta ve bazı mineraller yalnızca bir ortama dâhil edilebilmektedir. Örneğin trona ve soda yalnızca gölsel ortamlarda bulunurken, polihalit ve kiyeserit yalnızca denizel evaporitler içinde yer almaktadır.

Jeolojik öneme sahip evaporit dizilerinin çökelme ortamlarındaki bazı temel koşullar aşağıda sunulmuştur:

1. Ortamın kuru ve genellikle yüksek bir buharlaşma oranına sahip olması,
2. Tuzlu suyun yoğunlaştığı kapalı ya da yarı kapalı bir alanın varlığı, 3. Aralıklarla gelişen ya da sürekli sağlanan deniz suyu girişi, 4. Tuz birikimine uygun diğer fiziksel koşullar.

Evaporitler, denizel ve karasal ortamların her ikisinde de oluşmaktadır (Şekil 4). Ortamların tümü kurak ve yarı kurak iklim niteliklerini yansıtmaktadır. Evaporit kayalarının ortamlarını yalnız mineralojik bileşimine dayanarak ayırt etmek olası değildir. Bu kayaların jeokimyasal özelliklerinin de araştırılması gerekmektedir (Yılmaz, 2009).



Şekil 4. Evaporitik kayaların çökelme ortamları (Özdemir, 1975).

Evaporitik ortamların petrol açısından kaynak kaya oluşturma potansiyelleri

Güncel tuzlu göller, tuz birikintileri ve lagünlerde yapılan birçok çalışma evaporitik ortamların organik madde korunması ve üretimi bakımından çok verimli alanlar olabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Tuzlu sular içinde yaşayan canlı tür sayısı az olmakla birlikte bu türlerin bazıları oldukça fazladır. Denizel evaporitik ortamlarda yüzey akıntılarının akış doğrultusu devamlı daha tuzlu kesimlere doğru olduğundan, gereç ve besin akışı bu kesimlerde oldukça yoğundur. Güncel okyanusların yükselim alanlarında da buna benzer verimli plankton büyümesi gerçekleşmektedir. Tuzlu suyun katmanlanması ve dip kesimlerin indirgen özellikler göstermesi organik maddenin büyük bir kısmının bu kesimlerde korunmasına neden olmaktadır.

Ayrıca, evaporitik ortamlarda oluşan petrolün yerleştiği ve içinde yer aldığı kapanların tuz tektoniği çerçevesinde (Talbot ve Jackson, 1987) ayrıntılı çalışmaları yapılmalıdır.

Kaynak kayanın petrol oluşturma özelliği

Petrolün türediği kaynak, çökeller içerisinde çökelen organizmalara ait organik bileşiklerdir.

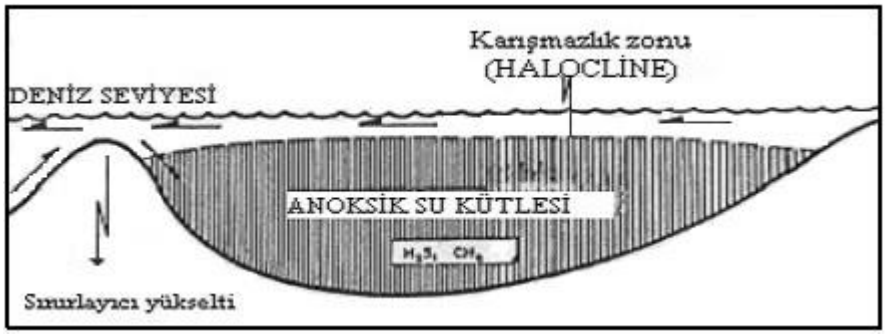
Organizmalar içerisinde asitler, alkoller ve yağlar halindeki bu bileşikler, çökelme sırasında uğradıkları biyokimyasal ve fizikokimyasal tepkimeler ile çeşitli hidrokarbon türevlerini oluşturmaktadır. Büyük miktarda ve hızlı bir şekilde üreyen denizel planktonlar ve denizel canlılar petrolün hammaddesini oluşturan yağ asitleri ve amino asitler içermektedirler.

1000 m'yi aşmayan karaya yakın sularda bol miktarda planktonik canlı yaşamaktadır. Çünkü bu canlıların yaşaması için gerekli olan azotlu ve fosforlu tuzların önemli bir kısmı karalardan nehirlere, buradan da denizlere taşınmaktadır. Ayrıca derin yerlerde fazla olan fosfor da suların kabarması ile sığ platform alanlara taşınmaktadır. Bu nedenle sığ sularda önemli oranda bir canlı yaşam sürmekte ve bunların kitlesel ölümleri petrole kaynak olabilmektedirler. Yeryüzünde bilinen petrol kaynak kayalarının başlıca dört farklı anoksik ortam koşullarında oluştuğu bilinmektedir.

1. **Anoksik göller:** Büyük göllerde, karbonat çökelim evresine kadar anoksik koşullar gelişmez. Göl suyu karbonatça doygun duruma erişince sudaki organik yaşam da göreceli olarak artar. Böylece, göldeki anoksik koşullar oluşmaya başlar ve sonuçta organik maddece zengin marnların çökelmesi gerçekleşir. Bunu köklü sucul bitkiler ve göl çevresinden taşınan diğer bitkilerle beraber turbaların çökelmesi izler.

2. **Yarı kapalı anoksik havzalar**: Yarı kapalı anoksik ortamları güncel örnekler üzerinde inceleyen bazı araştırıcılar (Demaison ve Moore, 1980) iki ayrı model önermişlerdir. Bunlar;
   a. Pozitif su dengeli yarı kapalı havzalar
   b. Negatif su dengeli sınırlı havzalar

Birinci tip havzaya Karadeniz örnek olarak verilebilir (Şekil 5). Karadeniz de nehir ve yağmur sularının karıştığı denizin üst kesimleri İstanbul Boğazı yoluyla büyük miktarda dışarı boşalmaktadır. Geride tuzluluğu oldukça düşük, oksijence zengin ve derinliği en fazla 150-200 m olan su kütlesi kalır. Bu derinliğin altında ise su dolaşımının yokluğu nedeniyle anoksik koşullar egemendir. Oksijen girdisinin yok denecek kadar az olduğu hidrojen sülfürlü su kütlesi ile üst kesimdeki oksijence zengin su kütlesi arasındaki karışmazlık sınırı halocline adı verilen doğal bir zon oluşur. Bu sınırın altında hiçbir balık ya da omurgasız canlılar yaşayamaz.

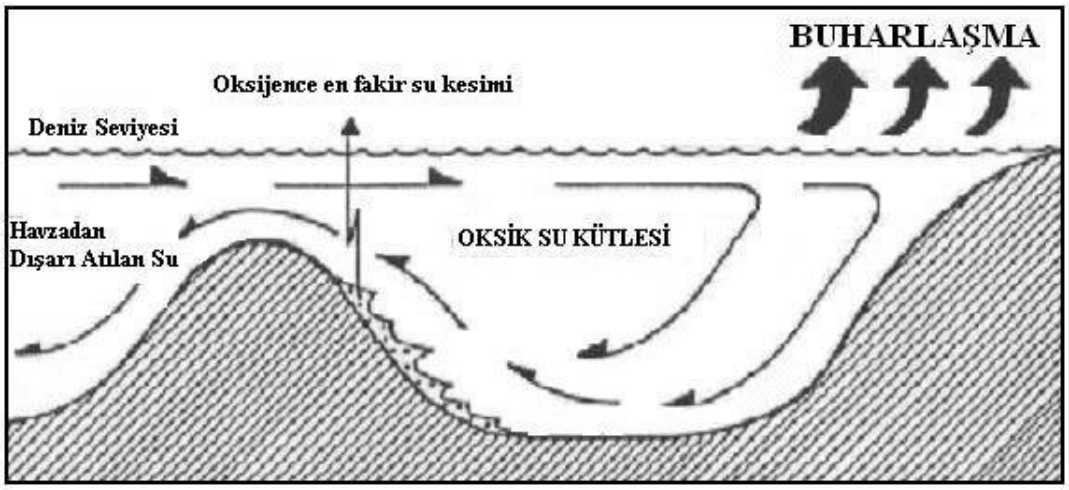


Şekil 5. Pozitif su dengeli yarı kapalı anoksik havza modeli, Karadeniz (Demaison ve Moore, 1980).

İkinci tip havzaya ise Akdeniz ve Kızıldeniz örnek olarak verilebilir (Şekil 6). Negatif su dengeli yarı kapalı havzalarda anoksik koşullar çok sınırlı alanlarda gelişmektedir. Bu alanlar su dolaşımının fazla etkilemediği alanlar olup organik maddenin yoğunlaştığı yerlerdir (Demaison ve Moore, 1980).

3. **Su kabarması (upwelling) sisteminin etkisinde kalan kıta sahanlıkları**: Su kabarması 1937 yılında ilk kez Kazakov tarafından tanımlanmıştır (Gulbrandsen, 1969; Tucker, 1987). Karadan denize doğru esen kuvvetli rüzgârların süpürdüğü su kütlesinin yerine, dengeyi sağlamak için derin okyanus sularının ters akıntılarla kıta sahanlığı yamacını aşarak kıyıya doğru devinimi su kabarması olarak tanımlanabilir.

Bu işleyişle sahanlığa ulaşan derin okyanus suları oksijence fakir, besin ve besin niteliğindeki azot ve fosfor gibi elementlerce zengindir. Bu nedenle, bu suların ulaşabildiği sahanlık alanlarında biyolojik yaşam canlanmakta ve organizma sayısında artış gerçekleşmektedir. Buna koşut olarak oksijen tüketimi ve karbonat üretkenliği artar. Ölen organizmalar dibe çöktükçe ortamda mevcut olan sınırlı oksijeni de kullanarak çürümeye başlarlar ve böylece kıta sahanlığında anoksik koşullar gelişmeye başlar.



Şekil 6. Negatif su dengeli yarı kapalı havza modeli, Akdeniz ve Kızıldeniz (Demaison ve Moore, 1980).

4. **Açık deniz (okyanus) anoksik ortamlar**: Günümüz okyanuslarının derin kesimlerinde anoksik su kütlelerinin oluştuğu bilinmektedir. Örneğin, Hint Okyanusu'nun kuzey kesimleri, Pasifik Okyanusu'nun kuzeyi ile Atlantik Okyanusu'nun güneydoğu kesimlerinde oksijenin sınırlı olduğu su kütleleri bulunmaktadır. Bu anoksik su kütleleri, Karadeniz'deki anoksik su kütlesine göre hacim olarak daha geniş alanları kaplamaktadır (Demaison ve Moore, 1980).

Petrol kaynak kayalarının taşıması gereken temel özellikler aşağıda sunulmuştur:

1. Depolanma sırasında, organik maddenin çökeller tarafından çok fazla seyreltilmemesi (yeterli organik madde varlığı),
2. Çökelme hızı arttıkça, çökeller içindeki organik maddelerin korunması,
3. Organik maddenin petrol oluşturabilir özellikte olması,
4. Çökelme ve erken diyajenez sırasında organik maddenin mikrobiyolojik bozunma etkisinden korunması,
5. Organik maddeden petrole doğru diyajenetik bir dönüşümün gerçekleşmesi.

Organik maddenin korunması

Mesosalin ortamlardaki verimli organik üretim, havzanın derin bölgelerindeki lipidce zengin organizmaların ölümü sonucunda gerçekleşmektedir. Devamlı ya da aralıklarla okside olan sığ veya hipersalin lagünlerdeki dip su çökelleri az miktarda organik madde içermektedir. Buna örnek olarak Madre Lagünü verilebilir. Sularının ortalama derinliği yaklaşık 1.2 m olan bir lagünde çökeller çok az organik madde içermektedirler. Philippi (1965) tarafından Madre Lagünü'nün ortalama organik karbon içeriğinin % 0.4 olduğu belirlenmiştir.

Sığ lagünlerdeki çökellerde biyolojik etkenlerle organik madde hızlıca parçalanır. Açık okyanuslardaki organik maddenin büyük bir kısmı (% 97) ise dipte zenginleşmeden tamamen oksidasyona uğrayarak yok olmaktadır (Bordovskiy, 1965).

Tuzlu su katmanlanması, evaporitik havzanın geometrisine uygun olarak yüzeye yakın su kütlesinin daha yoğun tuzluluktaki su kütlesi tarafından üzerlenmesine yol açtığı koşullarda meydana gelmektedir. Üst su katmanında ve su çıkışıyla eksilen su miktarı devamlı olarak normal deniz suyu tarafından tamamlanmaktadır. Katmanlanmanın duraylılığı yüzeye yakın tuzlu suların yüksek sıcaklığı ile artmaktadır (35-40 ^{o}C). Sıcaklık yükselimi, güneşin sürekli etkisi ile olmakta ve yüzeye yakın suların tuzluluğunun artması, tuzlu suyun özel düşük sıcaklığı ve tuzlu su yüzeyindeki düşük orandaki buharlaşmanın bir sonucudur. Su kütleleri arasındaki tuzluluk sınırının derinliği havzanın yüzeyine gelene kadar kanaldan uzaklaşma oranına bağlı olarak azalır. Sınır zonunun maksimum derinliği açık deniz ve havza arasındaki kanal derinliğine bağlıdır.

Havza çökellerinin özellikleri

Karasal çökellerin eski evaporitlerin büyüklüğüne etkisi oldukça azdır. Evaporitik ortamlar için gerekli olduğu bilinen kurak ve yarı kurak iklim koşullarında, çok düşük oranda çökel birikimi olmaktadır. Bu koşullarda kalın evaporit istiflerinde belirli bir çökel dizilimi tanımlanmaktadır.

Hızlı çökmeye uğrayan bölgelerde, çökelme oranı oksijenli su nedeni ile dalga düzeyi ya da dalga düzeyi altında çökel-su girişimine izin vermeyebilir. Ya da $CaCO_3$ organik maddeler tarafından tümüyle inorganik evrelerden geçmeden önce çökelmiş olabilir. Bitki kökenli planktonların yaşadığı ortamlarda, organizmalar tarafından çökeltilen CO_2 aşağıdaki eşitliğe göre oluşmaktadır:

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

$$2HCO^-_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O + CO_3$$

Bunun nedeni, karbonat iyonu derişiminin, yani pH'la birlikte $CaCO_3$ çökelmesinin artması şeklinde yorumlanabilir. Birçok ortamdaki çökelme oranları karşılaştırıldığında mezosalin ortamlardaki $CaCO_3$ birikiminin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bir karbonat çökelmesinin önemli bir bölümü hızlı depolanma oranına sahip ortamlarda olmaktadır. Bu gereçlerin % 50'sinden fazlası mezosalin çökeller olup bunlar kil, silt, ince taneli kum, diyatomeler ve radyolariyalar tarafından çökeltilen silikat, balıklardan gelen fosfat ile temsil edilmektedirler.

Daha yüksek yoğunluktaki tuzlu sular, daha düşük yoğunluktaki tuzlu suların yerini almış olup, havzadan geri çıkan su, havzanın maksimum tuzluluk oranına sahiptir (Sr). Model içindeki yıllık ortalama buharlaşma oranı 4 m ve içeri giren suların ortalama fosfat derişimi ise % 1.5 mg PO_4/m^3'tür. Bu koşullar altında korunan yıllık organik madde ağırlığı yaklaşık 405 g/m^2, hesaplanan yıllık kaya katman kalınlığı ise 0.15 mm'dir. Böylece organik maddenin göreceli miktarı yaklaşık % 1,9'dur. Bu miktar kireçtaşlarının içindeki organik madde miktarından sekiz kat fazladır (Gehman, 1962).

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Evaporitler, genel olarak **açık işletme yöntemleriyle** üretilmektedir. Cevher zenginleştirme evresinde de benzer teknolojiler kullanılmaktadır. Örneğin sıkça kullanılan döner fırın teknolojisi ve şakuli fırın teknolojisi alçıtaşı bölümünde ayrıntıları ile sunulmuştur.

KULLANIM ALANLARI

Evaporitlerin genel kullanım alanları oldukça geniştir. Dolayısıyla evaporitlerin kullanım alanlarının her evaporit türü (alçıtaşı, bor ve trona) özelinde ele alınmasında yarar görülmektedir.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Mühendislik jeolojisinde, alan araştırmalarının önemi daha önce yapılmış olan birçok çalışmada vurgulanmıştır. Alan araştırmalarındaki amaç, temel kaya ve zeminlerin ayrıntılı bir şekilde tanımlanmasıdır. Bu tanımlamalar özellikle bazı birimler için daha da büyük bir önem kazanmaktadır.

Bu birimlerden biri de anhidritli ve jipsli birimlerin yaygın olduğu bölgelerdir. Dünyada birçok uygulamada evaporitlerin özelliklerinden kaynaklanan büyük sorunlarla karşılaşılmıştır. Bu sorunların bir bölümü alçıtaşı konusunda ele alınmıştır.

SONUÇLAR

Petrolün türediği kaynak, çökellerde yer alan eski organizmalara ait organik bileşiklerdir. Büyük miktarda ve hızlı bir şekilde üreyen denizel planktonlar ile diğer denizel canlılar petrolün hammaddesini oluşturan yağ asitleri ve aminoasitler içermektedirler. Güncel tuzlu göller, tuz gölcükleri ve lagünlerde yapılan çalışmalar, evaporitik ortamların, organik madde korunumu ve üretimi bakımından çok verimli alanlar olabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Evaporitik ortamların organik madde bakımından zenginliği ve kaynak kaya oluşturma özelliğine sahip olması bu ortamların hidrokarbon potansiyellerinin değerlendirilmesini gerektirmiştir.

Evaporitik ortamlarda mineral oluşumu, suyun bileşimi, derişimi, sıcaklık ve basınç gibi etmenlerle denetlenir. Yaklaşık 80 dolayında evaporit minerali bilinmekte olup, genellikle set adaları gerisinde bulunan, kısmen egemen iklime de bağlı olan ve değişik su derinliğine sahip lagünlerde çökelmektedir. Mezosalin ortamlar, evaporitik ortamlar içinde tuzluluğu % 4-12 arasında olan ve kimyasal çökellerin oluştuğu ortamlar olarak tanımlanmaktadır.

Çok tuzlu deniz suyunda az sayıda organizma vücut sıvısını koruyabilecek mekanizmaya sahiptir. Çünkü % 30 NaCl içeren tuzlu sular 100 atm'den daha fazla osmotik basınç oluşturmakta, bunun sonucunda da organizmalar hipersalin lagünlerde hızlı bir şekilde kurumaktadırlar. Buna karşın büyük miktarda petrol, evaporitlerle ilişkili katmanlarda bulunmakta olup bu veriler organizmaların hipersalin ortamlarda da yaşayabileceğini göstermektedir.

Evaporitik ortamlardaki tuzlu sular içinde yaşayan tür sayısı az olmakla birlikte var olan türlerin populasyonu oldukça fazladır. Denizel evaporitik ortamlarda yüzey akıntılarının akış doğrultusu sürekli daha tuzlu kesimlere doğru olması nedeniyle malzeme ve besin akışı bu kesimlerde oldukça yoğundur. Güncel okyanusların yükselim alanlarında da buna benzer verimli bitki kökenli plankton büyümesi gerçekleşmektedir. Tuzlu suyun katmanlanması ve dip kesimlerinde indirgen özellikler göstermesi organik maddenin büyük bir kısmının bu kesimlerde korunmasına neden olmaktadır. Bu koşulların sağlandığı Orta Doğu'da, Triyas-Kretase yaş aralığında birçok mezosalin oluşumun büyük petrol rezervleri için uygun koşullar oluşturduğu bilinmektedir.

Hipersalin ortamlarda yaşayan faunanın çeşitliliği ve bolluğu, lagün içi ve lagünler arası tuzluluk değerlerinin farklılığına göre değişmektedir. Olağan tuzluluk değerleri, az çeşitli fakat çok sayıda hayvanlardan oluşan topluluklar doğururken, gel-git geçitlerinin yakın dolayındaki olağan tuzluluk koşulları farklı türde fauna topluluklarının oluşumuna neden olmaktadır. Bu topluluklarda açık deniz ve lagün canlı türleri karışık olarak bulunabilmektedir.

Evaporitik ortamların kaynak kaya özelliği ile ilgili çalışmalarda türlerin azalma oranlarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Tür sayısındaki azalmaya bağlı olarak hayatta kalan türlerin sayılarında gözlenen artış, kaynak kaya oluşumunu gerçekleştirecek organik madde bolluğunun ortaya çıkmasını sağlayabilmektedir. Tuzlu sulardaki tür azalması ile birlikte organizmaların maksimum bolluğu deniz suyu derişiminin yaklaşık 2-3 katına ulaşmaktadır. Mezosalin ortamlardaki verimli üretim, havzanın derin bölgesindeki lipidce zengin organizmaların ölümü sonucunda gerçekleşmektedir.

Lagünlerin çoğunda havzaya giren deniz suyu, burada tuzlu suda yaşayamayacak bitki kökenli plankton yoğunluğunu dağıtır. Bunlar da ölerek hidrolik merkezin yakınında depolanırlar. Denizel kökenli bu organik maddeler lagün içindeki özel alanlarda otokton organik maddelere karışırlar. Ayrıca evaporitik ortamlar karasal alanlar tarafından çevrelendiği için buradan da karasal organik maddelerle beslenirler. Geniş evaporitik havzaların çoğu dünyanın subtropikal ve tropikal iklim kuşaklarında yer almaktadır.

Günümüzde bu iklim kuşaklarındaki açık okyanusların yüzeye yakın suları büyük miktarlarda azot ve fosfor bileşikleri içermektedir.

Sonuç olarak, evaporitler, jeolojik ortam ve yaşam ile olan ilişkileri nedeniyle incelenmeye ve üzerinde ayrıntılı çalışılmaya değer bir kaynaktır (Yılmaz, 2009).

KAYNAKLAR

Bordovskiy, O.K., 1965, Accumulation of organic matter in bottom sedimemts: Marine Geology, v.3, s. 33-82.

Demaison, G.J., ve G.T. Moore, 1980, Anoxic environment and oil source bed genesis: AAPG Bull., v.64, n.8, s. 1179-1209.

Gehman, H.M., 1962, Organic matter in limestones: Geochim. Et Cosmochim. Acta, v.26, s. 885-897.

Gulbrandsen, R.A., 1969, Physical and chemical factors in the formation of marine apatite: Econ. Geol., 64, s. 157-169.

Hedberg, H.D., 1967, Geologic controls of petroleum genesis, in origin of oil, geology and geophysics:7Th Petroleum Cong., Mexico City, Proc., v.2, s.3-11.

JMO, 2004, Evaporitler Tuzlar Semineri:19-23 Ocak 2004 MTA Genel Müdürlüğü: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No.81 Ankara, 368s.

Moody, J.D., 1959, Discussion, in relationship of primary evaporites to oil accumulation: 5th World Petroleum Cong., New York, Proc., sec.1, s.134-138.

MTA, 1994, Mineraller, MTA Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara, 72 s.

Özdemir, O., 1975, Evaporitler-1, TPAO Arama Grubu Yayını, Nuray Matbaası, Ankara ,282 s.

Peterson, J.A., ve R.J. Hite, 1969, Pennsylvanian evaporite-carbonate cycles and their relation to petroleum occurrrence, southern Rocky Mountains: AAPG Bull., v.53, s.884-908.

Philippi, G.T., 1965, On the depth, time and mechanism of petroleum generation: Geochim. Et Cosmochim. Acta, v.29, s.1021-1049.

Salem, R., Eren, A., Özbahçeci, H., Araç, M., Öncü, H., İşbilir, M., Üngör, A., Biçer, Z., Yılmaz, Z., ve Yılmaz, E., 1986, GDA X. Bölgedeki Maestrihtiyen sedimanlarının jeolojik ve hidrokarbon açısından yorumu: TPAO Araştırma Merkezi Rapor no. 1009, Ankara, 53s.

Scruton,P.C., 1971, Deposition of Evaporites: AAPG reprint series no 2,"Origin of Evaporites", vol.37 no.11, s. 2498-2512

Talbot, C.J. ve Jackson, M.P.A., 1987, Salt Tectonics, Scientific American, vol.257, No.2, s.58-67 Tucker,

E.M., 1987, Sedimantary Petrology, An Introduction, Blackwell Scientific Publications, 252 s.

Weeks, L.G., 1961, Origin, migration and occurence of petroleum, in G.B. Moody, ed., Petroleum exploration handbook: New York, McGraw-Hill Book Co., sp.5-1, 5-50.

Woolnough, W.G., 1937, Sedimantation in barred basin, and source rocks of oil: AAPG Bull., v.21, s.1107-1157.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

3.3.1, ALÇI TAŞI

GENEL BİLGİLER

Alçı taşı, kimyasal bileşiminde kalsiyum sülfat olan minerallerdir. Bileşiminde iki molekül kristalli su bulunan türü **jips** ($CaSO_4.2H_2O$), susuz kalsiyum sülfat ise **anhidrit** ($CaSO_4$) olarak adlandırılır. İki doğal ham maddeyi oluşturan jips ve anhidriti birlikte incelemek alışkanlık haline gelmiştir. **Alçı** ise alçıtaşının öğütülmesi ve hafifçe pişirilmesi ile elde edilen bir gereçtir. Pişirilme işi, bazen kuru havalı (sabit ve dönen) fırınlarda, bazen de nemli havalı (sabit ve dönen) fırınlarda sürekli ya da aralıklı şekilde yapılır.

Anhidrit için, bazı ülkelerdeki sülfürik asit üretimi dışında, yakın tarihlere kadar kullanım alanı bulunamamıştı. Fakat 30-40 yıldan beri özellikle kimya endüstrisinde anhidrit önem kazanmış bulunmaktadır.

Jips ve anhidrit doğada pek bol miktarlarda bulunur. Çok eski devirlerde jipsi 120-140 ^oC'a ısıtılarak alçıya çevirdikten sonra, başta Mısırlılar olmak üzere Asurlular, Çinliler, Yunanlılar ve Romalılar kullanmışlardır. Çinliler inşaatlarda, Yunanlılar ve Romalılar da hem inşaat malzemesi hem de yangın ve paslanmayı önleyen bir sıva olarak bol oranda alçıtaşı kullanmışlardır. Mimar Sinan'ın eseri olan Sokulu Cami'nin tavanlarında alçı sanatının en güzel örnekleri sunulmuştur.

Jips düşük derecede ısıtıldığı zaman kristalleşme suyunun yarısından fazlasını kaybeder. Böylece jips, alçıya ($CaSO_4.1/2H_2O$) yani Paris Alçısı'na dönüşür. Bu, bir beyaz tozdur. Bu toz yeniden su emme yeteneğine sahip olup oldukça sert bir kütle haline getirilebilir. Günümüzde çeşitli katkı maddeleri eklenerek hem alçı çamurunun plastikliğini artırmak ve prizleşme (donma=katılaşma) süresini ayarlamak, hem de üretilen son ürünlerin istenilen sertlikte olmasını sağlamak mümkündür.

Tanımlamalar

Alçıtaşı, kalsiyum sülfat içeren minerallerden (jips ve anhidrit) oluşan çökel, kimyasal bir kaya olarak tanımlanır. Kalsiyum sülfat içeren mineraller, evaporit (tuz) yataklarının başlıca mineralleridir. Yapı malzemesi sektöründe ve güzel sanatlar alanında yoğun bir şeklide kullanılan alçı, alçıtaşından elde edilmektedir.

Anhidrit ve jips minerallerinden her biri, yarı duraylı olup, biri diğerine dönüşebilmektedir. Her iki mineralin tek başına bulunduğu yataklar olmasına karşın, çoğu kez bu iki mineral birlikte bulunur.
Anhidrit, jipse oranla daha az ekonomik önemi olan bir mineral olup daha az kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle araştırmalarda alçıtaşı olarak genellikle jips ele alınmaktadır.

Gerek jips, gerekse anhidrit hiçbir zaman saf halde bulunmazlar. Alçıtaşı yeteri kadar saf olduğu zaman renksiz, saydam ya da süt beyazı renginde bulunur. Alçıtaşı yataklarına, oluşum sırasında veya sonradan yabancı maddeler karışmış olabilir. Bu yabancı maddelerin başlıcalıları, kalsiyum karbonat (CaCO3), magnezyum karbonat (MgCO3), klorürler, diğer sülfatlar, kil mineralleri, ya da silikatlar, organik maddeler ve demir oksitler olabilir. Bunun sonucu olarak alçıtaşı ancak % 85-95 arasında saf olarak üretilmektedir.

Diğer yandan, alçıtaşı, doğal hali ile çeşitli işlemlere tabi tutularak, fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine olanak tanıyan bir malzemedir. Alçıtaşı, genellikle maden ya da taş ocağından çıkarıldığı biçimi ile yani hiçbir yeni işleme tabi tutulmadan kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise bir ya da birkaç zenginleştirme işlemi uygulandıktan ve belli bir saflık derecesine yükseltildikten sonra kullanılabilmektedir.

Türk Standartları Enstitüsü tanımına göre, bir madenin alçıtaşı olarak adlandırılabilmesi için bileşiminde en az % 70 oranında $CaSO_4.2H_2O$ bulunmalıdır. Kalsiyum sülfat dehidratın doğal hali olan alçıtaşı, saf olduğu zaman bileşiminde % 79.1 kalsiyum sülfat, % 20.9 su bulunmaktadır. Saf alçıtaşı renksiz, saydam ya da süt beyazı renklerdedir. İçerisine yabancı madde karışması halinde alçıtaşı gri, sarı, kahve veya pembe renklerde bulunabilmektedir.

İyi kristalleşmiş bir alçıtaşı, levhamsı bir yapı gösterir ve ışığı yarı geçirgen halde geçirebilir ya da tümüyle saydam olabilir. Alçıtaşının önemi, onun ısıtıldığı ya da pişirildiği zaman suyunu atabilme niteliğinden ileri gelmektedir. Jips minerali, tüpte ısıtıldığı zaman su çıkarıp bulanıkmış gibi bir görünüm kazanır. Isıtma 120 ^{o}C'de gerçekleştirilirse, suyunun ¾'ünü kaybederek **alçıya** dönüşür.

Bu olayla kısmen ya da tümüyle dehidratlaşmış alçı meydana gelir ki, buna da tekrar su eklendiğinde orijinal kimyasal maddeye, yani katılaştırılmış alçıya dönüşür. Alçının ısıtma ile çıkan kristal suyunu tekrar bünyesine alarak katılaşması olayına **hidratasyon** adı verilir.

Sınıflandırmalar

Alçıtaşının pişirilme işleminden sonra elde edilen ürün, önce konkasörlerde parçalandıktan sonra, değirmenlerde belirli bir inceliğe kadar öğütülür. Elde edilen ürünlere, alçı, adi alçı, saten alçı ya da yapı alçısı gibi isimler verilir. Bu alçı türlerinin bazı özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Yapı alçısı: Yapı alçısı, alçıtaşının öğütülüp pişirilmesiyle elde edilen, genellikle yapı işlerinde kullanılan ve esas olarak CaSO4.1/2H2O ya da susuz CaSO4'dan oluşan ve kullanım amacına uygun olarak çeşitli katkı malzemeleri içeren bir alçı türüdür.

Yapı alçıları sıva işlerinde (katkısız alçı sıvası, kumlu alçı sıvası, alçı kireç sıvası) kartonpiyer işlerinin ilk kaba şekillendirilmesinde, ince sıva (perde sıvası) kalıp yapma, sıva ve süsleme işlerinde, duvar blokları, duvar kaplamaları, alçı duvar levhaları ve diğer yapı elemanlarının üretiminde kullanılır

Normal alçı: Normal alçı, alçıtaşının öğütülmesi bileşiminde ½ molekül kristal suyu kalacak (CaSO4.½H2O) şekilde dehitratasyon işlemine tabi tutularak, içerdiği kristal suyunun kısmen giderilmesi ile elde edilen yapı alçısıdır.

Katkılı normal alçı: Katkılı normal alçı, normal alçının işlenebilme özelliklerini daha uygun bir duruma getirmek üzere içine akışkanlığı, priz geciktirici (donmayı geciktirici), yumuşatıcı gibi çeşitli katkı malzemelerinin eklenmesiyle elde edilen bir yapı alçısıdır.

Susuz alçı: Susuz alçı (anhidrit alçı, anhidrit çimentosu anhidrit bağlayıcı), alçıtaşının öğütülmesi ve içerdiği 2 molekül kristal suyunun dehitratasyon işlemine tabi tutularak tümüyle giderilmesi ya da doğal anhidritin (CaSO4) öğütülmesi ile elde edilen bir yapı alçısıdır.

Katkılı susuz alçı: Katkılı susuz alçının işlenebilme özelliklerini daha uygun bir hale getirmek üzere kullanım amacına uygun olarak çeşitli katkı maddelerinin eklenmesiyle elde edilen bir alçı türüdür.

Saten alçı: Alçı sıva kaplanmış duvarlara veya beton yüzeylere uygulanır.

ÖZELLİKLERİ

Aşağıda alçıtaşının iki minerali olan jipsin ve anhidritin özellikleri ayrı ayrı sunulmuştur.

Jips

$CaSO_4.2H_2O$ bileşiminde monoklinal sistemde oluşur, genellikle beyaz ve oldukça şeffaf levhamsı kristaller halinde olup yoğunluğu 2.3, sertliği 2'dir. Seyreltilmiş HCl'de erir. Deniz suyundaki çözünürlüğü halit ve anhidrit minerallerine göre az olan jips, çökelme sırasında ilk çökelmeye başlayan mineraldir. Karbonatlı kayalarda piritin oksidasyonundan türeyen sülfirik asidin bulunduğu yerlerde ve bazı volkanik alanlarda da oluşabilir.

Jipsin özellikleri:

Kimyasal bileşimi, $CaSO_4.2H_2O$

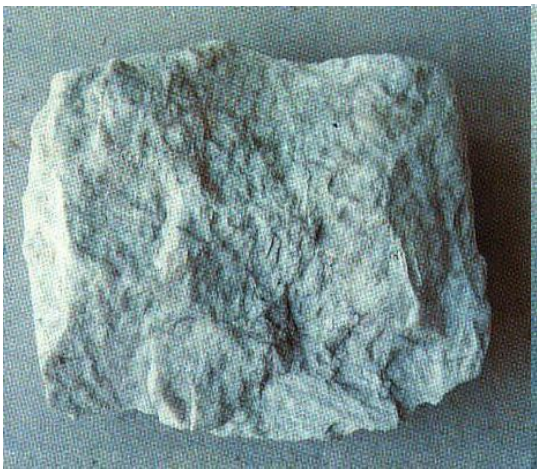
Kristal sistemi, monoklinik
Kristal biçimi, çoğunlukla ince-kalın levhamsı kristalli; kısa-uzun prizmatik, iğnemsi, masif, tanesel, lifsi.
Sertlik, 3.5; **Özgül ağırlık**, 2.98
Dilinim, (010) mükemmel
Renk ve şeffaflık, renksiz-beyaz, gri, mavimsi, eflatun, kırmızımsı, kahverengimsi, şeffaf-yarı şeffaf
Çizgi rengi, beyaz; **Parlaklık,** camsı,
Ayırıcı özellikleri, birbirine dik üç yönlü dilinime sahip, jipsten daha sert, özgül ağırlığı kalsitten fazla
Bulunuşu, deniz suyundaki çözünürlüğü halit ve anhidrite göre daha az olan ve evaporasyonda ilk çökelen mineraldir. Karbonatlı kayalarda piritin oksidasyonundan türeyen sülfirik asitin bulunduğu yerlerde ve bazı volkanik alanlarda oluşabilir.

Anhidrit

Anhidrit $CaSO_4$ bileşiminde, ortorombik sistemde ve genellikle masif, tanesel, lifli ve beyaz agregat şeklinde olup sertliği 3'den biraz fazla ve yoğunluğu 2,9' dur. Seyreltilmiş HCL içinde erimez, dehidratasyonla (H_2O ile tepkimeyle) jipse dönüşür. Birbirine dik üç yönlü dilinime sahip, jipsten daha sert ve özgül ağırlığı kalsitten fazladır. Jips ve halit mineralleriyle birlikte oluşan bir evaporit mineralidir. Anhidrit, deniz suyundan doğrudan çökelmeyle de oluşur.

Anhidritin özellikleri:
Kimyasal bileşimi, $CaSO_4$
Kristal sistemi, ortorombik
Kristal biçimi, kristalleri nadir; genellikle masif, tanesel, lifsi
Sertlik, 2; **Özgül ağırlık**, 2.32
Dilinim, (010) mükemmel
Renk ve şeffaflık, renksiz-beyaz, sarımsı, yeşilimsi, kırmızımsı; şeffaf-yarı şeffaf
Çizgi rengi, beyaz
Parlaklık, camsı,
Ayırıcı özellikleri, düşük sertliği ve dilinimi
Bulunuşu, jips ve halit mineralleri ile birlikte oluşan bir evaporit mineralidir. Deniz suyundan doğrudan çökelir ya da jipsin dehidratasyon ile de oluşabilir.

Anhidrit ve jipsin genel görünümü sıra ile Şekil 1 ve Şekil 2'de izlenmektedir.



Şekil 1. Anhidrit (MTA, 1994).



Şekil 2. Jips (MTA, 1994).

Alçıtaşı, tanınması ve diğerlerinden ayırt edilmesi oldukça kolay olan bir mineraldir. Alçıtaşı mineralinin (jips, anhidrit) pratik tanınmasında, sertlik en önemli ayırtmandır. Jips minerali, monoklinal kristal sisteminde yer alır.

Jipsin parlak saydam ve kristalli şekline **selenit** adı verilir. Selenit su ile dolu bir ortamda gelişir. Selenit ilk görünüşü mikayı andırır. Gerek selenit, gerekse ipek jipsin ekonomik önemi azdır. Alçıtaşının sertliği kazanması için başlıca üç aşama gerekir. Bu aşamalar aşağıda sıra ile sunulmuştur:

1. Alçıtaşının hidratasyonu "kimyasal olay", 2.
Alçıtaşının kristalleşmesi "fiziksel olay",
3. Alçıtaşının sertleşmesi "mekanik olay".

Alçıtaşı yataklarını oluşturan jips ve anhidrit mineralleri, esas itibariyle birbirlerine çok benzerlerse de bunları birbirinden ayırmada bazı özelliklerinden yararlanılabilinir.

Bileşimi $CaSO_4.2H_2O$ olan jips minerali, genellikle masif bir yapıdadır ve levhalar halinde bulunur. Jips, anhidritten kolayca ayırt edilebilir. Çünkü jipsin sertliği daha azdır. En göze çarpan özelliği tırnakla çizilebilmesidir. Jipsin Mohs sertlik cetveline göre sertliği 2'dir. Anhidritin sertliği ise 3-3.5 arasında değişir. Yine jipsin özgül ağırlığı 2.2-2.4 g/cm^3 arasında olduğu halde anhidritin özgül ağırlığı 2.7-3.0 g/cm^3 arasında değişmektedir.

Jipsin rengi ise genellikle saydam, beyaz ya da beyazımsı kül rengindedir. Jipsin içersindeki yabancı maddeler (organik maddeler, kil, demir oksitler gibi) jipse ve ondan elde edilecek ürünlere renk verirler. Petrografik olarak jips çoğunlukla taneli bir yapıdadır. Jipsin yapı özelliklerini incelemek için optik özelliklerinden yararlanılır. Doğada jipse başlıca beş türde rastlanabilir. Bunlar iri kristalli, ince kristalli, mızrak ikizi jipsi, jips gülü ve kılsı jipslerdir.

Anhidrit ($CaSO_4$), kalsiyum sülfatın susuz türüdür. Yapısına kristalli su alarak, kolayca jipse ($CaSO_4.2H_2O$) dönüşür. Anhidrit yatakları kurak olmayan bölgelerde yer yüzeyine erişmez. Ancak çok dik yamaçlarla cevher yataklarının kolayca aşındığı yerlerde anhidrite rastlanır. Bitkilerin bulunduğu yerlerde suyun tutulması sonucu anhidrit jipse dönüşebilir.

Anhidrit minerali çoğunlukla, açık gri ya da mavimsi-gri renktedir. Mikroskop altında taneli veya kristal kümesi halinde bir doku gösterir.

Jipsin bir türü olan **bazanit,** anhidrit ile jips arasında ayrı bir mineral fazını temsil etmektedir. Ancak XRD ile yahut iyi hazırlanmış örnekler üzerinde petrografik yoldan tanımlanabilir. Adi koşullarda bazanit yarı duraylı olduğundan şekil değiştirir. Bununla beraber kalsiyum sülfat yataklarının % 1 kadar bazanit içerdiği sanılmaktadır.

Ticari bakımdan tane çapları ile kalsiyum sülfat içeriği arasında bir bağlantı bulunmaktadır. Yabancı madde etrafında oluşan kristaller iri taneli olurlar. Saf olarak oluşan kristal taneleri ise daha ufaktır. Jips yataklarının çoğunda iki tür jips kristali görülmektedir. Bazı yataklarda da lifli kristaller keçe gibi birbirine geçmiş kütleler halinde bulunur. Jips, sülfat mineralleri içerisinde doğada en fazla bulunan bir mineral olup çoğu kez kalın yataklar meydana getirir.

Albatr, yoğun, ince taneli bir jips kayasıdır. Albatr, heykeltıraşlar tarafından keski ile işlenebilmesi, homojen olması bakımından çok değerli bir heykel malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bazen ticari yatakları oluşturacak kadar büyük rezervlere rastlanmaktadır.

İpek jipsi (lifli jips), iğne şekilli kristallerden oluşmuştur. Bunlar basınç altında oluşmuş minerallerdir. Bu tür jipse parlaklığı da göz önüne alınarak ipek jips adı verilmektedir. Bunlar genellikle kayaların çatlak ve kırıklarında oluşurlar.

Alçıtaşının dehitratasyonu

Kaplama malzemesi olarak kullanılan alçının mekanik dayanımı çoğu kez düşüktür. Mekanik dayanımları düşük olan alçının çeşitli işlemlerle mekanik dayanımı artırabilmektedir. Alçının mekanik dayanımını artırmak amacıyla, yapılan ayrıştırma işlemine alçının dehitratasyonu adı verilir. Dehitratasyon olayı, alçının suyunun buharlaştırılması olayıdır. Bu olay iki aşamada gerçekleştirilir:

I. $CaSO_4.2H_2O_{(katı)} \rightarrow CaSO_4.1/2H_2O_{(katı)} + 3/2H_2O$ (buhar)

II. $CaSO_4.1/2H_2O_{(katı)} \rightarrow CaSO_{4(m)(katı)} + ½H_2O$ (buhar)

Yukarıdaki birinci aşamada tepkimeye giren maddeye "çift sulu kalsiyum sülfat" denir. Tepkimeden sonra oluşan maddeye ise "yarım sulu kalsiyum sülfat" adı verilir ki bu madde alçının ana maddesini oluşturur. İkinci aşamada oluşan madde ise anhidrittir.

Pişirme işleminden sonra elde edilen ürüne tekrar su eklendiğinde orijinal kimyasal maddeye dönüşür. Alçının bu şekilde tekrar katılaşması reaksiyonuna hidratasyon denilir. Kısmen ya da tümüyle dehidrate edilmiş alçıya, tekrar su eklendiğinde orijinal kimyasal maddeye dönüşür. Bu reaksiyon, önce alçı hamurunun katılaşması ile görünür hale gelir. Alçı hamurunun akıcı kaldığı süreye **işleme süresi;** katılaşmanın başladığı an, priz başlangıcı katılaşmanın bittiği an ise **priz sonu** olarak tanımlanır.

Alçı, katılaştıktan sonra bir sıcaklık artışı gösterir. Daha sonra alçının su ile yaptığı tepkime sona erer. Bu ana, hidratasyon sonu denir. Alçı, ister kullanmadan evvel, toz halinde olsun, isterse döküm yapıldıktan sonra katılaşmış olsun, yine alçı olarak adlandırılır. Hidratasyon olayı aşağıdaki şekilde gerçekleşir.

I. $CaSO_4.1/2H_2O_{(katı)} + 3/2H_2O_{(sıvı)} \rightarrow CaSO_4.2H_2O_{(katı)}$

II. $CaSO_4(m)(katı) + 2H_2O_{(sıvı)} \rightarrow CaSO_4.2H_2O_{(katı)}$

Alçının dehitratasyonunu etkileyen birçok faktörler vardır. Bunlar arasında suyun çözünürlüğü önemlidir. Çözünürlük de çözeltinin sıcaklık derecesine ve bazı kimyasal maddelere bağlıdır. Diğer önemli bir faktör ise, jipsin kristalleşme olanağı ile sınırlıdır. Çünkü jips kristallerinin oluşumu ve büyümesi, kimyasal tepkimelerin etkisinde olmaktadır.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Alçıtaşı, gölsel havzalarda ya da sığ denizlerde suların buharlaşması sonucu meydana gelir. Kapalı havzalarda ya da yeterince beslenmeyen iç denizlerde oluşan tuzlu çökellere genel olarak "evaporit" adı verilmektedir. Kapalı havzalarda tuzun ya da sülfatlı minerallerin çökelmesi ısı, basınç, erime yeteneği ya da diğer iklimsel özellikler ile yakından ilgilidir. İklim koşulları kurak ve buharlaşmaya uygun olmalıdır.

Alçıtaşı yatakları kapalı denizel havzalarda tuzlu suların çökelmesi sonucu oluştuğundan, hemen daima tuz ile ilişkileri vardır. Normal koşullarda deniz suyunun buharlaşması ile aşağıdaki sıraya göre çökelme (sedimantasyon) gerçekleşir.

- Önce kalsiyum ve magnezyum karbonat ($Ca + MgCO_3$) çökelir.
- Sonra kalsiyum sülfat (anhidrit veya jips) ($CaSO_4$) çökelmeye başlar.
- Buharlaşma devam ederse daha sonra kayatuzu (NaCl) çökelimi olur.
- En son potasyum ve magnezyum tuzları çökelirler.

Yapılan deneylere göre, deniz suyunun 25^oC sıcaklık altında buharlaşması ile jips oluşmaktadır. 25 ^oC'nin üzerinde buharlaşan deniz suyundan ise anhidrit çökelmektedir. Böylece çökelme sırasındaki mevsimlik sıcaklık derecelerine göre bu tabakalar bazen anhidrit ve bazen jips olarak çökelmektedir. Böyle bir çökelmede evaporitler, 100 m ve daha fazla bir kalınlık kazanabilmektedir. Bazı durumlarda anhidrit su alarak jipse dönüşür.

Isı ve basınç etkisi ile jipsin anhidrite dönmesi de söz konusudur. Denizel ya da geniş kapalı gölsel havzalardaki alçıtaşı yataklarının önemli özelliklerinden birisi, yatak boyunca alçıtaşının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kilometrelerce değişiklik göstermemesidir. Bu durum ise, homojen alçıtaşı üretimi bakımından bir avantaj oluşturmaktadır.

Bazen doğada sülfatlı suların kireçtaşına etkisi veya piritin oksitleşmesiyle meydana gelen sülfat asidinin kireçtaşına etkisi ile de alçıtaşı oluşmaktadır. Kayaların boşluklarında, kiltaşı ve marnların arasında çok güzel jips kristalleri gelişebilir.

Bunun yanı sıra volkanik bölgelerdeki sülfürlü sular oksitlenerek sülfat asidine dönüşmektedir. Bu sular da yüzeye yaklaştıkları zaman kireçtaşlarına etki yaparak işletilebilir alçıtaşı yataklarının oluşmasına yol açabilirler.

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİ

Alçı üretiminde de açık ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme süreçleri uygulanmaktadır. Bu süreçlerin çevresel etkileri diğer sanayi hammaddelerinin üretimlerinde yaşanan etkilere benzerdir.

Ancak, ülkemizde çok çeşitli alçı üretim teknolojileri kullanılmaktadır. İnşaat sanayine yönelik yapı alçılarının üretimi esas itibariyle açık atmosfer kalsinasyonu (CaO oluşumu) ile yapılmaktadır. Kalsinasyon esas itibariyle iki ana tipte yapılmaktadır (DPT, 1997).

Döner fırın teknolojisi

Ocak işletmesinden gelen 0-100 cm boyutlarında ham alçıtaşı önce primer kırıcılarda 0-10 cm boyutuna indirilmekte, sonra sekonder kırma ünitelerinde (tokmaklı veya çekiçli kırıcılar ile) 0-10 mm tane büyüklüğüne düşürülmektedir. Daha sonra döner fırınlarda 160 ^{o}C dolaylarına getirilerek kalsine edilmekte ve kalsinasyon sonrasında uygun öğütme ünitelerinden geçirilerek nihai kullanım inceliğine getirilmektedir. Döner fırınlar sürekli ve büyük kapasitede üretim yapabilmektedir.

Şakuli fırın teknolojisi

Bu sistemde ikincil kırma sonrasında fırınlama öncesi alçının inceliği 0-2 mm'ye getirilmekte ve getirilmekte ve büyük bir kazan olarak tanımlanabilecek potalara alınarak, dolaylı ısıtma ile sıcaklık 150-190 ^{o}C arasına getirilene kadar sürekli karıştırılarak kalsinasyon işlemi tamamlanmaktadır. Bu tip fırınlar doldur-boşalt şeklinde kesikli üretim yapmaktadırlar. Şakuli fırınlarda üretim kapasitesi sınırlı olmaktadır. Ancak yanma gazları ile karşı karşıya kalınmadığından yanma gazı, renk ve kalite kirlenmesi sorunları yaşanmamaktadır.

Seramik sanayinde kullanılan kalıp alçıları sulu ortamda ve basınç altında üretilmektedir. 0-50 mm büyüklüğündeki alçıtaşı otoklav denilen basınçlı kaplara alınarak, belirli bir süre basınç ve sıcaklık altında tutulmakta, daha sonra kurutma işlemine alınmakta ve nihai inceliğe getirilerek stoklanmaktadır.

Ülkemizde son yıllarda alçı üretim sektörü çok hızlı bir gelişme göstermektedir. Özellikle 1985 yılından sonra inşaat sanayine yönelik çeşitli alçıların pazara tanıtılmalarıyla belirli büyüklükteki alçı firmaları katkılı alçılar üretmekte ve tesisler, karışım plantları ile donatılmaktadır. Yarı mamul alçılar çeşitli tane boyutlarına getirildikten sonra, nihai kullanım amaçlarına uygun şekilde çeşitli kimyasallar, perlit ve dolgu malzemeleri ile zenginleştirilerek piyasaya sunulmaktadır.

Ayrıca alçıdan yapılı prefabrik hazır yapı elemanlarından olan dolgu gövdeli alçı blok ve iki yüzü karton kaplı içi alçı olan levhaların üretimi ise, toz alçının elde edilmesinden sonra seri üretim (fabrikasyon) olarak yapılmaktadır.

Dolgu gövdeli alçı blok üretimi: Toz alçı su ile karıştırıldıktan sonra kameralı kaplara dökülmekte, nihai prizini tamamlamak üzere iken kalıplardan çıkarılmakta ve kurutma işlemi sonrası satışa sunulmaktadır.

Kartonlu alçı levha üretimi: İçi alçı, iki yüzü karton kaplı alçı levha üretimi ise alçı ve kimyasalların su ile bir mikserde sürekli karıştırılmasından sonra oluşan alçı hamurunun lastik bant üzerinde giden karton üzerine serilmesi ile başlayan üretim hattı, daha sonra üst kartonun serilmesi izlemekte ve ardından kartonların istenen boyutta kesilmesi ile devam etmektedir. Kesilmiş ıslak levhalar, daha sonra kurutma fırınına alınmakta ve kuruduktan sonra destelenerek satışa sunulmaktadır.

KULLANIM ALANLARI

Alçıtaşı ham, yarı mamul olarak başta prefabrikasyon ve kimya endüstrisi olmak üzere günümüzde çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Alçıtaşının yapı elemanı olarak yaygın kullanımında rol oynayan başlıca özellikleri arasında ısı tutuculuğu, ateşe dayanıklılığı ve nem düzenleyici etkisi gelir. Yaygın kullanıldığı bazı alanlar kısaca aşağıda belirtilmiştir (DPT, 1997):

Sanayi

Alçıtaşı ham olarak çimento sanayinde donmayı (prizleşmeyi) geciktirmek ve toprak ıslahı için gübre olarak, beyaz boya üretiminde, nikel izabesinde, kâğıt ve pamuklu tekstil maddelerine dolgu maddesi katılarak kullanılmaktadır.

Sağlık

Cerrahi alanda ve özellikle dişçilikte kalıp alma işlerinde kullanılmaktadır.

İzolasyon

Anorganik bir madde olan alçı ateşte yanmaz. Yangın sırasında alçının boşluklarındaki nem, ayrışmak için ortamdaki ısı enerjisinin bir kısmını absorbe eder. Ayrışan ve buharlaşan su, alev ile alçı arasında bir buhar tabakası oluşturur. Bu özellikleri dolayısıyla alçı, ateşe dayanaklı yapı elemanı olarak tercih edilir. Alçı, çok küçük boşluklar içermesi nedeniyle, üzerine gelen ses dalgalarını azaltarak yansıtır. Ses düzeni ve hacim arasında akustik ses geçişini iyi bir şekilde denetler. Bu özelliği dolayısıyla ses izolatörü olarak kullanılır.

Alçı, boşluklarında ortam nemini absorbe ederek, iç hacminde göreli nemin azalmasını sağlar. Aynı zamanda iç hacimden aldığı bu nemi, ortamdaki nem oranı düşünce geri verir. Bu özellikleri dolayısıyla nem düzenleyici olarak kullanılır.

İnşaat

Prefabrik inşaat malzemesi olarak çeşitli hazır yapı elemanları üretiminde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Hazır bina duvarları, kaplama malzemeleri, panolar, blok, kiriş ve asma tavanlar yapılmaktadır. Ayrıca, sıva kabartma ve süsleme gibi değişik alanlarda aranan bir malzemedir. Alçı, ısı iletmesi bakımından ahşaba yakın özelliklere sahiptir. Boşluklarında hareketsiz hava bulundurur ve ısı iletkenliği, kireç ve beton malzemeye göre oldukça düşüktür. Dolayısıyla alçı, kapladığı mekânda konfor hissinin bozulmamasına ve ısıtmada enerji tasarrufu nedeniyle yapı malzemesi olarak tercih edilmektedir.

Alçıtaşı, anhidritin amonyum sülfata dönüşmesiyle kimya sanayinde önemli ölçüde kullanılmaya başlanmıştır. Amonyum sülfat ise tarımda gübre olarak kullanılmaktadır. Anhidritin koka indirgenmesi sonucunda kükürt (S), kükürt dioksit (SO_2) ile sülfirik asit elde edilmektedir. Ayrıca, sodyum karbonat ve kalsiyum klorür elde edilmesinde kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe alçı iki değişik biçimde kullanılmaktadır. Birincisi, bölme elemanı, duvar, baca, döşemede, alçı panoların imalinde ve kesme taşlarının yerleştirilmesinde kaba inşaat alçısı olarak kullanılır. Ayrıca ince inşaat alçısı olarak bilinen diğer bir alçı ise, süsleme, kabartma (röliyef), model yapımının yanı sıra porselen, kiremit font ve heykel kalıplarının yapımında kullanılmaktadır.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Alçıtaşı ve alçı, genel olarak **açık işletme yöntemleriyle** üretilmektedir. Ocak işletmesi sırasında görüntü ve gürültü kirliliği oluşmaktadır. **Cevher zenginleştirme** evresinde de diğer sanayi hammaddelerindeki uygulamalara benzer teknolojiler kullanılmaktadır. Ayrıca **döner fırın** ve **şakuli fırın** teknolojilerinin kullanıldığı yukarıda açıklanmıştır. Fırınlarda oluşan yanma gazları ise hava kirliliğine yol açmaktadır.

Alçı üretiminin çevre kirliliği genellikle partikül emisyonundan dolayı olabilmektedir. Ülkemizdeki alçı üreticilerinin 4 tanesi 1993 yılı itibariyle toplam üretimin % 78'ini gerçekleştirmiş olup, söz konusu tesisler, toz tutma birimlerine sahipti. Ancak küçük ölçekli üreticilerin çevre konusundaki yatırımları sınırlıdır.

Gübre sanayinde fosfo-jips atıkları ortaya çıkmakta ve bunlar da toprağın kirlenmesine yol açmaktadır. Alçı üretimi ile ilgili uygulamalarda ortaya çıkan görüntü ve hava kirliliğinin yanı sıra su kirliliği ve gürültü denetlenebilir düzeydedir.

Mühendislik yapılarının yer seçiminde amaç, temel kaya birimlerinin ve zeminlerin ayrıntılı bir şekilde tanımlanmasıdır. Bu tanımlamalar özellikle anhidrit ve jipsli birimlerin yaygın olduğu alanlarda

daha da önemlidir. Dünyada birçok yerde jips-anhidrit birimlerinin özelliklerinden kaynaklanan büyük sorunlarla karşılaşılmıştır. Bu sorunlardan bazıları da aşağıda sunulmuştur (Yılmaz, 2009).

Anhidrit-jips dönüşümünden kaynaklanan sorunlar

Jips ve anhidrit arasında kimyasal tepkimelerle oluşan her iki yönde gerçekleşebilen bir dönüşüm vardır. Bu dönüşüm her iki durumda da hacimsel değişimlerin meydana gelmesi ile sonuçlanır. Çünkü bu değişim jips ve anhidrit kristal yapısının değişimine neden olur. Katı fazdaki hacimsel değişimin hesaplanması, jips, anhidrit ve suyun molar hacmine dayalı olarak gerçekleşmektedir.

Anhidritin hidratasyonu sonucunda oluşan hacimsel değişim, açık sistemlerde +% 62.6, kapalı sistemlerde ise -% 9 dur. Benzer bir şekilde jipsin dehidrasyonu ile oluşan hacimsel değişim, açık sistemlerde -% 38.5 iken kapalı sistemlerde +% 9.9 dur (Zanbak ve Arthur, 1986). Hacimsel değişimler açık sistemlerde kapalı sistemlere göre daha büyük oranda gerçekleşmektedir. Kapalı sistem, dönüşüm öncesi ve sonrasında suyun kalsiyum sülfat mineralleri ile tutulduğu bir ortam olarak tanımlanabilir. Bu nedenle sistemin tüm hacmi su-anhidrit-jips molar hacmine eşittir. Açık sistem ise serbest suyun hidratasyonu aşamasına girebildiği veya dehidrasyon aşamasında serbest kalarak ortamı terk edebildiği bir sistem olarak tanımlanabilir (Zanbak ve Arthur, 1986).

Özellikle anhidritin hidratasyonu sonucunda büyük hacimsel değişimler meydana gelebilir. Yerinde yapılan bazı ölçümler sonucunda, anhidritin hidratasyonu ile 800-1300 kPa arasında değişen oldukça yüksek basınçların oluşumuna yol açtığı belirlenmiştir. Aşağıda anhidritin jipse dönüşümü sırasında meydana gelen hacimsel değişimin yarattığı bazı örnekler sunulmuştur.

1948 Haziran ayında bir gece, Texas'da Paint Rock kasabasında gürültülü bir patlama sesi işitilmiştir. Sonradan iki nehir havzası arasındaki sette kayalarda yükselme belirlenmiştir. Bu yükselme yaklaşık 300 m uzunluğunda ve 3 m yüksekliğinde ölçülmüştür. Yükselmeden sonra çevreye ağır bir sülfür kokusu yayılmış ve nehrin akıntı yönünde sularda sülfat belirlenmiştir (Brune, 1965).

1954 yılında bir öğleden sonra, yine Texsas'ta Moran'ın 14 km kuzeyinde, bir çiftçi patlama sesi duymuş ve biraz uzakta kaya parçaları ve tozdan oluşan bir bulut görmüştür. Daha sonra bir nehir kanalı boyunca yaklaşık 300 m uzunlukta ve 20 m yükseklikte bir kabartma belirlenmiştir. Kasabanın yakın dolayında bu patlama sonucunda püsküren kaya parçaları belirlenmiştir (Brune, 1965).

Benzer bir patlama da 1955 yılı eylül ayında Texas'ta Novice kasabasında iki petrol kuyusu yakınında meydana gelmiştir. 90×150 m yüzey alanına sahip bölgede yaklaşık 5.5 m yüksekliğinde kabarma ve çevrede ağır sülfür kokusu belirlenmiştir (Brune, 1965).

1960 yılı nisan ayında yine Texsas'ta bir havuzun aniden boşaldığı ve havuz tabanında 75 m boyunda, 1,5 m yüksekliğinde kabarma meydana geldiği belirlenmiştir. Havuzdaki tüm su, bu kabarma sonucunda meydana gelen kırıklardan boşalmıştır (Brune, 1965).

Kabarmaların meydana geldiği yerlerin genelde su yapılarına yakın bölgeler olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, kırık ve çatlaklar vasıtası ile suyun anhidrit çökellerine ulaşarak hidratasyonu başlatmasıdır. Hidratasyonun gerçekleşmesi için çok uzun bir sürenin geçmesi gerekmemektedir. Yani kimi çatlakların, kırıkların ya da kabarmaların aniden de oluşabileceği göz önüne alınmalıdır.

Evaporitlerin çökeldiği alanların smektit ve korensit gibi kil mineralleri açısından zenginleştiği bilinmektedir. Bu killer de, şişme sorunlarına yol açmaktadır.

Jipslerin çözünmesinden kaynaklanan sorunlar

Jips, kireçtaşından daha fazla çözünebilme özelliğine sahip olup, 2.5 kg jips, 1 m³ suda aşağıda sunulduğu biçimde çözünebilir.

$$CaSO_4.2H_2O + H_2O \rightarrow Ca^{+2} + SO_4^{-2} + 3H_2O$$

Jipslerin çözünmesi sonucu açığa çıkan iyonlar su kaynaklarını kirletirler. Örneğin su ile temas sırasında evaporitler çeşitli iyonlarına ayrılmakta, bu iyonların bazıları da yeraltı sularını kirletmektedir. Ayrıca çözünmenin yarattığı boşlukların göçmelere yol açması da mümkündür.

Eklemler ve faylar gibi süreksizlikler boyunca hareket eden kimyasal çözeltiler, süreksizliklerin geometrisine uygun mağara sistemleri içeren karst oluşumuna neden olurlar. Kapalı sistemlerde su kolayca doygunlaşır ve hem çözünme hem de çökelme mümkün olur. Jipslerde oluşan karstik yapılar, küçük çaplı boşluklar ve onların ağından oluşur (Culshaw ve Waltham, 1987).

Ukrayna'daki Podoli bölgesinde eklemlerin denetiminde oluşmuş yüzlerce kilometre boyunda ve 5 m'den daha büyük açıklığa sahip mağaralar içeren jips yüzeylemeleri belirlenmiştir. Karacan ve Yılmaz (1997) da Sivas'ın kuzeydoğusunda benzer özellikler gösteren jipslerin varlığına işaret etmektedir.

Çöküntüler jips karstına özgü bir özelliktir. Jipsin çözünmesi ile örtü kayası yavaş yavaş çökmeye başlar (Bögli, 1980; White, 1988). Çökme pasajları 100-1000 m genişlik ve 1-15 km uzunluğunda boyuna gelişebilir. Bu yapılar faylar ve kırık zonları boyunca çözünmenin bir sonucu olarak ortaya çıkarlar (White, 1988).

Dünya'da jipsli birimler üzerinde inşa edilmiş barajların birçoğunda jipsin çözünmesinden kaynaklanan sorunlar yaşanmış olup bu sorunların birçoğu da halen devam etmektedir. Ayrıca, jipsin diğer kayalar içerisinde bantlar ve tabakalar şeklinde bulunduğu koşullarda çözünmesi durumunda da kayalar dayanımlarını kaybetmektedirler.

Diğer Sorunlar

İncelenmesi gereken diğer bir sorun ise, sülfatça zengin yeraltı sularının, jipsler üzerindeki olumsuz etkileridir (Brune, 1965). Sulardaki zengin sülfat içeriği doğal olarak jipsli birimlerden kaynaklanmaktadır. Sülfatlı sular, inşaatlardaki su borularında da sülfat birikimine neden olup boruları tıkayarak kullanılamaz hale getirebilirler. Fakat bu sorun yüksek demir içeriğine sahip çimento hazırlanarak ya da düşük trikalsiyum aluminat ve serbest kireçli çimento hazırlanarak ortadan kaldırabilir (Brune, 1965).

Yukarıda da sunulduğu gibi alçıtaşı ve alçının üretim, cevher zenginleştirme ve kullanım evrelerinde sürdürülen faaliyetlerin çevre üzerinde etkilerinden kaçınılamaz. Dolayısıyla ÇED Yönetmeliği (2022) dikkate alınarak söz konusu faaliyetlerin yürütülmesinde yarar vardır.

SONUÇLAR

Anhidrit ve jipsin egemen olduğu bölgeler, mühendislik jeolojisi uygulamaları açısından genellikle sorunlu bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Bu sorunların en önemlileri, anhidrit ve jips arasında gerçekleşen dönüşümden kaynaklanan hacimsel değişimlerin yanı sıra jipsin çok kolayca çözünebilme özellikleridir. Bazen anhidrit ve jipsin, üzerinde yer aldığı zeminlerin mühendislik yapılarında geri dönüşü mümkün olmayan büyük hasarlara neden olduğu bilinmektedir. Ancak geri dönüşü mümkün olsa bile ortaya çıkan sorunlar önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Mühendislik yapılarının tasarımı ve inşa edilmesi aşamalarında, jipsli birimlerin yeraltı suyu, basınç ve sıcaklık etkisi ile önemli ölçülerde değişebileceği asla göz ardı edilmemelidir. Alçıtaşının arama evresinde, ocak işletmesinde, cevher zenginleştirme ve diğer üretim süreçlerinde ortaya çıkan çevresel sorunlar, ÇED sürecinde iyi bir planlama ile aşılabilir düzeydedir. Dolayısıyla alçıtaşının üretimi ve kullanım alanlarına dair ARGE çalışmalarının teşvik edilmesinde yarar vardır (Yılmaz, 2009).

KAYNAKLAR

Bögli, A., 1980, Karst Hydrology and Physical Speleology (Translated by June C. Schmidt): New York Springer Verlag, 284 s.

Brune, C., 1965, Anhydrite and gypsum problems in engineering geology. Engineering Geology, 2, 1, ss. 26-33.

Culshaww, M.G. ve Waltham, A. C., 1987, Natural and artifical cavities as graund engineering hazards. Quarterly Journal of Engineering Geology, 20:139-150.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

DPT, 1997, Metal Dışı Madenler Raporu, Özel ihtisas komisyonu, 4. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara. Haziran.
Karacan, E. ve Yılmaz, I., 1997, Collapse dolines in Miocene gypsum: an example from SW Sivas (Turkey), Environmental Geology, 29 (3/4), p. 263.
MTA, 1994, Mineraller, MTA Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara, 72 s.
White, W. B., 1988, Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains: Oxford Univ. Pres, England, 464 p.World Population Statistic, 1986.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.
Zanbak, C. ve Arthur, R. C., 1986, Geochemical and engineering aspects of anhydrite/gypsum phase transition. Bulletin of the Association Engineering Geologists, 13, 4, ss. 419-433.

3. 3. 2, BORATLAR

GENEL BİLGİLER

Bor'un ana hammaddesi olan boraksın ilk kez 4000 yıl önce Babilliler tarafından kuyumculukta kullanıldığı tahmin edilmektedir. Mısırlıların mumyalama işlerinde, tedavi amaçlı ve metalleri işlemede borakstan yararlandıkları, eski Yunanlılarla Romalıların boraksı temizlik maddesi olarak kullandıkları bilinmektedir.

Karbona benzer bazı özellikler sunan bor, ametallerden biridir. 1808 yılında Gay-Lussac, Thenard ve Dauy tarafından aynı zamanda bulunmuştur. Bor, periyodik cetvelde 3. sıranın başında yer alan bir elementtir. Boratlar ise, bileşiminde B elementi olan mineral grubudur.

Ülkemizde ilk bor yatağı, Sultan Çayırı mevkiinde (Susurluk-Balıkesir) bulunmuş ve 1861 yılında bu yatakları işletme hakkı bir Fransız firmasına verilmiştir. 1887 yılında ise bor yataklarının işletme hakkı İngilizlerin eline geçmiştir. 1935 yılında MTA ve Etibank gibi kamu kuruluşların yapılanmasından sonra yeni bor yatakları bulunmuştur.

Zamanla bu güzide kuruluşlar, siyasi baskılar ve zayıf yönetimlerin elinde işlevlerini yerine getiremez hale gelmişlerdir. 1978 yılında kamulaştırılmış olan bor yataklarının günümüzde IMF'nin talimatları doğrultusunda yeniden özel ortaklıklara devredilmesi girişimleri kaygı vericidir. Ülke açısından stratejik bir kaynak olduğu için, borun özelleştirilmesi konusunda ileriye yönelik olarak gerçekçi ve doğru bir politika yürütülmelidir.

Bor elementinin yerkabuğunda ender bulunan ve düzensiz bir şekilde dağılmış elementlerden biri olmasına karşın, bazı yerlerde bor yönüyle ekonomik nitelikte olan yataklar vardır. Borat mineralleri, çeşitli ortamlarda oluşmaktadır. Bu ortamlar, andezitik-riyolitik volkanizma, kurak veya yarı kurak iklimler ve denizel olmayan evaporit ortamları ile karakterize edilmektedir. Türkiye, ABD, Güney Amerika ve diğer birçok yerde görülen ekonomik borat yataklarının tümü, volkanik faaliyetin geliştiği denizel olmayan evaporitik ortamlarda oluşmuştur.

Ülkemizde Neojen yaşta volkano-tortul birimlerin içinde yer alan borat yataklarının geometrisi genel olarak çökeller içinde merceksel yapılar sunmasına karşın, sıkça çökellerle ardalanmalar, ince bantlar ve yanal olarak kamalanmalar halindedir. Bor mineralleri, ortamın pH, sıcaklık ve kimyasal koşullarına bağlı olarak birbirine dönüşmeleri, belirli bir mineral için yapılan işletmelerde ve daha sonra stoklama ve pazarlamada bazı çevresel sorunlar yaratabilirler.

Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren Neojen havzaları, değişik boyutlarda çok farklı, endüstriyel hammaddeler kapsar. Örneğin bu havzalar linyit, bitümlü şeyl, uranyum ve borat yatakları içermektedir. Dünya borat rezervinin % 70' ine yakın bir bölümü bu havzalarda bulunmaktadır (Helvacı, 2001).

ÖZELLİKLERİ

Bor periyodik sistemde üçüncü grubun başında yer alır. Bor'un simgesi B, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.82, özgül ağırlığı 2.34 g/cm^3, ergime noktası 2300 °C olan bir elementtir. Çok sert, siyahımsı-

kahverengimsi, amorf bir tuz olan bor, bilinen eriticilerin hiçbirinde erimez. Elektrik iletkenliği ısı ile artar. Kimyasal özellikleri bakımından C, Si ve Al gibi bazı metallere benzer. Ametaller içinde en çok elektropozitif olanıdır. Sıcakta tüm basit cisimlerle birleşir. Havada bir alevle yanarak bor anhidrite (B_2O_3) dönüşür. İyi bir iletkendir.

Bor mineralleri yer kabuğunda seyrek olarak, ancak büyük ve derişimi yüksek yataklar şeklinde oluşmaktadır. Bu yataklar belirli birkaç bölgede toplanmıştır. Bu yatakların büyük bir kısmı ülkemizde bulunmaktadır.

Pek çok sayıda bor bileşikleri vardır (İleri, 1976). Bor mineralleri doğada da bileşikler halinde bulunmaktadır. Bunların önemlileri boraks (tinkal), kernit, tinkalkonit, kolemanit ve üleksit gibi minerallerdir. Bunlardan boraks, kolemanit ve üleksit özellikle ülkemizde zengin yataklar oluşturmuş bor mineralleridir.

Borun kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla reaksiyona girerken, kristal haldeki bor reaksiyona girememektedir. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve diğer ürünleri oluşturmaktadır.

Bor mineralleri

Bor elementi doğada serbest olarak değil, oksijenle birleşerek tuz veya silikatların bileşiminde yer alır. Yapay bor amorf ve kristal yapıda olmak üzere elde edilebilir. Amorf bor siyah veya kahverengi toz şeklinde, kristal bor ise; siyah, sert ve kırılgan bir özelliğe sahiptir.

Bor yer kabuğunda oldukça seyrek bulunmasına rağmen büyük yataklar oluşturabilmiş bir elementtir. Genellikle bir alkali anyonla birleşmiş olan sulu bor minerallerinden ibarettir. Bu mineraller; çoğunlukla sodyumlu, kalsiyumlu, sodyumlu-kalsiyumlu veya magnezyumlu boratlardır. Bu minerallerin birçoğu bileşim olarak benzer olmasına karşın bünyelerindeki su miktarının farklı olmasından dolayı birbirinden ayrılır. Bor, kütlesel olarak yatak oluşturmasının yanı sıra, tuzlu göl sularında bulunan borlar da ekonomik olarak işletilebilmektedir. Doğada 200'e yakın bor minerali vardır. Bunlardan günümüzde ekonomik değeri olan ve üretimi yapılan bor mineralleri ve bunların mineralojik özellikleri sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Başlıca bor mineralleri (Tolun, 1982).

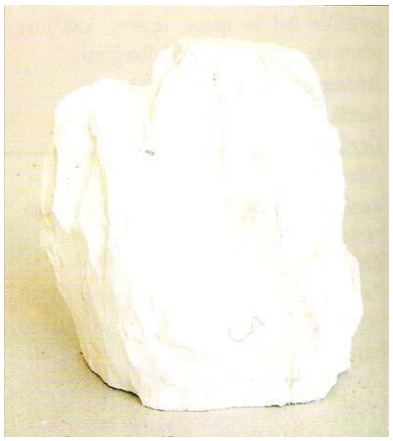
Adı	Formülü	% B_2O_3	% H_2O	Özgül ağırlık	Türkiye'de bulunduğu yer	Dünya'da bulunduğu yer
Tinkal	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36.5	47.2	1.69-1.80	Kırka	ABD ve Arjantin
Kernit	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	51.1	26.5	1.95	Kırka	ABD ve Arjantin
Tinkalkonit	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	47.8	30.9	--		
Üleksit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43.1	35.5	1.96	Bigadiç, Kırka ve Emet	ABD
Probertit	$NaCaB_5O_9.5H_2O$	49.6	15.4	--	Kestelek, Emet	ABD
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50.9	21.9	2.26-2.48	Emet, Bigadiç ve Kestelek	ABD
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$	49.8	18.1	2.42	Sultan Çayırı ve Bigadiç	
Priseyit	$Ca_3B_{12}O_{23}.7H_2O$	50.7	15.4	2.40	Bigadiç	ABD

Borasit	$MgB_7O_{13}Cl$	62.2	--	2.90		
Szaybelit	$Mg(BO_2)(OH)$	41.4	--	--		Kazakistan ve Çin
Sasolit	H_3BO_3	56.3	43.7	--		İtalya
Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50.5	26.1	--		

Sanayide yaygın olarak kullanılan bor minerallerinden önde gelenleri Boraks, Kernit, Üleksit, Probertit, Kolemanit, Pandermit ve Hidroborasit'tir. Bunların genel özellikleri aşağıda verilmiştir

Boraks (Tinkal)($Na_2B_4O_710H_2O$)

Boraks, doğada renksiz ve saydam bulunur (Şekil 1). Pembe, gri, sarımsı gibi farklı renkler olabilmektedir. Boraks 2–2,5 arası bir sertliğe sahip olup, özgül ağırlığı 1.7 g/cm^3 ve % 36.6 B_2O_3 içerir. Tinkal'in özelliğinden dolayı çabuk bozunmakta ve suyunu kaybetmektedir. Böylece kolaylıkla tinkalkonite dönüşmektedir. Ülkemizde tinkal Eskişehir-Kırka yataklarında (Yalçın ve Baysal, 1991) üretilmektedir.



Kimyasal Bileşimi, $Na_2B_4O_7.10H_2O$
Kristal Sistemi, Monoklinik
Kristal Biçimi, Kısa prizmatik kristalli, bazen levhamsı
Sertlik, 2 - 2.5
Renk Şeffaflık, Renksiz, beyaz grimsi, yeşilimsi
Çizgi Rengi, Beyaz
Parlaklık, camsı bazen toprağımsı
Ayırt Edici Özellikleri, Kristal şekli, düşük özgül ağırlığı, suda çözünürlüğü
Bulunuşu, Evaporitik ortamlarda oluşan bir mineraldir. Tuzlu göl sularının evaporasyonu ile oluşur. Karbonatlar, sülfatlar ve halit gibi diğer evaporasyon mineralleri ile birlikte bulunur.

Şekil 1. Boraks (MTA, 1994).

Kernit ($Na_2B_4O_7.4H_2O$)

Renksiz ve saydamdır. İğnemsi yapıda küme kristaller şeklinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1.95 g/cm^3'dür. Kernit'in özelliği soğuk suda az çözünmesidir. Atmosferik koşullarda tinkalkonit'e dönüşmektedir. Kernit'in B_2O_3 içeriği % 51'dir. Ülkemizde Kırka'da Na-borat kütlesinin alt seviyelerinde yer almaktadır.

Üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$)

Üleksit, masif, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Beyaz renkte ve ipek parlaklığı tonlarındadır (Şekil 2). Üleksitin B_2O_3 içeriği % 43'dür. Ülkemizde, Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde bulunur.

Kimyasal Bileşimi, $NaCaB_5O_9.8H_2O$



Kristal Sistemi, Triklinik
Kristal Bileşimi, genellikle iğnemsi kristalli, merceksi yada nodüler, ışınsal, pamuk yumağı şekilli.
Sertlik, 2.5 **Özgül ağırlık,** 1.955
Dilinim, (010) mükemmel, İyi
Renk ve Şeffaflık, beyaz, renksiz, ipeksi, şeffaf
Parlaklık, camsı
Ayırd Edici Özellikleri, Pamuk yumağı gibi şekli, düşük yoğunluğu, soğuk suda çözünmeyüp sıcak suda çözünmesi**.**
Bulunuşu, Bor yataklarının bulunduğu alanlardaki sedimanter kayalarda genellikle kolemanit ile birlikte bulunan bir evaporit mineralidir.

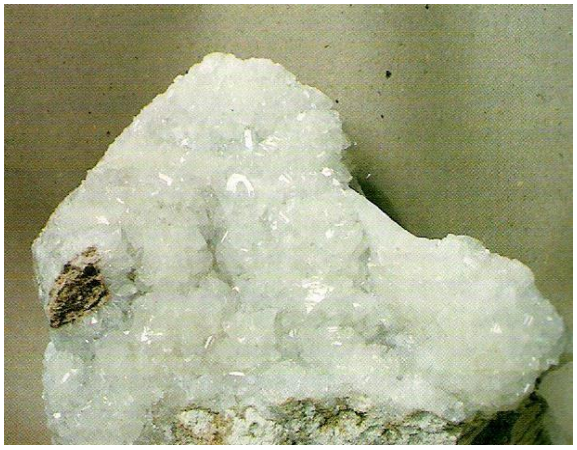
Şekil 2. Üleksit (MTA,1994).

Probertit ($NaCaB_5O_9.5H_2O$)

Kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup, lifsi şekilli kristaller halinde bulunur. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir. Probertit'in B_2O_3 içeriği % 49.6'dır.

Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_20$)

Kolemanit bor mineralleri içinde en yaygın olanıdır. Sertliği 4–4.5, özgül ağırlığı 2.42 g/cm^3'dür (Şekil 3). Kolemanit'in B_2O_3 içeriği % 50.8'dir. İri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. Kolemanit suda yavaş çözünür ama HCl asitle hızlı çözünmektedir. Kolemanit içermiş olduğu arsenik oranına göre tekstil, cam elyafı, gübre ve metalurji sanayisinde doğrudan kullanılmaktadır. Ülkemizde Emet, Bigadiç, Kestelek yataklarında bulunmaktadır.

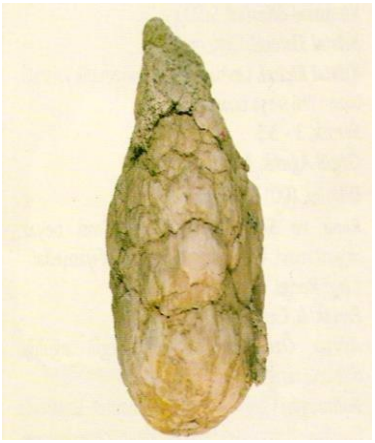


Kimyasal Bileşimi, $CaB_3O_4(OH)_3H_2O$
Kristal Sistemi, Monokılinik
Kristal Biçimi, Çoğunlukla eş boyutlu ve kısa prizmatik kristalli masif kompakt, tanesel
Sertlik, 4.5
Özgül Ağırlık, 2.42
Dilinim, (010)
Renk Ve Şeffaflık, Renksiz, beyaz, şeffaf-yarı şeffaf
Parlaklık, Camsı
Ayır edici özellikleri, Kristal formu mükemmel dilimli, diğer boratlardan daha sert olması
Bulunuşu, Kurak iklim koşullarındaki playa ve tuz göllerinde diğer bor mineralleri ile birlikte oluşur.

Şekil 3. Kolemanit (MTA, 1994).

Pandermit ($Ca_2B_{10}O_{19}.7H_2O$)

Pandermit beyaz renkte olup, kireçtaşına benzemektedir (Şekil 4). Pandermit'in B_2O_3 içeriği % 49.8'dir.Ülkemizde Sultan Çayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. Kolemanit ve kalsite dönüşmektedir.

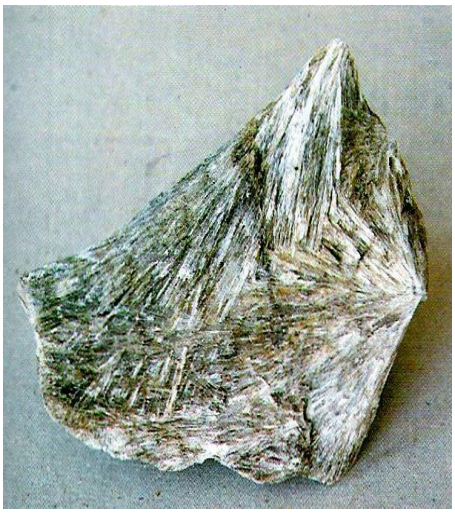


Kimyasal Bileşimi, $Ca_4B_{10}O_{19}.H_2O$
Kristal Sistemi, trinklinik
Kristal Biçimi, Modeler ya da düzensiz kütleler halinde, yumuşaksert tebeşirimsi ve kompakt
Sertlik, 3 – 3.5 **Özgül Ağırlık**, 2.42
Dilinim, (0.01) mükemmel
Renk ve Şeffaflık, Beyaz
Parlaklık, toprağımsı
Ayırt edici özellikleri, Şekli, mükemmel dilinimi
Bulunuşu, argonit ile birlikte sıcak su kaynaklarının meydana getirdiği çökellerde oluşur. Kil ve jips yataklarında da bulunur.

Şekil 4. Pandermit (MTA 1994).

Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}. 6H_20$)

Hidroborasit lifsi bir dokuya sahip olup, iğne şeklindeki kristallerin rastgele yönlenmiş ve birbirini kesen kümeler halinde bulunmaktadır (Şekil 5). Hidroborasit beyaz renktedir. B_2O_3 içeriği % 50,5'dir. Arsenik içeriğine göre sarı veya kırmızımsı renklerde gözlenmektedir. Kolemanit, üleksit, probertit, tünelit ile birlikte bulunur. Ülkemizde ise en çok Emet, Doğanlar-İğdeköy (Yalçın ve Gündoğdu, 1987) ve Kestelek'te rastlanmaktadır.



Kimyasal Bileşimi, $CaMgB_6O_{11}.6H_2O$
Kristal sistemi, Monoklinik
Kristal Biçimi, Uzun, prizmatik kristalli, iğnemsi, c-ekseni boyunca uzamış: masif, kompakt ve ince taneli lamelli, lifsi
Sertlik, 2-3
Özgül ağırlık, 2.167
Dilinim, (010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık, Renksiz, beyaz, şeffaf
Parlaklık, Camsı, ipeksi
Ayırt Edici Özellikleri, Kristal formu, dilinimi
Bulunuşu, Bor yataklarında oluşur.

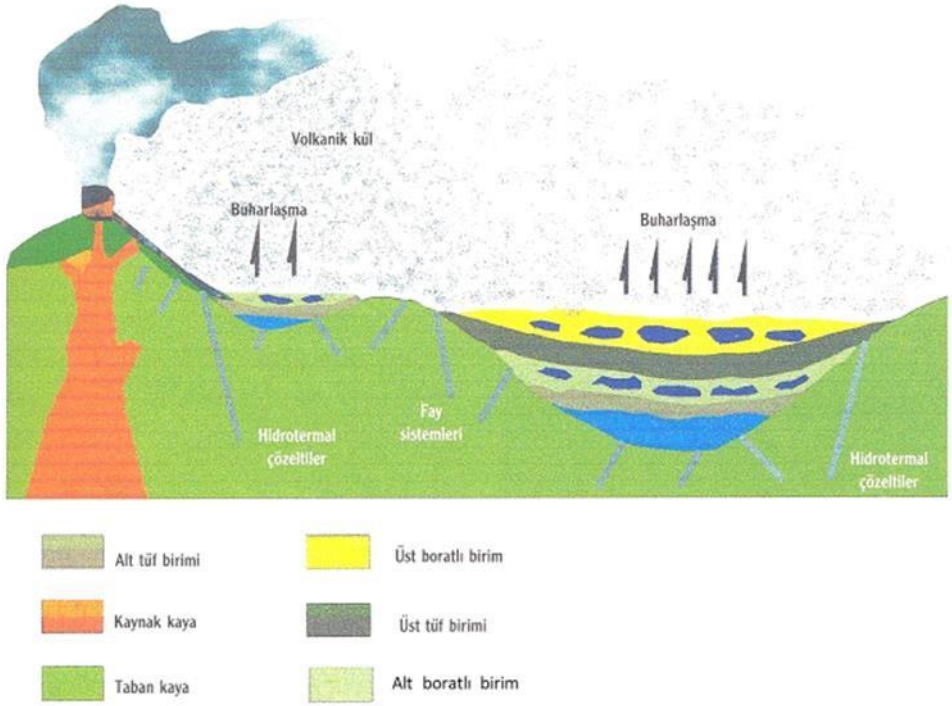
Şekil 5. Hidroborasit (MTA, 1994).

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren Neojen yaşta havzalar, önemli boyutlarda linyit, bitümlü şeyl, uranyum, borat yatakları ve birçok diğer sanayi hammaddeler içermektedir. Borat yataklarının yayılımı ve oluşum modelleri ayrıntılı incelenmiştir (Helvacı, 2001; 2004). Bu yataklar, asidik volkanizmanın da geliştiği göl ortamlarda kimyasal çökelme sonucu oluşmaktadır (Şekil, 6). Oluşan istif, genellikle gölsel kil, kiltaşı, volkanik kül (ya da tüf), kireçtaşı ve benzer çökellerle ara katmanlıdır. Ayrıca günümüzde bazı borat yataklarının çevresinde traverten ve kükürt çökelten ve ppm düzeyinde Bor içeren termal kaynaklar da bulunmaktadır.

Volkanizma ile eş zamanlı oluşan sıcak su kaynakları ve hidrotermal çözeltiler, bor elementinin oluşması için en uygun ortamlardır. Ayrıca kurak ve yarı kurak iklim koşulları da diğer evaporitlerde olduğu gibi, buharlaşmanın yoğun olduğu bir ortamın oluşmasını kolaylaştırması nedeniyle gereklidir. Ancak, boratlar suda kolayca çözünebilir nitelikte olduğundan, borat içeren katmanların başka kayatürleri ile örtülüp korunması gerekmektedir.

Bor mineralleri ayrıca, yeraltındaki mağmanın yeryüzüne doğru yükselirken soğuyup kristalleşmesi sonucu oluşabilir. Soğuma sırasında, çevredeki farklı kayaların yüksek sıcaklık ve basınçtan etkilenerek meydana gelen değişimle birlikte bor elementi oluşabilir. Bu şekilde oluşan bir boraks damarı Şekil 7 'de görülmektedir.



Şekil 6. Bigadiç havzasında borat yataklarının oluşumunu gösteren yapay bir enine kesit (Yılmaz, 2002).



Şekil 7. Kaya birimlerinde gelişen bir boraks damarı (Yılmaz, 2002).

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Ocak İşletmesi

Bor yatakları genellikle yüzeye yakın olduğundan **açık işletme yöntemi** ile işletilmektedir. Kırka'da açık işletilme ile işletilen boraks madeninden genel bir görünüm Şekil 8'de sunulmuştur. Ocaktan çıkarılan boraks cevherinin önce dev eleklerden geçirilmesi gerekmektedir. Cevher, bu dev eleklere dökülürken partikkül düzeyinde büyük boyutlu bir kirliliğin oluşması kaçınılmazdır. Şekil 9, bu şekilde oluşabilecek kirlilik hakkında bir fikir vermektedir.



Şekil 8.Kırka'da açık işletme ile işletilen boraks madeninden bir görünüm (Yılmaz, 2002).



Şekil 9.Ocaktan çıkarılan boraks cevheri kazanlara dökülürken ortaya çıkan hava kirliliğinden bir görünüm (Yılmaz, 2002).

Bor cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanan yöntemler de değerli bor minerallerinin ve gang minerallerinin yapısal özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Bor minerallerinin zenginleştirme işlemlerinde, mineralin fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal özelliklerinden yararlanılmaktadır. Değerli ve değersiz minerallerin birbirlerinden ayrılması bu mineraller arasındaki özelliklerin farklılıklarına dayanarak yapılmaktadır. Sertlik, gevşeklik, yapı ve kırılış şekli, renk ve parlaklık, özgül ağırlık, manyetik duyarlılık, elektriksel iletkenlik, fluoresans, radyoaktivite, yüzey ve ara yüzey özellikleri, ısıl özellikler ve farklı çözünürlük olarak tarif edilen bu özellikler iki veya daha fazla sayıdaki minerallerin birbirlerinden hangi yöntemlerle başarı ile ayrılabileceğini belirlemektedir.

Ancak seçilen yöntemin maliyeti ile elde edilecek ürünün saflık derecesi ve getireceği yarar arasında bir dengenin bulunması da çok önemlidir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak zenginleştirme için uygun yöntem seçimi yapılır.

Değerli bor minerallerini oluşturan kolemanit, üleksit, tinkal, pandermit ve kernit gibi minerallerin kendilerine eşlik eden kalker, jips, marn, volkanik tüf, kil, mika ve organik madde gibi gang minerallerinden ayrılması için yukarıda bahsetmiş olduğumuz özelliklerin ışığında uygulanabilecek zenginleştirme yöntemlerini şu şekilde sıralayabiliriz.

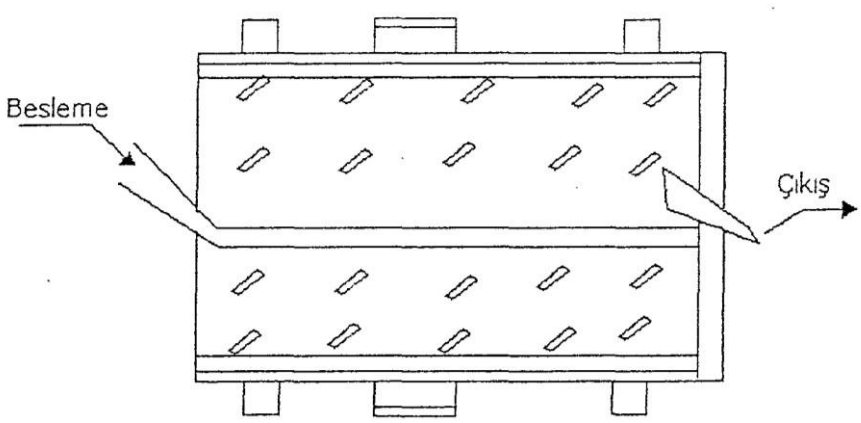
Cevher zenginleştirme

Elle ayıklama ile zenginleştirme

Bor mineralleri ile bu minerallere eşlik eden gang minerallerinin, renk, parlaklık ve kristallerin yapısal özellikleri arasında farklılıklardan yararlanılmaktadır. İri boyutlarda uygulanan bu yöntemde amaç, serbest olan gang minerallerinin uzaklaştırılması, tesis kapasitesinin arttırılması ve bor tuzlarının iri taneli ürün halinde elde edilmesidir. Türkiye de yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, Emet tesislerinde 25-100 mm boyut aralığında elle ayıklama ile zenginleştirme yapılır.

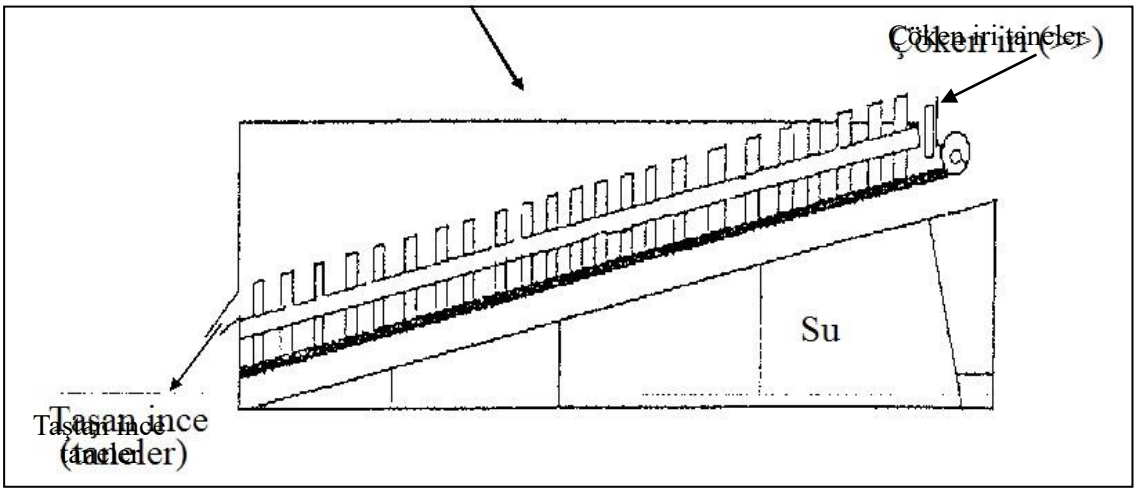
Tambura aktararak dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

Bu yöntemde amaç, gang minerallerinden kili uzaklaştırmaktır. Bor cevherlerine eşlik eden gang minerallerinden killer önemli sorunlar oluşturmaktadır. Ancak, büyük oranlarda bulunan kil minerallerinin su alıp şişme ve su içinde dağılma özelliklerinden yararlanılmaktadır. Bor cevherinin, yıkama tamburu içinde aktarılarak dağıtılmaları sonucu sıvı içinde dağılan ince boyutlu killeri, iri boyutlu bor minerallerinden kolaylıkla ayrılabilirler. Aktarma tamburları silindirik veya silindir-konik gövdeli olup gövdeleri ve yüzeyi malzemeyi kaldırıcı plakalarla kaplıdır. Tambur içinde bazen malzeme akışı su akım yönüne ters verilmektedir. Aktarma tamburu Şekil 10' da görülmektedir.



Şekil 10. Aktarma tamburu (Demir, 2000).

Aktarma işleminin daha etkili yapılabilmesi için, "Log-Washers" adı verilen araçlar kullanılmaktadır. Bu araç, Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Log Washers, kütüklü yıkayıcı (Demir, 2000).

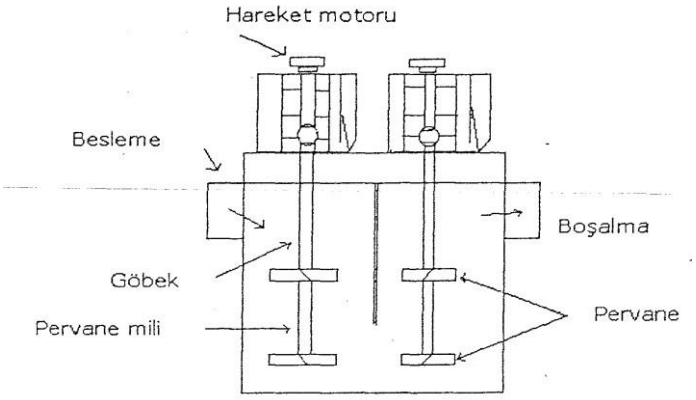
Log-Washers'ler ortalama 700 cm boyunda, 100 cm eninde ve 50 cm derinliğinde, 15°-20° eğimle yerleştirilmiş bir yataktan ibarettir. Üzeri kepçelerle kapalı ve kütük adı verilen bir karıştırıcı ile yalak üzerine yerleştirilmiştir. 15-20 devir/dakika ile dönen bu kütüğün kepçeleri arasına sıkışan bir cevherin içindeki kil, su içinde dağılır ve ortaya çıkan artık, kenardan taşma ile uzaklaştırılır. Kütüklü yıkayıcılarda aynı anda hem dağıtma hem yıkama işlemi yapılmaktadır.

Pervaneli karıştırıcılarla mekanik dağıtma ve boyuta göre ayırma ile zenginleştirme

Pervaneli karıştırıcılar, günümüz teknolojisinde ve özellikle bor minerallerinin, kendilerine eşlik eden kil minerallerinden yıkanarak ayıklanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. İki pervaneli dağıtıcı Şekil 12'de görülmektedir.

Bu araç sac veya paslanmaz çelikten bir tank ile içindeki mil üzerine takılmış, kanatları birbirine göre ters olan karıştırıcı pervanelerden oluşmaktadır. Pervaneler yüksek devirde döndüklerinde ham cevher sürtünme ve darbe ile dağılır. Sonunda cevherler, 4-5 mm boyutlarında ve % 65-70 katı içeren bir karışım haline gelmektedir. Pervaneli dağıtıcı özellikle yüzeyleri killerle kaplanmış veya sıvanmış taneler içeren cevherlerden killeri uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Kili dağıtılmış bor cevherlerinin tanktan dışarı alındıktan sonra yıkama ve boyuta göre sınıflandırmaya tabi tutulması gereklidir.

1987 yılında İTÜ maden fakültesinde yapılan araştırmalarda % 60 katı oranında, 15 dakika süre ile yapılan mekanik dağıtma işlemi sonunda % 36.72 B_2O_3 tenörlü bir ön ürünün % 90.9 verimle elde edilebileceği görülmüştür. Sürenin artması fazla ufalama nedeni ile B_2O_3 kaybına neden olmaktadır.



Şekil 12. İki pervaneli dağıtıcı (Demir, 2000).

Gravite ile zenginleştirme

Ağır ortam ve benzeri (jig, sarsıntılı masa gibi) yöntemlerle cevher zenginleştirilir. Öz olarak, mineral tanelerinin, aralarındaki özgül ağırlık ve hareket farklılıklarına dayanarak yapılan zenginleştirme yöntemine "Gravite ile zenginleştirme" denir, Özgül ağırlık farklarının yanı sıra mineral tanelerinin akışkan ortamdaki hareket hızları, tane büyüklüğü, mineral şekli de önemlidir.

Bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanması ve iyi sonuçlar alınması konsantrasyon kriteri değerinin (K), 2.5 ya da daha büyük olması gerekmektedir. Konsantrasyon değerleri, gravite ile zenginleştirmenin hangi boyutlarda ve hangi yöntemle uygulanabileceği konusunda bilgi vermektedir (Çizelge, 2).

Çizelge 2. Kolemanitin farklı ortamlardaki derişim değerleri (Demir, 2000).

	Mineralin özgül ağırlığı (g/cm^3)	**Ortamın özgül ağırlığı 1.0 g/cm^3**	**Ortamın özgül ağırlığı 1.6 g/cm^3**
		Konsantrasyon kriteri (K)	**Konsantrasyon kriteri (K)**
Kolemanit+Kil	2.40; 2.00	1.40	2.00
Kolemanit+Kalsit	2.40; 2.70	1.21	1.37
Kolemanit+Tüf	2.40; 1.95	1.47	2.28

Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme

Bilindiği gibi, elektrostatik ayırma ile zenginleştirme, minerallerin iletkenlik farkına dayanarak uygulanan bir yöntemdir. Elektrostatik kuvvetlere dayanan bu yöntemde, mineralin yüksek gerilim altında statik bir gerilim kazanıp, bu yükü bir süre kaybetmeme özelliğinden yararlanılmaktadır. Gaz iyonu bombardımanı, ışık ve radyasyon iletkenliği yoluyla bor mineral tanelerine elektrik yükü kazandırılabilir.

Kolemanit elektrostatik özelliklere sahip bir bor minerali olup, kolemanitin bu özellikleri, manyetik olmayan yalıtkan mineraller grubundan anhidrit, kalsit, kuvars ve jips ile normal sıcaklıklarda aynı olmakta, ancak ısıtıldıklarında sıcaklık artışı ile farklı iletken özellikler kazanılmaktadır. Normal oda sıcaklığı koşullarında yapılan elektrostatik ayırma deneylerinde çok az ayırma olurken, örneğin ısıtılması sonucunda sıcaklık artışı ile kolemanit mineralleri gang minerallerinden daha kolay bir şekilde

ayrılabilmektedir. Sıcaklığa bağlı bir özellik olması nedeniyle, bu yöntemle bor minerallerinin zenginleştirilmesi mümkündür.

Isıl işlemler ve boyuta göre ayırma ile zenginleştirme

Bazı mineraller, ani ısıtma veya soğutmaya tabi tutulduklarında, ya da belirli ısı derecesine getirildiklerinde kristal sularını veya uçucu bileşenlerini kaybederek dağılma ve ufalanma özelliği gösterirler. Bu olaya **Dekrepitasyon** adı verilmektedir Kalsit ($CaCO_3$), fluorit (CaF_2), jips ($CaSO_4.2H_2O$), barit ($BaSO_4$) ve kolemanit ($Ca_2B_4O_{11}.5H_2O$) bu tür özelliği olan minerallere örnek gösterilebilir. Kolemanit mineralinin öğütülerek akışkan bir yatakta 350 °C sıcaklık altında ısıtıldığında suyunu kaybederek ufalandığı, dekrepitasyon ürünlerinin siklonlardan geçirilerek tutulduğu, % 80 B_2O_3 verimine ulaşıldığı da ifade edilmektedir.

Kolemanit cevherleri ısıl işlemlere tabi tutulduklarında, belirli ısı derecelerinde kristal sularını kaybederek dekrepite olmakta, bu işlem sonucu, ufalanarak ince boyutlara inmektedirler. Kolemanite eşlik eden değersiz gang mineralleri kalsit, jips, kil, tüf ve mikalar ise; daha yüksek sıcaklıklarda ayrışmakta, düşük sıcaklıklarda, ufalanmadan boyutlarını muhafaza etmektedirler.

Kolemanit cevherlerinin, belirli sıcaklık derecelerinde ısıtılarak dekrepite edilmesi ve bu işlemleri izleyecek boyuta göre ayrılması sonucu kristal sularını kaybederek ufalanan bor mineralleri, elemeden sonra ince tane boyutlarında konsantre olurken, daha yüksek sıcaklıklarda bozuştuğu için orijinal tane boyutlarını koruyan jips, kalsit, tüf gibi gang mineralleri ise; bu boyuta göre ayırma sonucu, iri boyutlarda olduğundan bor minerallerinden ayrı artık gereçler meydana getirirler.

Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme

Bor mineralinin ve özellikle kolemanitin, flotasyon prosesi ile zenginleştirilmesi konusunun araştırılması yeni olup 1950'li yıllara dayanmaktadır. Knickboker'in yaptığı araştırmada; boraks mineralinin arıtılmasında, özel kollektör karışımları oleik asit gibi kollektör reaktifler ve iki değerlikli çinko ve baryum tuzlarını canlandırıcı reaktifler olarak kullanılmış veya bor minerallerinin doğrudan yüzdürülmesi yerine asitle muamele edip meydana gelen borik asidi kolaylıkla yüzdürmüştür.

Yapılan araştırmalarda, % 30 katı içeren bir mineral karışımının, sodyum silikat ile 10 dakika karıştırıldıktan sonra, % 10 katı içerecek şekilde seyreltildiği, ince aksamın (şlam) atıldığı, iri aksamın uygun bir boyuta öğütüldüğü, cevherin H_2SO_4 ile muamele edilerek pH'ının ayarlandığı, ve 2 dakika flotasyon süresi verilerek yüzdürüldüğü belirtilmektedir.

Manyetik ayırma ile zenginleştirme

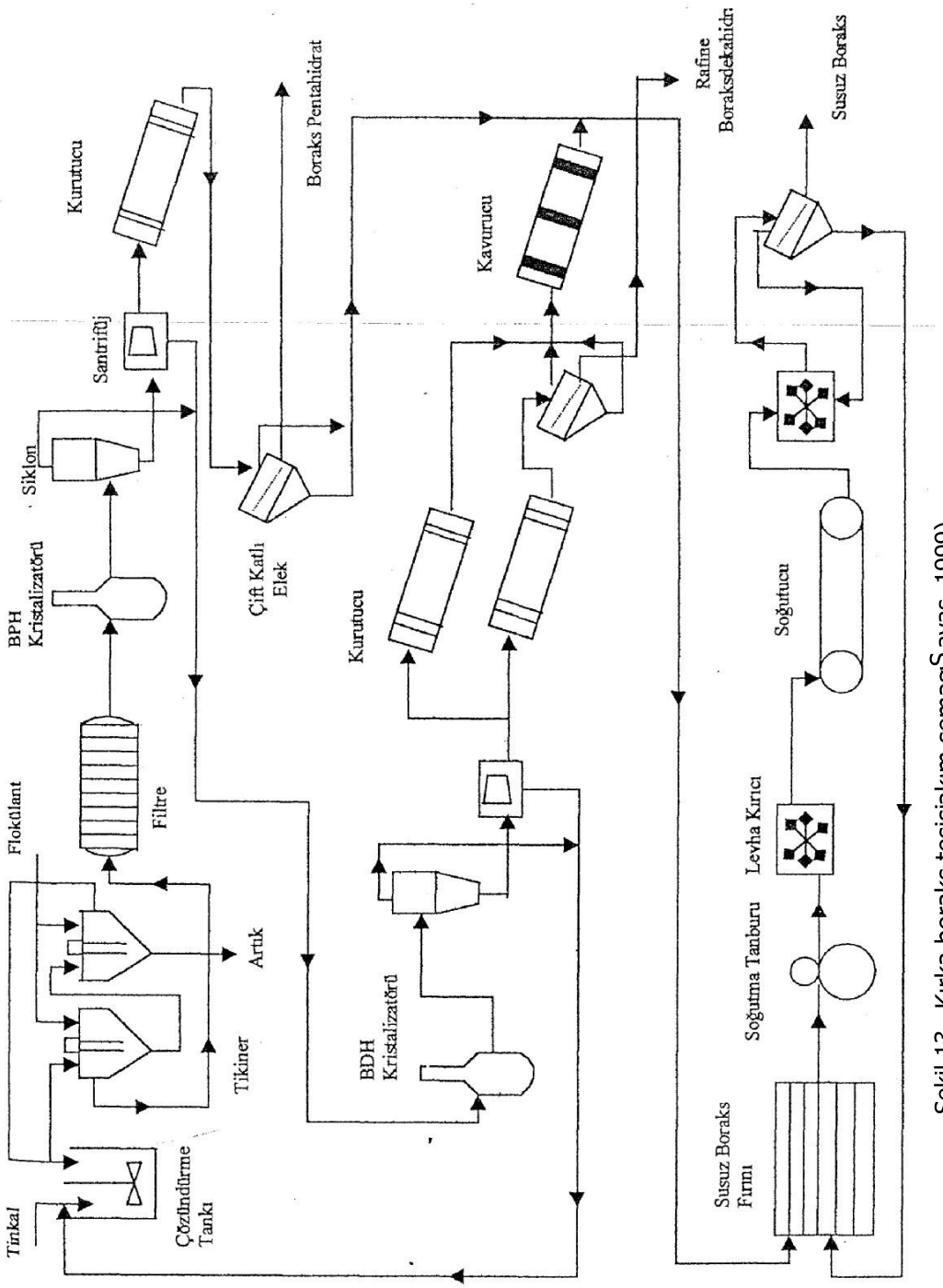
Bor cevherlerinin içerdiği gang minerallerinin arasında demir içeriği yüksek biyotit ve klorit gibi minerallerde yapılan araştırmaya göre bunların manyetik duyarlılıklarının $6{,}9.10^{-6}$ cm^3/g ile $8{,}7.10^{-6}$ cm^3/g arasında olduğu saptanmıştır.

Kil ve marn gibi gereçlerin boyut küçültme işlemlerinden sonra bunlar uzaklaştırılmakta ve daha sonra yüksek dereceli manyetik ayırıcılar kullanılarak demir içerikli biyotit ve kloritin de uzaklaştırılmasıyla geriye manyetik olmayan ürün olarak bor mineralleri ayırd edilebilmektedir.

Bor üretim akım şemaları

Ülkemizde boraks üretimi, Kırka ve Bandırma'da kurulmuş olan tesislerinde gerçekleşmektedir. Kırka boraks tesislerinin akım şeması Şekil 13'de verilmiştir (Savaş, 1999).

Kırka tesisimizdeki üretimde, konsantratör tesisinden gelen 0-6 mm'lik % 32-33'lük B_2O_3 konsantre tinkal'in bir kısmı satılmak üzere nihai silo önünde stoklanır, bir kısmı da bor türevleri tesisindeki 10.000 ton kapasiteli ara stok binasına taşınır.



Şekil 13. Kırka boraks tesisiakım şeması (Savaş, 1999).

Ara stok binasından alınan konsantre tinkal, 98 °C'de çözme tankında çözündürülür. Tinkal'in içindeki yabancı maddeler 1. ve 2. kademe tikinerlerde çöktürüldükten sonra basınçlı filtreler ile süzülür. Basınçlı filtrelerden gelen çözelti kristalizatöre gönderilir. Sıcaklığı 98 °C'den 66 °C'ye indirilerek boraks pentahidrat kristalleri elde edilir. Kristalizörden siklonlara gönderilen çözelti % 40-60 pentahidrat içerikli alınarak pentahidrat santrifüjlerine gönderilmektedir (Savaş, 1999).

Santrifüjden alınan ürün kurulduktan sonra çift katlı bir elekte elenerek iki elek arası ürün olarak boraks pentahidrat elde edilmektedir. Pentahidrat devresindeki kristalizatör taşkanı, siklon üstü ve santrifüjden alınan çözelti sıcaklığı 46 °C'ye düşürülerek dekahidrat kristalizatörüne verilmektedir.

Santrifüjden alınan ürünün bir kısmı ham boraks dekahidrat kurutucusuna, bir kısmı da rafine boraks dekahidrat kurutucusuna verilmektedir.

Rafine boraks dekahidrat kurutucusundan çıkan ürün eleğe verilmekte ve iki elek arası rafine boraks dekahidrat olarak alınmaktadır. Diğer kurutucudan çıkan ürün kavurucuya verilmekte, elek altı ve elek üstü ile birlikte susuz boraks fırınına gönderilmektedir. Fırından çıkan ergimiş boraks, soğutma tamburundan levha halinde çıkmaktadır. Levha kıncılarda kırıldıktan sonra soğutulan susuz boraks çekiçli kırıcılarda yeniden kırılıp eleklerden geçirilerek istenilen irilikte susuz boraks elde edilir.

Bandırmadaki tesisimizde ise, kırka konsantratöründen gelen -6mm tane iriliğindeki % 32-33 B_2O_3 tenörlü tinkal konsantresi, buharla 98 °C'ye kadar ısıtılan çökeltme tankında çözündürülür. Daha sonra tikinerlere verilerek çözünmeyen kil, kalker gibi ürünlerin çökelmesi sağlanır. Tikiner taşkanı basınçlı filtrelere ve filtrelerde temizlendikten sonra kristalizatörlere gönderilir. Sıcaklık 35 °C'ye düşürülerek boraks dekahidrat kristalleri oluşmaktadır. Santrifüje gönderilen ve oradan kurutucularda kurutulan boraks dekahidrat daha sonra satışa sunulmaktadır.

KULLANIM ALANLARI

Bor, metaller ve metal oksitlerle boridleri, karbonla bor karpiti, azotla bor nitriti, halojen ürünlerle bor halidlerini oluşturur. Bor bileşiklerinin kullanım alanları oldukça geniştir (DPT, 2001). Yüksek sıcaklıkta su ile tepkimesi sonucu borik asit, 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta oksijen ile reaksiyonu sonucu bor oksit oluşur. Bor ürünlerinin B_2O_3 oranı, kullanım açısından önemli olup, bu oranların yüzdesi, Çizelge 3'te sunulmuştur. Bor saf olarak kullanılmaz. Ancak, demir ve bakır gibi bazı metallerle yaptığı alaşımlar, metallurjide deoksidan olarak kullanılır.

Çizelge, 3. Bor ürünlerinin B_2O_3 değerleri (Savaş, 1999).

ÜRÜN	FORMÜL	%B_2O_3
Borik asit	H_3BO_5	56.3
Susuz Borik asit	B_2O_3	100.0
Rafine Boraks Dekahidrat	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36.5
Ham Boraks Pentahidrat	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	46.0
Rafine Boraks Pentahidrat	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	47.8
Ham Susuz Boraks	$Na_2B_4O_7$	69.0
Rafine Susuz Boraks	$Na_2B_4O_7$	69.2
Sodyum Perborat	$NaBO_3.4H_2O$	22.0

Borun bazı bileşiklerinin özellikleri ve kullanım alanları

Borik asit

Borik asit ismi, tek ticari bor asidi olan ortoborik asit için kullanılmaktadır. Ortoborik asit (H_3B0_3) 100 °C'de bir molekül suyunu kaybederek metaborik asite (HBO_2) dönüşür. Tetraborik asit ($H_2B_4O_7$) ise; dört metaborik asitin 160 °C'de bir molekül su kaybetmesi ile oluşur. Tetraborik asit de suyunu tamamen kaybederek bor okside (B_2O_3) dönüşür. Borik asit, altı köşeli, beyaz, parlak kristaller şeklindedir. Özgül ağırlığı 1.5172 g/cm^3, ergime noktası 1799 °C'dir. Suda kolay çözünür. Sıcak suda çözünmüş borik asit, su soğuduğunda yeniden kristalleşir ayrıca su buharlarıyla birlikte uçabilme özelliği vardır.

Bor tuzlarının sülflirik asitle reaksiyonu sonucu borik asit üretimi yapılmaktadır. Sülfürik asit yerine, nitrik asit, hidroklorik asit gibi kuvvetli asitlerde kullanılmaktadır. ABD'de borik asit üretiminde kernit, Türkiye'de ise; kolemanit cevheri kullanılmaktadır.

Son yılların önemli buluşlarından biri de borik asidin sürtünmeyi neredeyse ortadan kaldıran karbon film kaplamasında kullanılmasıdır. Böylece süper kaygan yüzeyler oluşturulmaktadır.

Bor oksit

Bu ürün bor trioksit olarak da bilinmektedir. Borik asitin suyunun tamamen kaybetmesiyle oluşur. Bu nedenle susuz borik asit olarak da adlandırılabilmektedir. Aynı zamanda endüstriyel çapta üretilen tek bor oksittir. Bor oksit renksiz, kolayca nemlenebilen, elektriği iletmeyen bir bileşiktir. Camsı yapıya sahiptir. Yoğunluğu 1.844 g/cm^3, kaynama noktası 2316 °C'dir. Bor oksidin su ile reaksiyonunda borik asit oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda (l000 °C'nin üstünde) metal oksitlerle birleşerek metaboratları oluşturmaktadır.

Boraks dekahidrat, Boraks pentahidrat, Susuz boraks

Bu üç bileşik tetraborik asitin sodyumlu tuzlarıdır. Bu bileşikler, bileşimlerindeki su miktarlarına göre ayrılırlar. Boraks dekahidrat ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) tinkal cevheri olarak doğal halde de bulunmaktadır. Çeşitli arındırma işlemleriyle saf olarak elde edilir. Dekahidrat ısıtıldığında, 5 mol suyunu kaybederek boraks pentahidrat'a ($Na_2B_4O_7.5H_2O$) dönüşür. Boraks pentahidratın molekül suyunu kaybetmesi ile de susuz boraks ($Na_2B_4O_7$) oluşur. Boraks çözeltisi soğutulduğunda 60 °C civarında boraks pentahidrat, oda sıcaklığında ise; boraks dekahidrat kristalleşir. Pentahidrat kristalleri trigonal, dekahidrat kristalleri monoklinal yapıya sahiptirler.

Sodyum perborat ve sodyum bor hidrür

Sodyum perborat oksijen köprüsüyle bağlanmış bir peroksittir. Bileşimindeki suyun mol sayısı 0-3 arasında değerler alarak değişebilmektedir. Sodyum perborat sırasıyla monohidrat, dihidrat ve trihidrat olarak adlandırılmaktadır.

Sanayide sodyum perborat üretimi elektrolit ve kimyasal olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Son yıllara kadar her iki yöntemde kullanılmaktaydı. Bugün verimi daha yüksek ve ekonomik olarak büyük ölçüde üretime daha uygun olduğundan kimyasal yöntem tercih edilmektedir.

Sodyum bor hidrür ($NaBH_4$), ise enerji taşımada önemli yeni olanaklar sunmaktadır. Bu bileşikler kullanılarak elde edilen hidrojen ara enerji taşıyıcı olarak kullanıldığında, boru hatları ile çok uzun mesafelere taşınabilmektedir.

Kuvvetli indirgen özelliğine sahip olan sodyum bor hidrür, günümüzde, kâğıt hamurunun ağartılması, çözeltilerden altın ve gümüş gibi değerli metallerin geri kazanılması, atık sulardan kadmiyum ve cıva gibi zehirli ağır metallerin giderilmesi, vitamin ve antibiyotik gibi bazı organik kimyasalların üretilmesi gibi pek çok ticari alanda kullanılmaktadır. Sodyum bor hidrür, bir katalizörün varlığı halinde su ile tepkimeye girerek hidrojen gazı üretme özelliğine de sahiptir. Bu yöntemle üretilen hidrojen, içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır.

Boridler

Boridler, metalik karakterlere sahip bor bileşikleridir. Metallerle veya metal oksitlerle borun reaksiyonu sonucu oluşurlar. Ticari olarak metalik karışımların ve borun alüminyum, magnezyum veya karbonla indirgenmesiyle elde edilirler.

Japonlar **magnezyum diböridin** (MgB_2) geleceğin bir süper iletken malzemesi olabileceğini keşfetmişlerdir. Süper iletkenlik, sıcaklığın düzeyin (kritik sıcaklığın) altına düşürülmesiyle her türlü elektriksel direncin kayıp olması durumudur. Süper iletkenler, çok yüksek akımları, hiçbir enerji kaybına neden olmadan taşıyabildikleri için enerjinin verimli bir şekilde aktarımında kullanılmaktadır.

Bunların dışında boridlerin buhar-gaz reaksiyonu veya elektrolizle elde edilmeleri mümkündür. Boridler yüksek ergime noktasına, yüksek sertliğe ve iyi bir kimyasal duraylılığa sahiptirler.
Oksidasyona karşı dirençlidirler. Vanadyum, tantalyum, molibden boridler 1000-2000 °C'ye, zirkonyum ve titanyum boridler 1400 °C'ye kadar oksidasyona dayanıklıdırlar.

Borkarbür

Bor-karbon sistemindeki tek bileşik borkarbürdür. Borkarbür(B_6C), bor anhidritin elektrik akımıyla karbonla indirgenmesinden meydana gelen çok sert bir cisimdir. Genellikle taneli ve katı bir gereçtir. Masif ürün olarak elde edilmek istendiğinde 1800-2000 °C'de grafit kalıplarda sıkıştırılır. Farklı borkarbon

içeren bileşikler ($B_{13}C_2$, $B_{25}C$ vb.) bor'un borkarbür içerisindeki yüksek çözünürlüğünden ve bor karbür içerisinde bor atomlarının karbon atomlarının yerine geçebilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Saf borkarbür kristalleri hafif parlak görünümdedir, Yoğunluğu 2.52 g/cm^3, ergime sıcaklığı 2450 °C'dir. Borkarbür sulu kimyasal maddelere karşı çok dayanıklıdır. Çelikten 100, tungsten karbürden ise 10 kez daha dayanıklı olan bor karbür, bilye kaplamada, torna kalemleri ve sonda matkapları üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Bornitrit

Bornitrit çeşitli kristal yapılarda oluşmaktadır. Ama genellikle hegzagonal veya kübik yapıda oluşur. Hegzagonal sistemde beyaz bir renk almaktadır. Hegzagonal sistemde talk'a benzeyen 2.77 g/cm^3 yoğunluğunda olan bir tozdur. Kübik sistemde ise oldukça serttir. Saf halde renksizdir, İyi bir elektrik izolatörüdür. Yoğunluğu ise; 3.45 g/cm^3'tür.

Bor halojenürler

Bor'un flor, klor, brom, iyot gibi halojenlerle yaptığı bileşiklerdir. Bor oksidin derişik sülfirik asit ve florit, klorit, bromid, iyodit gibi halojenlerle ısıtılmasıyla elde edilebilirler. Bor florür renksiz, boğucu, kokulu, yanıcı olmayan bir gazdır. Borklorür düşük vizkoziteli, renksiz ve ışığı kıran bir sıvıdır. Bor florüre benzemektedir. Bor iyodür katı haldedir ve kuvvetli nem çekici özelliğe sahiptir. Aynı zamanda oksijen akımında yanar.

Boranlar

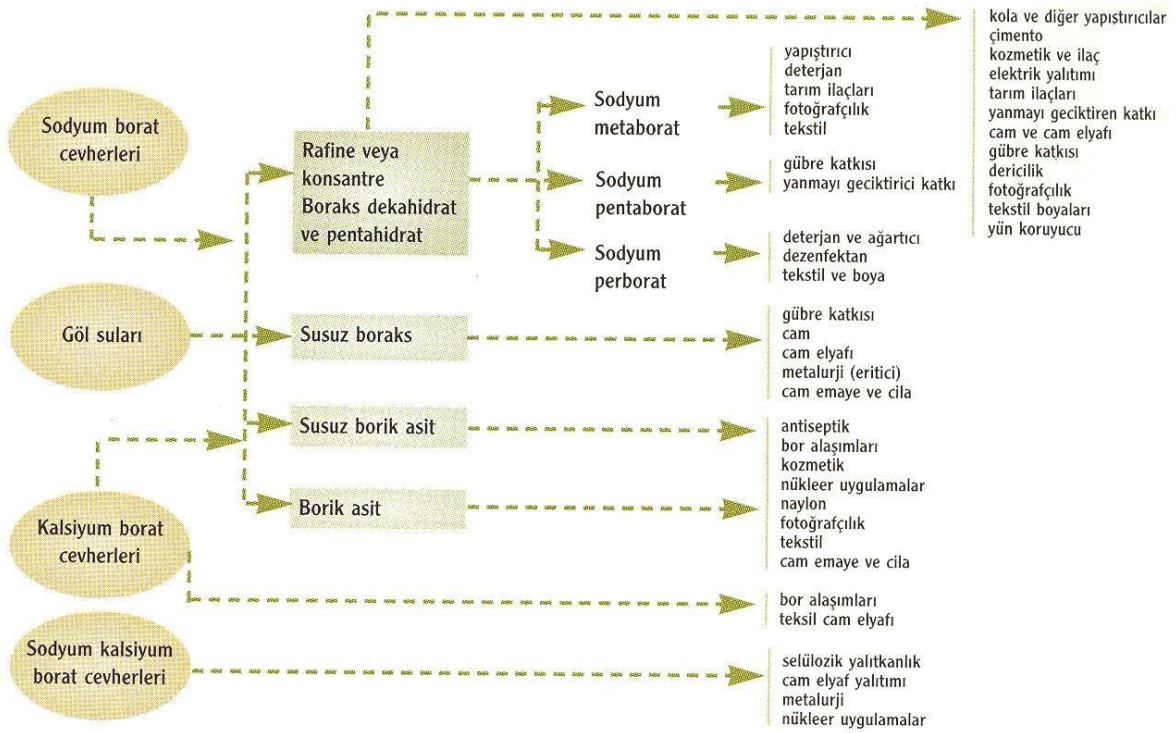
Boranlar, borun halojenlerle oluşturduğu bileşiklerdir. Halojenler, F, Cl, Br, ve I'un yer aldığı element grubudur. Yapı olarak karbona benzemektedirler. Boran, kimyası oldukça karışık bir bileşiktir. Pek çok boran çeşitleri bulunmaktadır. Boran üretimi ekonomik olarak yapılamadığından endüstriyel alanda kullanımı azdır. Bazı boranlar katı halde, bazıları sıvı halde, bazıları da gaz halde bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, dekaboran ($B_{10}H_{14}$) katı halde, pentaboran (B_5H_9) sıvı halde ve diboran (B_2H_6) gaz halde bulunmaktadır.

Borun kullanıldığı bazı sektörler

Bor minerallerinin ve bor ürünlerinin kullanım alanı oldukça yaygındır. Bor mineral ve ürünlerinin yerine ikame gereci olmaması bor bileşiklerinin önemini arttırmaktadır. Bor bileşiklerinin genel kullanım alanları (DPT, 2001) ve sektörler itibariyle kullanım alanları ise Şekil 14'de sunulmuştur (Yılmaz, 2002).

Cam sanayi

Cam sanayisinde boratlar ve sorun oluşturan bileşiklerdir. Üretim sırasında baca gazlarında B_2O_3 kaybı fazladır. Bu kayıp özellikle sulu boratların kullanıldığı zaman artmaktadır. Üreticiler için uygunu susuz boratlar ve susuz borik asit olması gerekirken birim B_2O_3 başına fiyat çok düşük olduğu için sulu boratlar kullanılmaktadır. Camı ısıya dayanıklı hale getirmek için borat eklenmektedir. Cama verilecek özelliğe göre katılan B_2O_3 ilavesi % 6.5-23 arasında değişebilir. Ucuz olması nedeniyle en çok, boraks pentahidrat kullanılmaktadır.



Şekil 14. Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları (Yılmaz, 2002).

Emaye ve kaplama sanayi

Seramik kaplamaları ve emaye ya da porselen sırlarında boratlar akışkanlaştırıcı görevi yaparlar. Sır malzemesine üretim sırasında sağlanan özellik düşük ergime sıcaklığıdır. Bu sır malzemesinin daha kolay ergimesini sağladığı için üretim maliyetinde düşme sağlar. Aynı zamanda seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor % 3-24 oranında kolemanit şeklinde katılır.

Sabun ve deterjan sanayinde

Boraks ve sodyum perborat temizleme ve beyazlatma işlemlerinde son derece etkili birer bor bileşiğidirler. ABD'de rafine edilmiş borakstan elde edilen sodyum perborat, Avrupa'da ise, doğrudan tinkal cevherinden üretilmektedir. Dolayısıyla bir yan ürün olarak düşünülebilir. Sodyum perborat ise, temizlik mamullerine beyazlatıcı özelliği katmasından dolayı sabun ve deterjan sanayisinde kullanılmaktadır. Mikropları öldürmesi ve suyu yumuşatabilmesi yönleriyle sabun yapımında tercih edilir.

Metalurji sanayinde

En çok kullanılan ürünler kolemanit ve borik asittir. Demir-bor alaşımı olan ferrobor farklı B_2O_3 içeriklerinde hazırlanarak nitelikli çeliklerin imalinde bir katkı maddesi olarak kullanılır. Yüksek borlu çelikler nükleer reaktörlerde nötron emilmesini sağlayan önemli bir alaşımdır. Yani paslanmaz çelik, sürtünmeye ve aşınmaya dayanıklı ürünlerin yapımında ana girdilerden biri de bor kaynağıdır.

Tarımda

Bazı topraklar, bilhassa kumlu topraklar bor açısından çok fakir olduklarından bor içeren gübrelere ihtiyaç dur. Bu nedenle gübrelere bir miktar bor katılmaktadır. Boraks ve boraks pentahidrat bu amaçla gübre üretiminde bir katkı maddesi olarak kullanılırlar. Ayrıca, 3,75 ppm'in üzerindeki bor, bitkiler için de zehirli bir madde olup bu özelliğinden yabani bitkilere karşı mücadelede yararlanılır.

Enerji sektöründe

Hidrojen taşıyıcısı, enerji hammaddeleri ve füzyon reaktörlerinde yakıt olarak kullanımı konularında birçok ARGE çalışmaları yapılmaktadır. Örneğin, elektrikli araç aküleri için Bordan yararlanılmaktadır. Bor, başlangıçta herhangi bir radyoaktif atık salmaz ve doğrudan elektrik üretebilir. Bor ve hidrojen

birlikte, elektronları olmayan helyum atomlarına sahip alfa parçacıklarına dönüşebilir. Şimdilik teknoloji yeterli düzeyde olmasa da yakın gelecekte boron hidrojen füzyonunu kullanan arabaları üretilebilir. Böylece lasılıkla, bir gram Bor, bir aracın 80.000 kilometre yol almasına yetecek kadar yakıt sağlayabilir (https://borates.today/tesla-boron/).
Ülkemizde, Eti Maden, bor ve bor ürünlerini daha verimli, karlı ve sürdürülebilir hale getirme çabası içinde olup dünya standartlarına uygun yenilikçi hizmetleri ve vizyoner yaklaşımıyla ülkenin ve dünyanın geleceğini tasarlamayı planlamaktadır (https://borates.today/boron-fuel/).

İnşaat sektörü

Borlu çimento üretiminde ticari değeri düşük bor madeninin % 17 düşük tenörlü kolemanit cevheri de kullanılmaktadır. Kolemanit ilaveli çimento üretiminin amacı, hidratasyon hızının yavaş ve düşük oluşu nedeniyle çatlamayan bir çimento üretebilme olanağı yaratmasındandır. Ayrıca hidratasyon ısısının düşük olması ön-soğutma ve ard-soğutma işlemlerinin de düşük düzeyde olmasını sağlayarak enerji tasarrufunu yaratmakta, bu da borlu çimentoya ticari bir avantaj sağlamaktadır. Borlu çimento su ve kimyasalların geçirimsizliğine karşı en iyi malzemelerden biridir. Nükleer santral yapılarında borlu beton nükleer kalkanı gibi nötron tutucu bir işlevi de yerine getirmektedir. Bu nedenle nükleer santral binalarının yapımında borlu çimento kullanılmaktadır.

Diğer kullanım alanları

Yukarıda saydığımız alanlar dışında birçok alanda kullanım yeri bulmaktadır. Bunlar:

1-) Boratlar ve borik asit selülozik malzemeler için etkin bir yangın önleyicidir. Boratlar selülozun yapısından tutuşmadan önce su moleküllerini uzaklaştırırlar. Bir ön kavurma olarak düşünebileceğimiz bu olay malzemenin alev almasına ve daha fazla yanmasını engellemektedir. Mobilya kaplamalarında yangın önleyici olarak borik asit kullanımı oldukça fazladır. Bunun yanı sıra, plastik malzemelerde tutuşmayı geciktirici olarak bor bileşikleri kullanılmaktadır. Bu bileşikler Çinkoborat, Baryum metaborat ve Borfosfat' dır.

2-) Bor karbür, aşınmaya dayanıklı makine aksamında, atom reaktörleri: kontrol elemanı, radyasyon önleyici zırh malzemesi, ultrasonik öğütmede aşındırıcı olarak kullanılmakta, delici matkap uçları yapımında da yararlanılmaktadır.

3-) Katalizör olarak borklorür silis üretiminde; borflorür polimerizasyon, esterleşme ve alkalileşme gibi organik reaksiyonların hızlandırılmasında kullanılmaktadır. Borun organik bir bileşiği, benzin temizlemek ve erken ateşleme olayını engellemek için benzine katılmaktadır.

4-) Talk pudrasında, bebe pudrasında, traş pudrasında borik asit kullanılır.

5-) Kozmetik ve ilaç sanayisinde bor bileşikleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

6-) Böcek öldürücü olarak kullanılmaktadır.

7-) Fotoğrafçılık ve çimento sanayisinde bor bileşikleri kullanılmaktadır.

8-) Otomobillerde hava yastıklarında, hemen şişmeyi sağlamadığı için bor minerallerinden faydalanılır. Çarpma anında, elementer bor ile potasyum nitrat toz karışımı elektronik sistemle harekete geçer. Ayrıca, otomobillerin antifrizlerinde kullanılmaktadır.

9-) Sodyum borhidrat, atık sulardaki civa, kurşun, gümüş gibi ağır metallerin sulardan temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

10-) BNCT (Boran Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesinde kullanılmaktadır. Borun ülkelere göre kullanım alanlarının dağılımı Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge, 4, Borun ülkelere göre kullanım alanlarının dağılımı (Demir, 2000).

Kullanım alanı	ABD %	Japonya %	Avrupa %	Türkiye %
Fiberglas ve cam	50-55	50-55	30-35	8-10
Sabun ve deterjan	5-10	2-3	40	70-80
Emaye ve seramik	2-3	12-20	15-20	10-15

Diğer kullanımlar	30-40	20-30	10-15	1

ÇEVRESEL SORUNLAR VE ÇÖZÜM YOLLARI

Bor yataklarının işletme ve cevher zenginleştirme evreleri kapsamlı çalışmalardır. Bor yatakları, genellikle açık işletme yöntemleri ile işletilmektedir. Açık işletmelerin doğal sonuçlarından biri de kazı sırasında ve sonrasında ortaya çıkan çukurların ve atıkların yarattığı görüntü kirliliği ile partikül düzeyinde ortaya çıkan hava kirliliğidir. Özellikle ocaktan alınan cevherin dev eleklere dökülmesi sırasında ortaya çıkan hava kirliliği çevre açısından bir tehdittir. Ancak, bu tür kirliliklerin yapılacak çalışmalar sırasında alınacak önlemlerle ve daha sonraki iyileştirme çalışmalarıyla denetlenmesi mümkündür (Yılmaz, 2009).

Borun cevher zenginleştirme evresinde ise mekanik yöntemlerin yanı sıra manyetik ve elektrostatik ayırma, ısıl işlemler ve yüzdürme gibi yöntemler de uygulanmaktadır. Kullanılan tamburların bakımı, ortaya çıkan katı ve sıvı atıklar ve kullanılan enerjinin türü ortaya çıkması olası çevresel etkilerin boyutlarını belirler. Dolayısıyla borun cevher zenginleştirmesi sırasında izlenen akım şemalarının her evresinin iyi planlanması gerekmektedir.

Yukarıda da sunulduğu gibi Bor yataklarının ocak işletmesi, üretimi, cevher zenginleştirmesi ve kullanım evrelerinde sürdürülen faaliyetlerin çevre üzerinde etkileri vardır. Dolayısıyla sürdürülen faaliyetin boyutları ve ÇED Yönetmeliği (2022) dikkate alınarak söz konusu faaliyetlerin yürütülmesinde yarar vardır.

SONUÇLAR

Bor mineralleri, ülkemiz açısından stratejik bir öneme sahiptir. Yaklaşık olarak Dünya bor minerallerinin % 63'ünün Türkiye'de bulunduğu ileri sürülmektedir. Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan ülkemiz, önemli bir pazar payına sahip değildir. Dünya bor pazarında mevcut durumun koruyup pazar payını daha da arttırabilmek için, pazarlama ve satış stratejilerinin kapsamlı olarak yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir (JMO, 2001a; 2001b).

Ekonomik ve stratejik açıdan önemli olan bazı sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

Dünya bor pazarında güçlü ve istikrarlı bir pazarlama ve satışın yapılabilmesi için; standart kalitede ürün, üretimde süreklilik artan talepleri zamanında karşılayabilecek bir planlamanın oluşturulması gereklidir.

Dünya piyasalarında gelişen endüstriyel teknolojilere koşut olarak artan bor tüketiminde bor ürün türlerinin artırılması gereklidir. Dünya'da tek ham bor satıcısı durumunda olan ülkemizin, katma değeri yüksek olan rafine ürünlere yönelmesi sonucunda bor gelirlerimiz artacaktır. Bu nedenle rafine bor tesislerinin teknolojilerinin yenilenmesi, kalitelerin yükseltilmesi ve yeni tesislerin kurulması gereklidir. Çünkü bir maden hammaddesi ne kadar uç ürünlere çevrilirse milli gelire katkısı o kadar çok artmaktadır. Dolayısıyla, kapsamlı tesisler kurulmalıdır.

Bor ürünlerinin sanayi sektöründe çok yaygın olarak kullanılması nedeniyle; tüm sanayi sektörlerinde bor ürünlerinin kullanımı için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Bugün ülkemizde bor tüketimi, çok düşük olup Dünya tüketiminin % 1-2'si dolayındadır. Bor tüketiminin artırılması ve yeni tüketim alanlarının bulunması için tüm sanayi kuruluşları ile iş birliğine gidilmeli ve yeni uç ürünlerin geliştirilmesi için destek sağlanmalıdır.

Mevcut üretim tesislerindeki teknolojik sorunların çözülmesi mevcut ürünler için yüksek verimi olan yeni üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve Dünya bor pazarındaki mevcut payını artırmak amacıyla araştırma ve yatırımların yapılması gerekmektedir. Bor sektörünün genel üretim sektöründeki payının artması için özel sektör de teşvik edilmelidir.

Ülkemiz, bor mineralleri yönünden en zengin ülke olması nedeniyle sahip olduğu bu doğal üstünlüğün akılcı bir biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak günümüz siyasetinde açıkça görülmektedir ki diğer birçok önemli madenlerimiz gibi bor madeni de batılı ülkelere, değerinin çok

altında fiyatlarla satılmaktadır. Bunun bir an önce önüne geçilmeli, siyasi politikaları doğru belirleyip çağdaş bir planlama öngörülmelidir. Bor madenlerinin üretimi ve pazarlanması, ham veya yarı mamul ürünlerin yerine, mutlaka uç ürünlerin üretimine doğru yönelmeli ve bu amaç için gerekli yatırımlar acilen yapılmalıdır.

Günümüzde çok değişik sanayi dallarında kullanım alanı bulan bor ürünleri, teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni kullanım alanları da bulmaktadır. Ülkemizin ekonomisinde önemli bir yere aday olan borun kullanım alanları hususunda kapsamlı ARGE çalışmalarına gereksinim vardır (DPT, 2001).

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
Demir, K., 2000, Bor Üretim Teknolojisi ve Eti Holding Kırka Boraks Tesisindeki Bor Üretimi, Ankara, 108 s.
DPT, 2001, Sanayi Hammaddeleri 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 237 s.
Helvacı, C., 2001, Türkiye Boraks Yatakları: Jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası: TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası, yayın no.71, Ankara, 34 s.
Helvacı, C., 2004, Bor yatakları ve oluşum modelleri: Evaporitler Tuzlar Semineri, MTA Kültür Sitesi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, yayın no 81, Ankara, s. 10-24.

https://borates.today/boron-fuel/ (29 Aralık 2022). https://borates.today/tesla-boron/ (29 Aralık 2022).

İleri, S.,1976, Bor Bileşikleri, Yeryuvarı ve İnsan, 1/4, s. 48-66.
JMO, 2001a, Bor Dosyası, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, Sayı, 2001/1-2, s. 5-29.
JMO, 2001b, Özelleştirmeler ve Bor Gerçeği Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları no 70, Ankara, 90s.
MTA, 1994, Mineraller: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yayını, Ankara, 72 s.
Savaş, M., 1999, Bor: Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
Tolun, R., 1982, Bor Bileşikleri ve Üretim Teknolojisi: TUBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü, Kocaeli, 57 s.
Yalçın, H., Gündoğdu, M. N., 1987. Neojen yaşlı Emet gölsel volkanosedimanter baseninin mineralojik petrografik incelenmesi: Neoformasyon minerallerinin oluşumu ve dağılımı. H.Ü. Yerbilimleri Dergisi, 14, 45-61.
Yalçın, H., Baysal, O., 1991. Kırka (Seyitgazi-Eskişehir) borat yataklarının jeolojik konumu, dağılımı ve oluşumu. Maden Tetkik Arama Dergisi, 113, 93-104.
Yılmaz, A., 2002, Her derde deva hazinemiz: Bor, TUBİTAK aylık popüler bilim dergisi: Bilim ve Teknik, s. 414, s. 38-48.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

3. 3. 3, TRONA

GENEL BİLGİLER

Trona, doğal olarak bulunan ve $Na_3H(CO_3)_2.2H_2O$ bileşiminde olan en yaygın soda minerallerinden biridir. Dünya'da bilinen soda yataklarının tümü gölsel ortamlarda oluşmuştur. Sodanın Dünya'da ilk defa Mısırlılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Kullanılan soda, alkalin göllerden, buharlaşma sonucu oluşan kabuk şeklindeki ürünlerin toplanması ile elde edilmiştir. Eski çağlarda cam ve sabun yapımında kullnılan soda, daha sonra barutta kullanılmış ve talebin artmasıyla yapay soda üretimine başlanmıştır.

Yapay sodayı ilk kez bulan, 1791'de Fransız Nicolas Leblanc olmuştur. Leblanc'ın sodayı üretme yöntemi, 1860 yılına kadar kullanılmış ve yerini daha sonra, Belçikalı Esnest ve Alfred Solvay kardeşlerin 1860'da bulduğu Solvay yöntemine bırakmıştır. Solvay yönteminde ana madde tuzdur. İkinci ana madde kireçtaşından elde edilen CO_2'tir. Ara madde ise amonyaktır. Bu yöntem 1937 yılına kadar kullanılmıştır.

İlk trona minerali, 1896 yılında ABD'nde (Wyoming) Green River Formasyonu'nda su sondajları sırasında bulunmuştur. 1938 yılında ise aynı bölgede petrol sondajlarının yapıldığı çalışmalarda tronanın

yaygın olduğu saptanmıştır. Ülkemizde ise Osmanlı İmparatorluğu döneminde Van Gölü ve çevresinden soda üretildiği ve develerle İstanbul'a getirildiği bilinmektedir.

1979 yılında ise ikinci trona yatağı olan Beypazarı'nın kuzeyinde, MTA Genel Müdürlüğü'nce belirlenmiştir. 1980 yılında başlayan trona araştırmalarında, 23000 m sondaj yapılmış ve Dünya'nın bilinen ikinci büyük trona yatağı saptanmıştır. Saha, daha sonra işletilmek üzere 1985 yılında Etibank'a devredilmiştir.

ABD ve Çin'deki yataklar Eosen yaşlı, Beypazarı yatağı ise Orta-Üst Miyosen yaşlı birimlerde yer alır. Bu birimlerin ortak özellikleri, gölsel ortamlarda oluşmuş olmaları, bitümlü şeyl içermeleri ve kalkalkali karakterde bir volkanizmayla beslenmiş olmalarıdır.

Trona, aslında ticari bir kaynak değildir. Ancak, işlenip soda külüne dönüştürüldüğünde trona ticari bir değer kazanmaktadır. Dünya'daki trona üretimi 17 milyon tonun üzerinde olup, tümü doğal soda külü ve eşdeğeri ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Tronanın, baca gazının desülfirizasyonunda ve hayvan yemi olarak doğrudan kullanımı da mümkündür.

Dünya'da en büyük trona üretim bölgesi, ABD'deki Wyoming Eyaleti'nin Green River Havzası'nda olup, bu yatak, yılda 19.3 milyon ton dolayında üretim kapasitesine sahiptir. İkinci büyük fosil trona yataklarına sahip olan ülkemizdeki trona rezervini değerlendirecek olan Beypazarı Trona Projesi kapsamında 2002-2004 yılları arasında 300 milyon $'lık yatırım yapıldı. Bu yatırım ile 1.8 milyon ton dolayında trona madeni çıkartılıp, 1 milyon ton doğal soda külü ve türevleri elde edilmesi yönünde çaba gösterilmektedir.

ÖZELLİKLERİ

Doğada ekonomik olarak soda oluşturabilen en önemli mineraller Trona ve Nakholit'tir. Önemli soda mineralleri ve bu minerallerin bileşimi ile % Na_2CO_3 içerikleri toplu olarak Çizelge 1'de görülmektedir.

Trona, monoklinal sistemde kristalleşen, prizmatik, doğal olarak oluşmuş sodyum seskikarbonatın ($Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O$) saf olmayan şeklidir. Cevherin içerdiği organik maddeye bağlı olarak rengi kahverengiden koyu sarıya kadar değişir. Saf örneklerde ise renk beyazdan şeffafa kadar değişmektedir. Soda zonlarındaki saf soda damarları, bitümlü şeyller, kiltaşları ya da tüfitlerle ardalanmalı olarak bulunurlar.

Çizelge 1. Önemli soda mineralleri (Industrial Minerals and Rocks, 1993).

Mineral adı	Bileşimi	Na_2CO_3 %si
Termonatrit (Monohidrat)	$Na_2CO_3.H_2O$	85.5
Vegsederit	$Na_2CO_3.NaHCO_3$	74.0
Trona (Seskikarbonat)	$Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O$	70.4
Nahkolit (Sodyum bikarbonat)	$NaHCO_3$	63.1
Bradleyit	$Na_2PO_4.MgCO_3$	47.1
Pirsonit	$Na_2CO_3.CaCO_3.2H_2O$	43.8
Nortapit	$Na_2CO_3.NaCl.MgCO_3$	40.6
Tikhit	$2MgCO_3.2NaCO_3.Na_2SO_4$	42.6
Natron	$Na_2CO_3.10H_2O$	37.1
Davsonit	$NaAl(CO_3)(OH)_2$	35.8
Gaylusit	$Na_2CO_3.CaCO_3.5H_2O$	35.8
Şortit	$Na_2CO_3.2CaCO_3$	34.6
Burkeyit	$Na_2CO_3.2Na_2SO_4$	27.2
Hanksit	$2Na_2CO_3.9Na_2SO_4.KCl$	13.6

Trona:
Kimyasal bileşimi, $Na_3H(CO_3)_2.2H_2O$ **Kristal sistemi**, monoklinik
Kristal biçimi, çoğunlukla masif, lifsi; sutunsal; bazen kalın levhalar halinde
İkizlenme, (100) yüzeyinde nadiren
Sertlik, 2.5-3;
Özgül ağırlık, 2.11
Dilinim, (100) mükemmel
Renk ve şeffaflık, renksiz, grimsi, sarımsı, beyaz, donuk kahverengimsi; kısmen şeffaf **Çizgi rengi**, beyaz;
Parlaklık, camsı,
Bulunuşu, kurak iklim bölgelerindeki tuz göllerinde oluşur.

Trona mineralinin genel görünümü aşağıda sunulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Tronanın genel görünümü (MTA,1994).

Tronanın sertliği, Mohs Ölçeği'ne göre 2.5-3.0, yoğunluğu 2.14 g/cm^3'dür. Suda çözünür, asitte köpürür, ısının etkisi ile Na_2CO_3'e dönüşür. Saf trona, % 70.4 Na_2CO_3 içerir. 1 ton soda külü üretmek için 1.8 ton trona gerekmektedir. Eti Holding A.Ş.nin öngördüğü iyi bir trona cevherinin bileşimi Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. İyi bir trona cevherinin bileşimi

BİLEŞİM	**%**
Na_2CO_3	41.8
$NaHCO_3$	33.1
H_2O	14.1
TOPLAM	**89.0**
Çözünmeyenler ve Safsızlıklar	%
Dolomit, $CaCO_3.MgCO_3$	5.5
Kuvars, SiO_2	1.1
Feldispat, $(K,Na)Al_2O_3.SiO_2$	3.3
Kil, $2K_2O.3MgO.8Fe_20_3.24SiO_2.2H_2O$	0.6
Şortit, Na_2CO_3. $2CaCO_3$	0.1
Organik madde, elementel C	0.2
Diğerleri	0.2
TOPLAM	**11.0**
GENEL TOPLAM	**100.0**

Trona kimyasal içeriğine göre üçe ayrılır:

1. Susuz sodyum karbonat (kalsine): Na_2CO_3, soda külü de denilmektedir. Endüstride en yaygın kullanılanıdır.
2. Sulu sodyum karbonat (kristal): $Na_2CO_3.10H_2O$, çamaşır sodasıdır.
3. Sodyum bikarbonat: $NaHCO_3$, yemek sodası denimektedir. Rafine sodyum bikarbonat ilaç sanayinde kullanılır.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Doğada, bugüne kadar Tersiyer'den daha eski yaşta olan trona yataklarına rastlanmamıştır. ABD'de Wyoming-Green River Formasyonu'nda görülen trona yatağı ile Çin Wucheng havzasındaki Wulidui Formasyonu'nda yer alan trona yatağı Eosen yaşlı, Beypazarı Hırka Formasyonu'nda yer alan trona yatağı ise Orta ve Üst Miyosen yaşlı birimlerde yer almaktadır. Bu birimlerin tümü gölsel ortam koşullarında oluşmuştur. Bunun yanında, çok genç oluşum halinde salamura trona yataklarına (Kenya Magadi Gölü, California Searles ve Owens Gölü vb.) da rastlanmaktadır (Şener, 2004).

Trona, doğal olarak bulunan soda minerallerinden en yaygın olanıdır. Ancak, trona çok kolay eridiği için doğada hiç yüzeylenmemekte ve ancak Tersiyer yaşta yada daha genç havzalarda bulunabilmektedir. Oluşumu çok özel koşullar gerektiren trona mineralleri başka amaçla yapılan arama çalışmalarında ortaya çıkmıştır.

Günümüze kadar yapılan çok çeşitli araştırma ve incelemelerin sonucunda, trona yataklarının oluşumu sırasında gelişen etkenler aşağıda sunulmuştur:

a) Kapalı göl havzalarında, volkanik faaliyetlerden doğrudan gelen sodyumca zengin küller ve göl civarında volkanik faaliyetler sırasında oluşan sıcak su kaynaklarının göle boşalması ve bol sodyum iyonu taşıması.

b) Göl toplanma havzasına yayılan volkanizma ürünlerinden gelen yerüstü sularının sodyumca zengin birimlerden geçerken iyon alışverişiyle meydana getirdikleri kimyasal tepkimeler.

c) Bütün bu olaylar sırasında ortamdaki iklimin yarı kurak olması.

d) Gölün içinde trona yataklanmasını sağlayan fay ya da kıvrımlanmanın yarattığı setlerin sağladığı paleocoğrafik çukurluğun olması.

e) Tronanın çökelmesi ve kristallenebilmesi için gerekli jeokimyasal koşulların oluşması gerekir. Bunlar, suyun pH'nın 12'den büyük olması, su derinliğinin az olması ve su sıcaklığının ılık olması gibi koşullardır. Trona ve Nakholit çökelimi için en ideal sıcaklık 25-40 ^oC arasındadır.

Doğal soda yataklarının oluşumunda esas element olan sodyumun kaynağını feldispatlar oluşturmaktadır. Karbondioksit ve organik maddeler atmosferden sağlanmaktadır. Öte yandan çökel kayalardan geçen sular fazla miktarda klorür, sülfat, kalsiyum içermektedir. Bu yüzden söz konusu sular da sodyum karbonat çözeltisinin oluşumunda önemli rol oynar. Ayrıca, göllerin tabanında monomineralli trona tabakalarının çökeliminde yosun ve bakteriler de sürekli olarak CO_2 üreterek önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla doğada, doğal soda yataklakları 5 tipte görülmektedir:

1. Natron ($Na_2CO_3.10H_2O$) tipi soda yatakları: Soğuk ve nemli ortamdaki su birikintilerinin tabanında veya sığ tuzlu su bataklıklarının en alt seviyelerinde oluşan yataklardır.
2. Termonatrit ($Na_2CO_3.H_2O$) tipi soda yatakları: Yüzeyde tuzlu çiçeklenmeler şeklinde oluşan yaktaklardır.
3. Güncel trona ($Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O$) yatakları: Sert trona tipi sodyum karbonat yataklarıdır. Günümüzde oluşumları devam etmektedir.
4. Gömülü trona ($Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O$) yatakları: Sığ kapalı havza kenarlarında depolanmış çökeller arasında bulunan doğal soda yataklarıdır. Tronanın yanı sıra nakholit, davsonit gibi diğer sodyum karbonat mineralleri de cevher birlikteliğine eşlik etmektedir.
5. Sularından soda minerali kazanılan acı göller: Bu tür göl suları soda minerallerini çözülü halde içermektedir. Sodyum karbonatın yanı sıra sodyum sülfat ve halit olağandır. Az miktarda potasyum klorür, sodyum borat gibi tuzlar da mineral birlikteliğine katılırlar.

Trona cevherinin üretim yöntemleri ve teknolojisi çerçevesinde özellikle trona özelinde ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme ile çözelti madenciliği ayrıntılı olarak incelenmiştir (DPT, 2000; Yılmaz, 2009ve içindeki kaynaklar).

Ocak işletmesi

Trona cevheri, Dünya'da göllerden yapılan üretimin yanısıra ABD'de Wyoming Eyaletinin Green River havzasında üretilmektedir. Wyoming tronasının **yeraltı ocak işletmesi**, kömür işletmesinin benzeridir. Ancak trona kömürden daha sert bir mineraldir. Wyoming'de esas olarak kullanılan üretim yöntemleri, oda-topuk, uzun ayak, kısa ayak ve çözelti madenciliği biçimindedir. Bu yöntemler tek başına ya da birlikte kullanılabilmektedir. Oda-topuk yönteminin cevher kazı randımanı % 30-60, uzun ayak ve kısa ayak yöntemlerinin kazı randımanı % 70-90, çözelti madenciliği randımanı ise yaklaşık % 30'dur. Ancak, son zamanlarda randımanın % 70'lere kadar yükseldiği konusunda bilgiler vardır.

Mekanize uzun ayak yöntemi

Bu yöntem, Wyoming/Green River'da General Chemical Corp. ve FMC'ye ait madende uygulanmaktadır. Cevherin tam mekanize üretimi için uygulanan bir yöntemdir. Asıl uygulama eğimleri oldukça düşük (0o-20o), kalınlıkları devamlılık gösteren ve tektonizma ile ondülasyonun engel oluşturmadığı kömür, tuz ve potas damarlarında uygulanmaktadır.

Bu yöntem, ilk olarak Avrupa'da kullanılmaya başlamış ve buradan diğer kıtalara yayılmıştır. Tronanın basınç dayanım derecesi kömürden yüksek olup, uygun kazıcı-kesici uç tasarımı zaman almıştır. Bu sistem, tahkimatla birlikte kullanılmakta, eğer yüzey veya damar-taban/tavan fay durumları uygunsa göçertmeli, değilse darbeli işlemler uygulanmaktadır. Kazıcı-kesici özel uç tasarımı kafa ve şase ilerleme tahriki elektrikli olup, ince ayak/kalın ayak, tek kesici/çift kesicili sistemleri damar kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Uç tasarımı ve kesme-kazma uçları trona damar yapısına (çatlak yönleri, boşluklar vs.) bağlı olarak değişmektedir.

Kazılan-kesilen trona şaseye monte zincirli konveyorün üzerine düşmekte, konveyör bunu, ana giriş konveyorüne aktarmakta ve buradan da bantlı ana konveyörler ile silolara gönderilmektedir. Kesim tek yönde, ana girişten kuyruk girişine doğru ve genelde eğim yönünde yapılmaktadır. Kesme dilimleri ortalama 1 m kalınlıktadır. Aynaya iki erişim girişi olup, biri ana giriş ve diğeri de kuyruk girişidir.

Genel olarak üretim panosu boyutları derinliğe ve damar yapısına bağlı olarak, ayna boyları 180-250 m arasında, uzunluğu ise 1000-1500 m arasında olacak şekilde değişmektedir. Kesme hızı ortalama 60 m/s, yaklaşık 3 m ayna yüksekliği olup, çift kesicili sistemle 6000 t/gün üretim yapılabilir.

Bu yöntem, çalışan başına randımanın en yüksek olduğu bir üretim şeklidir. Dikkat edilmesi gereken en önemli husus, madenin yataklanma koşullarının ve cevher özelliklerinin çok iyi bir şekilde bilinmesi ve yöntemin uygulanabilirliğinin belirlenmesidir. Bu yöntemin ilk yatırımı yüksek olup, ancak işletme birim maliyetleri diğer yöntemlerden oldukça düşüktür. En az işçi ile en yüksek üretimi ve güvenliği sağlama yöntemin ana avantajıdır.

Oda-topuk yöntemi

Bu yöntem, yeraltının tam mekanize üretim yöntemlerinden biridir. ABD Wyoming'te bu yöntem tüm firmalar tarafından kullanılmaktadır. Havzada üretim önceleri konvansiyonel tekniklerle (delme, patlatma, yükleme/çıkarma) ve ardından sürekli kesiciler sistemiyle çalışılmaya başlanılmıştır. Kömür madenciliğinde kullanılan sürekli kesicilerin daha sert ve sağlam olan tronaya uyum sağlama çalışmaları zaman almıştır. Bu makinaların geliştirilmesi, trona üretim verimini artırmıştır.

Trona madeninin üretiminde iki tip ana üretim makinalarından biri kullanılır. Delici maden makinası ve tamburlu tip sürekli madencilik makinasıdır. Delici maden makinası, 2.6 m yüksekliğinde ve 4.4 m genişliğinde oval biçimde keser ve ana bant sistemine sürekli olarak transfer eden hareketli konveyör treni kullanılır. Tamburlu tip sürekli madencilik makinası ise damarın yüksekliğine uygun dikdörtgen şeklinde keser ve ana bant sistemine transferlerin yapıldığı panel boşaltma noktasına taşımak için mekik arabalar kullanılır.

Yöntemin esası, tektonizma ve damar yapısının uzun ayak yöntemine uygun olmadığı yataklarda uygulanabilmesidir. Madencilik çalışmalarında en verimli yöntemdir. Ayrıca, madenin tahkimatında yine cevher topuklarının da kullanılmasıdır. Tekdüze damar yapısına sahip olmayan yataklanmalar için uygun bir yöntemdir. Genellikle yüzeye yakın yataklanmalar ve tavan koşullarının iyi olduğu cevherleşmelerde kullanılır. Oda ve topuk boyutları cevherin dayanımı ve tavan koşullarına uygun olarak hesaplanır ve bırakılacak en uygun topuk boyutları belirlenir.

İlk yatırım maliyeti uzun ayağa göre daha azdır. Hazırlık işleri üretimle birlikte olduğu için yatırım süresi oldukça azdır. Fakat cevher kazanımı % 30-60 arasında olup, uzun ayağa kıyasla (% 70-90) dezavantajlıdır. Genelde eğimi 25-30^{o}'yi geçmeyen çökel yataklarda uygulanabilir.

Cevher zenginleştirme ve çözelti madenciliği

80'lerin başlarında önemli trona üreticisi firmalarından biri olan FMC'nin geliştirdiği çözelti madenciliği yöntemi gündeme gelmiştir. Yöntem, trona yatakları boyunca bir sondaj kuyusundan diğerine sirküle olan bir çözücünün enjekte edilerek ürünün yeniden kazanılması esasına dayanmaktadır.

FMC Wyoming Corp. tronanın çözelti madenciliği ile üretimi konusunda öncü durumdadır. Sistem kısaca, üretim kuyularının açılması, kuyuların arasında kalan cevherin çatlatılması, daha sonra çözücünün (seyreltik sodyum hidroksit) basınçla kuyudan verilmesi ve cevherin eritilerek yeryüzüne alınması esasına dayanır. Bu teknik, 1985 yılında ilk defa ticari olarak uygulanmaya başlanılmıştır. 1990 yılının başlarında FMC, kostik soda üreticileri için çözelti madenciliği yöntemi ile ürettikleri bu ürünü kullanmaya başlamıştır.

Çözelti madenciliği ile yeraltına belirli bir oranda çözücü göndererek, trona cevheri bulunduğu yerde özütleme ile yer üstüne çıkartılıyor. Trona cevheri sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) olmak üzere iki çeşit tuz içermektedir.

Na_2CO_3'ın $NaHCO_3$'a göre çözünme hızı daha fazladır. Bu nedenle çözünen yüzeyde Na_2CO_3 çözündükten sonra geriye $NaHCO_3$ kalmakta ve yüzey tamamen $NaHCO_3$ ile kaplanmaktadır. Bu durum da çözünme işleminin durmasına veya yavaşlamasına yol açmaktadır. Sorunu çözmek için uygulanan birkaç yöntem bulunmakta olup, önerilen yöntem NaOH çözeltisi ile özütlemesidir. Bu yöntemin dezavantajı ise NaOH üretiminin pahalı olmasıdır.

Çözelti madenciliğinin temel mantığı, uygun yapılara sahip olan üretim kuyuları ile yatağa ulaşarak, yeraltına sıcak ya da soğuk su veya çözücü niteliğinde bir solüsyon ile cevheri çözündürmek ve yeryüzüne pompalamaktır. Bu şekilde damar bölgesine pompalanarak burada doygunlaşan çözücü, çözelti ürünü halinde yerüstüne çıkar ve işleme tesisine gönderilir. Trona için çözücü olarak genelde sıcaklık aralığı 50-80 ^{o}C arasında olan sıcak seyreltik sodyum karbonat veya sodyum hidroksit (kostik soda) çözeltileri tercih edilmektedir.

Çözelti sistemleri tek kuyulu veya birden fazla kuyu irtibatlı sistemlerden meydana gelebilmektedir. Bu sistemler dört tür uygulama tekniğinden oluşur:

1.Tek kuyulu sistemler
2.Çift kuyulu sistem
3.Yastıklama tekniği
4.Yön denetimli sondaj tekniği

Tek kuyulu sistemler, genelde kalınlığı çok fazla olan kaya tuzu domlarında veya benzer özellikteki yapılarda uygulanır. Trona gibi ince ve orta kalınlıkta yataklanma gösteren yerlerde ise üretim verimini arttırmak amacıyla iki veya daha fazla kuyulu sistemler uygulanmaktadır. Birden fazla üretim kuyusu ile yapılan faaliyetlerde kuyuların bir kısmında çözücü enjeksiyonu yapılıp diğer kısmından çözelti alınmaktadır.

Ancak bu kuyularda çözücü/çözelti akışını rahatça yapabilmesi için bağlantı koridorunun düşük basınçlarda açık kalması gerekir. Çoklu üretim kuyularının birbirine düşük basınç hattı ile bağlanmasında kendiliğinden birleşme, hidrokarbon veya basınçlı hava yastıklaması ile genişletme, hidrolik çatlatma ve yön denetimli sondaj tekniği gibi değişik yaklaşımlar vardır.

Günümüzde sondaj tekniğindeki gelişmelerle birlikte, mafsallı tijler kullanılmaya başlanılmış ve dik sondajlarla cevhere ulaşıldıktan sonra monitörle de denetlenerek damarda istediğiniz yönde ve damara koşut olarak işletme yapmak mümkün olmaktadır.

Ayrıca, tijlerdeki yivler ile daha geniş ve uzak mesafelere kadar çözücüleri gönderme ve sismik tekniklerle de oluşan kaviteleri mönitörde görme imkanı doğmuştur. Bu gelişmelerden sonra çözelti madenciliğinde verimin önemli oranda arttığı belirtilmektedir.

Çözelti madenciliğinin yapılmasının nedenleri ise aşağıda sunulmuştur:

1. Klasik madencilik yöntemleriyle değerlendirilemeyen düşük tenörlü ve düşük düzeydeki rezervlerin değerlendirilmesi,
2. Yüksek tenörlü olup da bulunduğu yer nedeniyle ulaşılması zor cevherlerin işletilmesi ve klasik madenciliğe göre daha az maliyete sahip olması,
3. Klasik madenciliğin uygulandığı yerlerde daha sonra çözelti madenciliğinin yapılabilmesidir.

Dolayısıyla, birçok yatakta klasik madenciliğe karşı, çözelti madenciliği daha çok tercih edilebilmektedir.

Trona doğrudan bir meta olmayıp, doğal soda külünün üretiminde kullanılır. Bu nedenle trona madenini değerlendirebilmek için gerek Dünya'da gerekse ülkemizde soda külü sektörünü incelemek ve değerlendirmek daha sağlıklı olacaktır. Günümüzde soda külü üretiminin yaklaşık % 66.6'sı yapay yoldan % 33.4'ü ise doğal yoldan elde edilmektedir. Doğal sodanın çok büyük bir kısmı ABD'nde olmak üzere az oranda da Kenya, Bostwana ve Çin'de üretilmektedir.

KULLANIM ALANLARI

Trona yataklarından, sodalı göllerden ve yapay olarak üretilen soda külü, yıllık 33 milyon ton'luk Dünya tüketimi ile önemli bir kimyasal üründür. Doğal soda külü Dünya'da ençok talep gören bir malzemedir. Çünkü, bu malzemenin cam, deterjan ve gıdada kullanılan sodyum bikarbonat üretiminde önemli bir yeri vardır (DPT, 2000).

Soda, % 48 lik bir oranda **cam sanayinde** (% 36 düz cam, % 8 fiberglas cam, % 7 özel amaçlı cam) tüketilmektedir. **Kimya sanayinde** (sodyum bikarbonat, sodyum kromat, sodyum fosfat, sodyum silikat gibi inorganik kimyasal maddelerin üretiminde) tüketim % 26 ile ikinci sırada yer alır. Diğer kullanım alanlarındaki tüketimleri ise, **sabun ve deterjan sanayinde** % 1, gaz arıtma, kağıt ve su yumuşatıcısı olarak % 2, inşaat sektörü ve diğer bir çok alanda % 4'tür (U.S Geological Survey Minerals Yearbook, 2001).

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Trona üretiminde gerek ocak işletmesi ve gerekse cevher zenginleştirme evrelerinde toprak su ve hava kirliliğinin yanı sıra görüntü kirliliği ve gürültü gibi ciddi çevresel sorunlara yol açan etkilerin ortaya çıkabileceği hesaba katılmalıdır. Söz konusu çevresel etkiler, iyi bir ÇED planlaması ile denetlenebilir düzeydedir. Ancak, tronanın ocak işletmesi, cevher zenginleştirme ve kullanım evrelerinde sürdürülen faaliyetlerin çevre üzerinde etkileri sınırlı da olsa olabilir. Dolayısıyla ÇED Yönetmeliği (2022) dikkate alınarak söz konusu faaliyetlerin yürütülmesinde yarar vardır.

SONUÇLAR

Ülkemiz özelinde trona üretimi hususlarında çevreye yönelik politikalar oluşturulmalı ve planlanan yatırımların ülkenin ekonomisine katkısı sağlanmalıdır.

Çevreye yönelik politikalar

Beypazarı Trona Projesi'nin önemli avantajlarından biri de sıvı ve katı atıklarda çevreye zarar verecek herhangi bir maddenin bulunmaması, ve çevreye zararlı olduğu kabul edilen klorun çok az olmasıdır. Her şeye karşın, bu proje kapsamında olası kirlilik yaratabilecek sıvı ve katı atıklar için atık baraj yapılmalı ve barajın zemininde sızdırmazlık sağlanmalıdır (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Deterjanlarda kullanılan karton kutular önemli atıkları oluşturmaktadır. Bu sorunu çözmek amacıyla dolgu maddesi az olan konsantre sıvı deterjanlara yönelim artmaktadır. Bu deterjanlarda kullanılan sodyum silikat ve yapay zeolitlerin üretiminde de soda külü kullanılmaktdır. 1978 yılında sıvı deterjan kullanımı % 15 iken, 2000 yılında bu kullanım % 50 ye ulaşmıştır (Şener, 2004).

Planlanan yatırımların katkıları

Beypazarı Trona Projesi özelinde planlanan proje sonucunda, 20 milyon $/yıl dolayında katma değer ile 254 kişilik istihdamın yaratılması öngörülmekteydi. Ayrıca, proje vesilesiyle hazineye ve kamuya, madencilik fonu ve harcı, belediye fonu gelirleri yoluyla katkı sağlanması planlanmaktadır.

Trona, doğada doğal olarak bulunan soda minerallerinden en yaygın olanıdır. Ancak, trona doğada çok kolay erimektedir. Oluşumu çok özel koşullar gerektiren trona mineralleri başka amaçla yapılan arama çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Ülkemizde Tersiyer yaşta ya da daha genç havzalarda soda ve tronaya yönelik araştırılmalar teşvik edilmelidir.

Trona üretimi ülkemizde yapılmaktadır. Özellikle temizlik ürünlerinin üretimi hususunda geniş kullanım alanlarına sahip olan tronanın üretim süreçlerine ortaya çıkan çevresel sorunlar denetlenebilir düzeydedir. Dolayısıyla tronanın kullanımı ve üretimi ile ilgili ARGE çalışmalarının teşvik edilmesinde yarar vardır.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
DPT, 2000. Madecilik Sektörü Özel İhtisas Komisyonu: 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Trona Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Plalama Teşkilatı, Ankara, 18s.
Industrial Minerals and Rocks, 1993.
MTA, 1994, Mineraller: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yayını, Ankara, 72 s.
Şener, F., 2004. Beypazarı Trona Yatağı'nın Jeolojisi, Evaporitler-Tuzlar Semineri, MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 81, Ankara, s.58-74. U.S Geological Survey Minerals Yearbook, 2001.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

3. 4, MERMER

GENEL BİLGİLER

Mermerin kullanılmaya başlandığı tarih çok eskidir. Tüm eski uygarlıklarda mermerin önemli tapınaklarda ya da çeşitli heykellerin yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Binlerce yıl önce insanın yaşamına giren mermer, önceleri sadece yapı taşı olarak kullanılırken, uygarlığın ilerlemesine koşut olarak süsleme ve tasarım amacı ile kullanılmış ve güncel yaşamdaki önemini günümüze kadar korumuştur.

Eski Yunanca'da marmaron'dan türemiş olan mermer, bileşiminde % 75'ten fazla $CaCO_3$ bulunan, genellikle renkli ve parlatmaya elverişli kristalleşmiş olan dayanımlı bir kayadır. Adi mermer, kristalleşme derecesi düşük ve ışık geçirmeyen oluşuklardır. Mermeri kireçtaşından ayıran temel nitelikler, başkalaşım (metamorfizma) ile kazanılmıştır.

Mermer, jeoloji bilimlerinde genel olarak kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşmuş metamorfik bir kaya olarak tanımlanır. Kalsit kristallerinden oluşan mermerlerin kimyasal bileşimlerinde, en azından %75 oranında kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda magnezyum karbonat, silisyum dioksit ve pigment olarak değişik metal oksitleri bulunmaktadır. Saf oldukları zaman yarı saydam ve beyaz renklidirler.

Sanayide ise mermer denildiğinde blok verebilen ve yüzeyleri parlatılabilen tüm kaya türleri anlaşılır. Mermerler, genel olarak 5 m³ ün üzerinde blok vermeleri ve kesilip parlatıldığında cazip desende olmaları halinde ekonomik değer kazanırlar.

Yataklanma biçimleri ve jeolojik yapılar gözetilerek açılan mermer ocaklarından, düzgün geometrik şekillerde bloklar alınır. Bu bloklar kimi fabrikalarda ve teknik donanımlara sahip tesislerde kesilerek levha haline getirilir. Silme ve cilalama işlemlerinin uygulanması sonucu, pürüzsüz bir yüzeye sahip olan mermer levhalarının kenar ve köşeleri kesilerek hazır hale getirilir (JMO, 2003 ve içindeki kaynaklar).

Sınıflandırma

Mermer ve mermer olarak kullanılan doğal yapı taşları, jeolojik ve ekonomik olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilirler.

Jeolojik sınıflandırma

Mermerlerin mineral boyutlarına göre sınıflandırılması

Mermerler, mineral boyutlarına göre üçe ayrılırlar (Çizelge 1):

Çizelge.1. Mermerlerin mineral boyutlarına göre sınıflandırılması (DPT, 2001).

Mermer	Mineral tane boyutu
* İnce Taneli	< 1 mm
* Orta Taneli	1 mm - 5 mm
* İri Taneli	> 5 mm

Mermerlerin kökenlerine göre sınıflandırılması

Çökel (Sedimanter) mermerler

Kırıntılı ya da kalsitli çökel mermerler: Çeşitli kayaların parçalanıp sürüklenerek bir yerde birikmesi ve daha sonra bir ara madde ile çimentolanması sonucu oluşurlar. Konglomera, kumtaşı, breş, arduvaz, puding, grovak gibi kayalar bu oluşumlara örnek olarak verilebilirler.

Organik ve kimyasal çökel mermerler: Suda erimiş olarak yer alan kalsiyum ve magnezyum karbonat, fiziksel koşulların değişmesi sonucu, kimyasal olarak veya organizmaların etkisi ile çökelir. Organizmalar, kalsiyum ve magnezyum karbonatın oluşmasında etkin rol oynamaktadırlar. Su, içerisindeki karbondioksit miktarına bağlı olarak ve içerisindeki organizmaların etkisi ile geçtiği yerdeki kalkeri eritir ve bu kalkerleri başka bir yerde çökeltir.

Kireçtaşlarının taşınması soğuk su vasıtası ile olursa, çökelimin olduğu yerde oniks mermerleri; sıcak su vasıtası ile olursa traverten mermerleri oluşur. Ayrıca dolomit ve mikritik kireçtaşları da bu grup içerisinde yer alırlar.

Magmatik mermerler (Sert taşlar)

Yerkabuğunun altındaki magmanın yeryüzüne çıkması veya yerkabuğuna sokulması ve soğuyup katılaşması ile meydana gelirler (Çizelge 2). Bunlar çökel kökenli mermerlere oranla daha sert ve dayanımlıdırlar. Üç gruba ayrılırlar:

Derinlik taşları: Çıkartılması kolay, ancak işlenmesi zor olan ve ağırlıklı olarak granit adı verilen kayalardır. Granitin dışında, siyenit, diyorit, gabro, peridotit, ofikalsit, monzonit, norit, dünit, verlit,

harzburgit, lerzolit, labradorit, granodiyorit gibi kayalar da magmatik derinlik kayalarıdır. Bu gruba giren kayalar iyi cila kabul ederler.

Yüzey taşları: Hem işlenmesi hem de işletilmesi çok zor olan kayalardır. Dayanıklı olmaları ve cilalarını uzun süre koruyabilmeleri nedeni ile inşaat birimlerinde kullanılmaktadırlar. Kuvars porfir, bazalt, andezit, trakit ve diyabaz gibi kayalar bu gruba girmektedirler.

Damar taşları: Yerkabuğunun derinliklerinde yer alan magmanın yüzeye yakın kayaların yarık ve çatlaklarına sokularak, burada soğuması sonucu meydana gelen kayalardır. Porfir, diyabaz ve aplit gibi kayalar bu guruba girmektedirler.

Metamorfik mermerler

Çökel ve magmatik kökenli kayaların, basınç ve sıcaklık koşullarının etkisi ile katı halde, mineralojik ve dokusal başkalaşıma uğramaları sonucu oluşurlar. Mermercilik açısından çok önemli olan ve petrografide mermer olarak tanımlanan kaya, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının başkalaşıma uğraması sonucunda oluşmuştur. Mermer, gnays, amfibolit, şist, fillit ve eklojit gibi kaya türlerinden oluşan mermerler bu grup içerisinde yer alırlar.

Çizelge. 2. Magmatik kökenli mermerlerin sınıflandırılması (DPT, 2001).

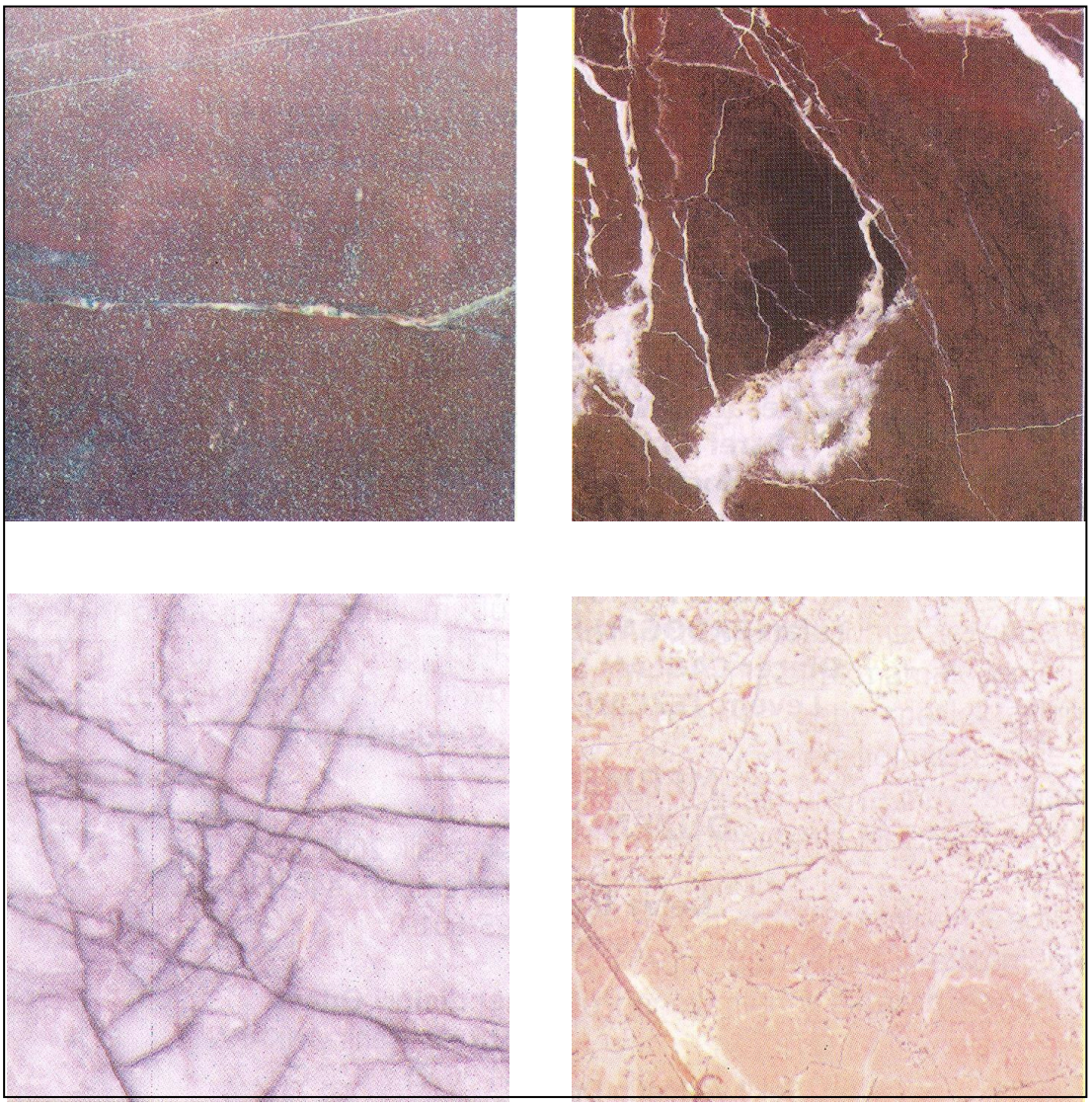
Kaya	Kuvars	Diğer mineraller	Yapı-doku
Granit	%25-30	Feldispat+mika+amfibol	İri taneli-holokristalin
Siyenit	%5-7	Feldispat+mika+amfibol	İri taneli-holokristalin
Labrodorit	- - -	Labrador+piroksen	İri taneli-holokristalin
Serpantin	- - -	Serpantin	Ağsı
Anortozit	- - -	Anortit+piroksen	İri taneli
Diyabaz	- - -	Piroksen+plajiyoklaz+amfibol	Ofitik
Andezit	%5-10	Plajiyoklaz+feldispat+mika+ amfibol+piroksen	Porfiritik

Ekonomik sınıflandırma

Mermer olarak kullanılan kayaların, mineralojik yapısı ve dokusuna bakılmaksızın bilimsel tanımlar dışında yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma kayaların renk, desen, sertlik ve albenisi gibi özellikleri göz önüne alınarak yapılmaktadır. Mermer satıcıları ve mermer isleyicileri arasında kullanılır. Bu sınıflandırmada en önemli ölçü mermerin fiziksel yapısı ve cila alma yeteneğidir.

- Mermer; mermer, kalker, dolomit, konglomera, puding.
- Sert mermer; granit, siyenit, serpantin, diyabaz, anortozit.
- Traverten ve oniks mermerleri.

Ayrıca mermerler bulundukları yere ve özelliklerine göre de isimlendirilirler. Bu tip isimlendirilmeye; Afyon Şeker, Afyon Kaymak, Afyon Kaplanpostu, Marmara Mermeri gibi kayalar örnek olarak verilebilir. Şekil 1'de bazı mermer türleri görülmektedir (JMO, 2003)



Şekil, 1, Bazı mermer türleri (JMO, 2003 ve içindeki kaynaklar).

Dekoratif taş olarak kullanılan granitlerin sınıflandırması ise piyasada mineralojik bileşimi ve oluşumuna bakılmaksızın bilimsel tanımlar dışında yapılır ve desenine göre ad alır. Ticari alanda dekoratif olarak kullanılan taşlar arasında siyenit, serpantin, diyabaz ve silisli (sert) taşlar yer almaktadır.

ÖZELLİKLERİ

Mermerin kullanılan kaya türüne göre özellikleri değişmektedir. Mermerlerin bilinmesinde yarar görülen bazı temel özellikleri aşağıda sunulmuştur (JMO, 2003):

Kayanın renk ve deseni, kırıklı ve çatlaklı yapısı, damarlı görünümü, kimi zararlı mineraller ve elementler, stilolitik durumu ve gözeneklilik. **Stilolit**, mermercilikte **karınca yeniği** olarak bilinir. Bu tür yapıların geliştiği mermerlerde patlayıcı kullanılmamalıdır.

Jeolojik anlamda mermer terimi, kireçtaşı ve dolomit gibi kayaların belli basınç ve sıcaklık etkisi altında yeniden kristalleşmesiyle oluşan metamorfik (başkalaşım) kayalar için kullanılmıştır. Günümüzde, maden yasasına göre ise kireçtaşı, dolomit, kalsit, aragonit, traverten, albatr, diyabaz, granit, serpantin gibi kesilip parlatılan ve blok verebilen tüm taşlar mermer olarak tanımlanmıştır. Mermer ocak işletmesine başlamadan irdelenmesi gereken fiziksel ve mekanik özellikler de aşağıda sunulmuştur. Bu özellikler aynı zamanda mermerin kullanım alanlarını belirlemektedir.

Fiziksel özellikler

Mermer olarak kullanılacak kayalar için aşağıdaki fiziksel özellikler irdelenir.

1- Birim hacim ağırlığı
2- Özgül ağırlık
3- Su emme (ağırlıkça ve hacimce) oranı
4- Gözeneklilik

Mekanik özellikler

Mermer olarak kullanılan kayalarda bilinmesi istenen diğer özellikler:

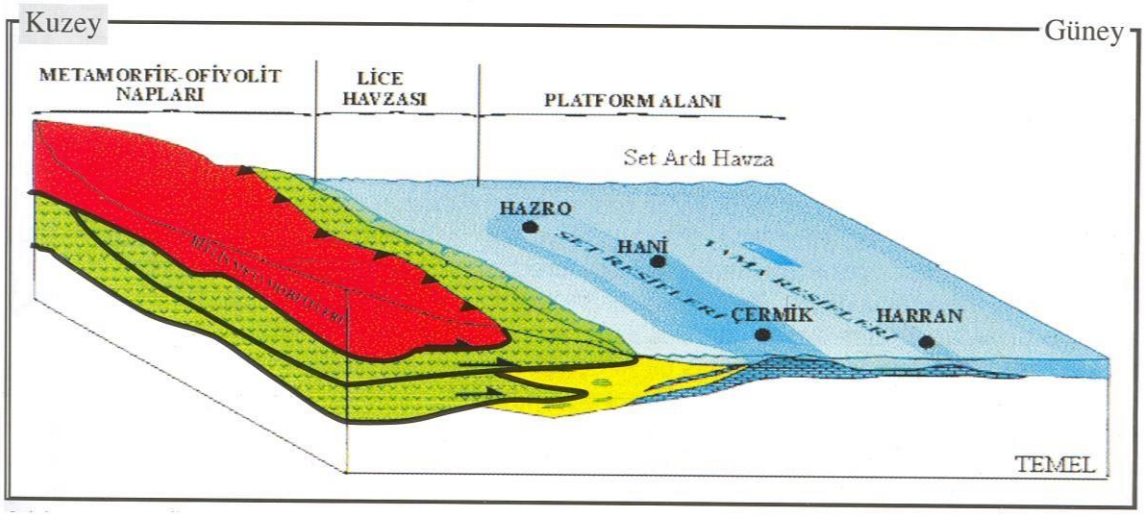
1- Tek eksenli basınç direnci
2- Don sonrası tek eksenli basınç direnci
3- Eğilme direnci
4- Elastisite modülü 5- Sürtünme ile aşınma kaybı 6- Çekme direnci değerleridir.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Ekonomide değerlendirilen mermerlerin oluşumu, kaya birimlerinin oluşumunda izlenen süreçlerde gerçekleşmektedir. Mermerler, çökel, magmatik ya da metamorfik kökene sahip tüm kaya türlerinde yer alabilirler. Ancak, bu kaya türlerinin istenilen boyutta blok vermeleri ve kesilip parlatıldığında güzel bir desene sahip olmaları gerekmektedir (Erdoğan ve Yavuz, 2003).

Ayrıca, kaya birimlerinin sıcaklık ve basınç koşullarında değişimi ile jeolojik açıdan da mermer olarak nitelenen katmanlar oluşmaktadır.

Mermer olarak kullanılan kayalar yeryüzünde masif kütle, mercek, filon ve dayk şeklinde ya da düzensiz biçimlerde bulunabilir. Genellikle diğer kayalar ile birlikte ve büyükçe yüzeylemeler halindedirler. Karbonat kökenli masif ve mercek türü yataklanmalar, platform ortam koşullarında resifte ya da resif dolayında oluşurlar (Şekil, 2 ve 3) Jeolojik koşulların elverdiği durumlar uygun olarak işletmelerde düzgün geometrik şekillerde bloklar üretilmektedir. Dünyanın en zengin ve nitelikli mermer yataklarının bir bölümü Alpin Kuşak'ta yer alan Akdeniz ülkelerinde yer almaktadır.



Şekil, 2, Güneydoğu Anadolu Miyosen paleocoğrafyasını gösteren blok diyagram napların önünde Lice havzası oluşmuştur. Daha güneyde ise Miyosen karbonat platformu yer alır. Set resiflerinin yer aldığı alanda Hazro, Hani ve Çermik mermer ocakları işletilmektedir (Erdoğan ve Yavuz, 2003).

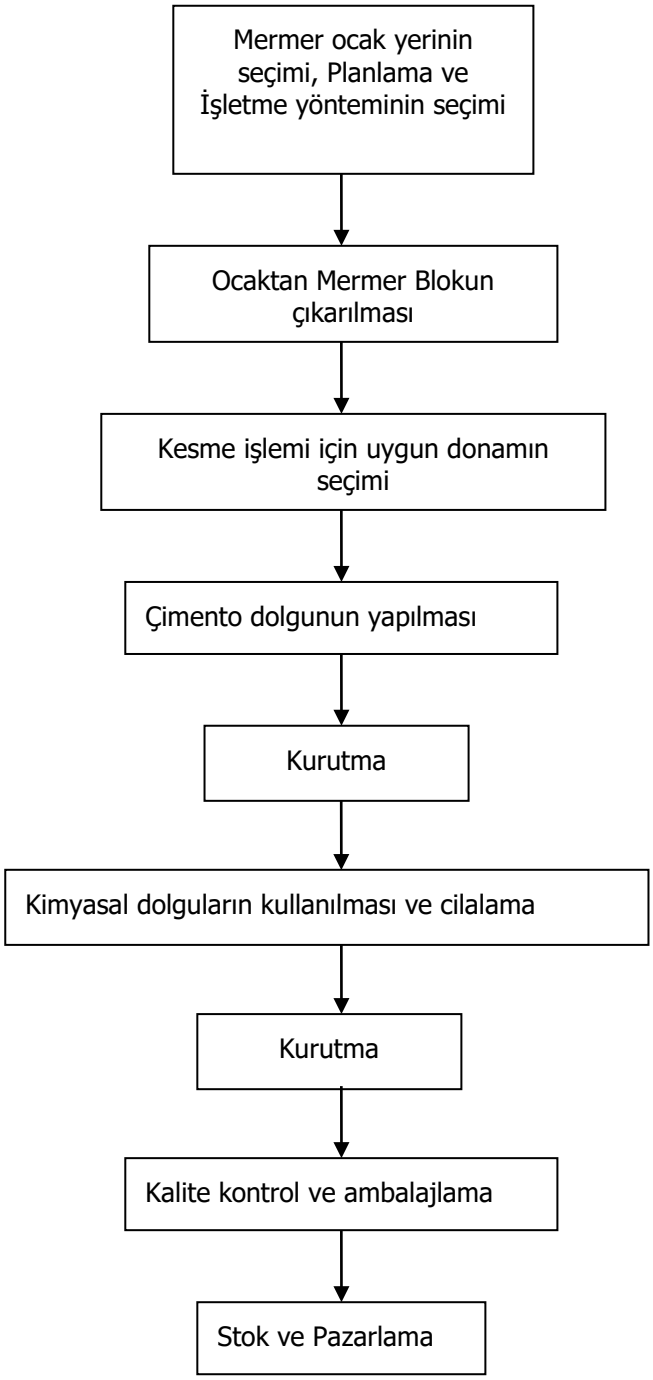


Şekil, 3, Hani yöresi, Sivri tepe, altta masif kireçtaşları üstte yamaç fasiyesi çakıltaşları (Erdoğan ve Yavuz, 2003).

ÜRETİM YÖNTEMİ ve TEKNOLOJİSİ

Mermerin fabrika işletmeciliği (Demirocak, 2003), yataklanma şekilleri (Karaca, 2003) ve sedimanter kaya madenciliğinde bloklarda ürün alınmasını engelleyen jeolojik oluşumlar (Önenç, 2003) ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Üretim yöntemine dair teknolojik çalışmalar da bu çerçevede yönlendirilmektedir.

Mermer, genel olarak açık işletme yöntemleriyle üretilmektedir. Mermer ile ilgili çalışmalara ışık tutmak üzere; ocak yerinin seçimi, planlama ve ocak işletme yöntemleri, mermer kesme ve işleme yöntemleri ve ambalajlama çalışmalarına ilişkin eğitim amacıyla JMO (2003) tarafından seminerler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu seminerlere dair bilgiler yol göstericidir. Aşağıda bir mermer işletmesinin yalınlaştırılmış akım şeması (Şekil 4) ve her aşamada gereksinim duyulan temel bilgiler sunulmuştur.

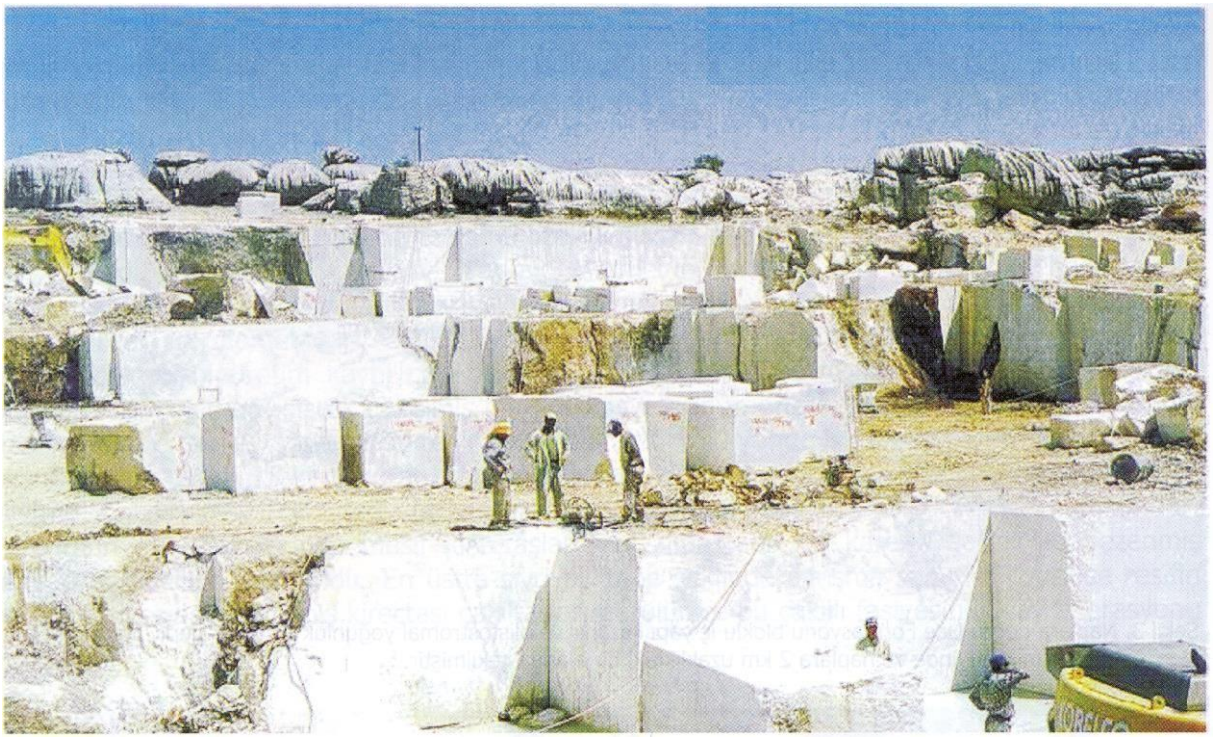


Şekil, 4, Mermer işletmesinin yalınlaştırılmış akım şeması (JMO, 2003 ve içindeki kaynaklar).

Mermer ocak yerinin seçimi

Görünür (işletilebilir) rezervi saptanmış olan bir mermer yatağında yapılacak ilk çalışmayı üretime başlanacak olan ocak yerinin seçimi oluşturur. Mermer yatağının teknik ve ekonomik koşullarda verimli bir şekilde işletilmesi, ancak ocak yerinin bilinçli olarak seçimi ile mümkündür. Bu seçimde işletilebilir rezervin bulunması yanında dekapaj (blok alınmayan ve bozuşma zonunun etkili olduğu kısım) miktarı, blok boyutu, diğer olanakların da göz önünde bulundurulması gerekir.

Şekil 5' te Hani (Diyarbakır) yöresine ait bir açık işletme ocağı görülmektedir. Ocak yeri mermer yatağının en verimli olduğu yerde açılmalıdır.



Şekil, 5, Hani yöresinde Miyosen yaşlı set resiflerinde açılmış açık ocak mermer işletmesi (Erdoğan ve Yavuz, 2003).

Uygulanacak işletme yöntemi de, ulaşım ve taşıma koşulları, işletme için gerekli elektrik, su ve diğer girdiler ile morfolojik yapı dikkate alınarak seçilmelidir.

Ocak yerinin seçiminde karşılaşılan en önemli güçlük, mermer yatağının yüzeyinde görülen eklem ve çatlakların yüzeyleme içindeki durumudur. Mermer yatağının yüzeyinde (kimyasal bileşiminde $CaCO_3$ ve $CaMgCO_3$ olduğu zaman) atmosferik etkiler sonucu $CaCO_3$ eriyerek taşınıp tekrar kat kat kabuk şeklinde 0.1–1.5 m kalınlığına kadar çökelir ve çatlaklara da nüfuz ederek sıvama şeklinde doldurur. Bu duruma dikkat edilmediğinden yüzeyde sağlam ve çatlaksız görünen mermerin, bozuşma zonunun altındaki eklem ve çatlak yapısı dolayısıyla istenilen boyutlarda blok alınmasını engeller. Bunun için ocak yeri saptanmadan önce patlayıcı madde kullanmadan bozuşma zonu altındaki yüzeyleme denetlenir. $CaCO_3$ kabuğunun oluşması bazı koşullarda mermer yataklarında atmosferik etkilere karşı koruyucu rol oynamaktadır.

Mermer yatağının kenar ve uç kısımları, jeolojik hareketlerden en çok etkilenen kısımlarını oluşturur. Bu kısımlara **yüzeyleme ayağı** da denir. Kalınlık az olduğu için çatlaklar hemen tabana kadar devam eder. Kalınlığın az olduğu kesimlerde açılan mermer ocağında işletme verimi düşük olabileceği gibi ekonomik ömrü de kısa olabilir. Aynı zamanda bu kısımda yan kayacın tabakalaşma veya yapraklanma doğrultusunda olan yarılımı blok alınmasını sınırlar. Eğer yan ve taban kaya şist ise, mermer içinde mika şist katkıları yani mika şist-kalksist (spolen) kayatürü beklenmelidir ki, bu da mermer ocak işletmesinde istenmeyen bir durumdur. Bu açıdan mermer ocağının mermer yatağındaki en kalın yerden başlayarak açılması gerekmektedir.

Aşamalı olarak yapılan mermer ocak işletmelerindeki ocak aynalarının en verimli basamak yükseklikleri 4-10 m olmalıdır. Bu yükseklik mermerin fiziksel durumuna göre değişebilir. Kırılgan ve darbeye dayanıksız mermer tiplerinde ayna basamak yüksekliğinin 4 m altında olması gerekir. Mermer ocak aynasının uzunluğunda bir sınırlama yoktur. Fakat ayna ne kadar uzun olur ve blok alınacak yapı askıya alınırsa o kadar kolay blok çıkarıldığı görülür. Ocak çalışma alanı düzlüğünün üzerinde küçük parçalı mermer kırıntılarından oluşan malzemenin bulunması işletme esnasında mermer yatağından ayrılan büyük blok kütlesi ve blokların çekilme, sürüklenme ve çevresindeki darbe etkileri ile oluşan zararları önlemek gibi faydaları vardır.

Planlama ve ocak işletme yöntemleri

Mermer ocak işletmelerinde amaç, mermer kesme ve işleme tesisleri ile alıcı ve piyasanın istediği boyutlarda kırıksız ve çatlaksız sağlam mermer blokları çıkartmaktır. Mermer ocak işletmesinde kalite, renk ve desenin yanında blok büyüklüğü de önemlidir. Blok boyutu büyüdükçe kesme işleminde randıman yükselecektir. Ocak işletmesinden üretilecek blokların büyüklük ve boyutları, mermer yatağının jeolojik yapısı ve eklem sistemlerinin durumuna göre uygulanan, genellikle açık ve bazen yeraltı maden işletme teknikleri ile tayin edilir (DPT, 2001; JMO, 2003; Yılmaz 2009'dan).

Mermer ocağında uygulanan işletme şekli ve üretim yöntemi, işletme yöntemini oluşturmaktadır. Bu yöntem; kayanın (yani işletilen mermerin) litolojik, fiziksel ve kimyasal yapısı, kolay işleme yüzeyi, blok alınabilme durumu, metamorfik ve jeolojik yapısı, makine ve donanım, planlanan üretim miktarı, işletme olanakları değerlendirilerek belirlenir. Her mermer tipinde, hatta aynı mermer yatağında farklı işletme yöntemleri de uygulanabilir.

Mermer yatağının kaya türü yapısı ve fiziksel (mekanik) özellikleri ile bağdaşmayan hatalı işletme yönteminin seçiminde ekonomik olmayan sonuçların alındığı birçok örnek vardır. Ayrıca, seçilen bir işletme yöntemi de işletme döneminde edinilecek deneyime göre geliştirilmelidir. Fakat üretim esnasında işletme yönteminin değiştirilmesi için yapılacak denemelerin ekonomik olmayan sonuçları ortaya çıkaracağını unutmamak gerekir.

Mermer yatağının işletmeye alınması için açılacak ocaklarda eklem sistemi ve jeolojik yapısının yanında renk, desen ve kristal dokusuna göre en uygun üretim yönteminin uygulanması gerekir. Her mermer yatağındaki mermer ocak işletmelerinin, kaya dokusu ve yapısına göre kendisine özgü niteliklerde işletme yöntemi uygulanır ve geliştirilir.

Mermer yatırımının ilk aşamasını mermer ocak işletmesi oluşturur. Mermer ocağından çıkarılan mermer bloğu kesme tesislerinde istenilen kalınlıklarda kesilerek levha (plaka) durumuna getirildikten sonra silinip cilalanarak gerekli alanlarda kullanılır. Bu durumda mermer ocağında üretilen mermer bloklarının istenilen kalınlıklarda kesilip cilalanabilme ve kullanma alanlarına kadar ulaşan aşamalardaki işlemlere uygun özelliklerde olması gerekir. Plakalarda kırılma çatlama olduğu gibi cila alması da zayıf olan kayalar mermer olarak kullanılamazlar. Mermer ocak işletmelerinde, blok üretimi diğer maden ve taş ocağı işletmelerinden başlıca farklılığı oluşturur. Blok alınmasını sınırlayan en önemli unsur mermer yatağındaki eklem ve çatlakların boyutları ve nitelikleridir.

Kuramsal olarak en az 1,5x1,5x2m (4,5 m^3) boyutlu, renk ve desen bakımından ender bulunan ve pazarlarda aranılan kalitedeki mermer yatakları işletme açısından önemli bir yere sahiptir. En az 0,1x1x2m (1,5 m^3) boyutlarında blok alınmasına uygun yataklar da işletilebilir. Beğeni kazanmış renk ve desendeki oniks mermerleri ve saf beyaz mermerler ise tercih edilir.

Mermer yatağının değerini kaya türü ve kaya türüne özgü doku ve yapı özelliklerinin oluşturduğu kalite belirler. Burada sözü edilen kalite kristal (tane) yapısı, renk ve desen görüntüsünün yanı sıra ocak işletmelerinde blokların çıkarılması ve blokların kesilmesi (plaka-levha kesilmesi) sırasındaki verimi etkileyen en önemli öğelerden birisidir. Değişik sertliklerde homojen olmayan kristal (tane) yapısı ve minerallerin bulunması ise silme ve bilhassa cila işlemlerinde parlak yüzeyin meydana gelmesini engellemektedir. Kristalin (taneli) mermerler saf oldukları zaman kimyasal bileşiminde kalsit kristal ve kristalciklerin dizilmesi dolayısı ile oluşmuş kısmen yarı saydam ve genellikle beyaz renktedir. Dolomit kristallerinde ise saydamlık yoktur.

Mermerlerde değişik renkleri veren elementler, bünyelerine oluşum sırasında ve oluşumundan sonra girmiş bulunan çok az (eser) miktardaki pigment bileşikleridir. Renk verici bu pigmentler değişik metal ve karbon bileşikleri olabilir. Örneğin; karbonlu bileşikler genellikle siyah ve siyahimsi gri, mavimsi gri renkler verir. Demirli bileşikler (+1 ve +2 değerli olarak) genellikle sarımsı, kahverengikırmızımsı ve beyaz ile yeşilimsi, nikel yeşil, kobalt mavi, kuvars (silis ve alüminyum oksit silikatla birlikte) kırmızımsı, bakır yeşilimsi, titanyum siyah, krom yeşil renkleri verirler.

Bir mermer yatağındaki yapıyı oluşturan veriler, yüzeyde veya yağışın etkili olduğu bozuşma kısmını oluşturan dekapaj zonu altındaki sağlam yüzeylemede görülebilir. Fakat dokuyu oluşturan kristal

tane yapısının petrografik nitelikleri sistemli olarak alınacak örneklerin laboratuvarlarda incelenmesi ile aydınlanabilir.

Dokuyu oluşturan başlıca etkenler:
-Mermer yatağının kristalizasyonundan önceki kaya türünün yapı, doku ve bileşimi.
-Metamorfizmanın (başkalaşım) görüntüsü olan kristalizasyon sırasındaki etkenler.
-Kristalizasyon ve başkalaşım tamamlandıktan sonra meydana gelen etkenler ki, bunlar tektonik devinimler sonucu oluşan eklem ve çatlaklar, atmosferik etkinliklerinin oluşturduğu ayrışma.

Bu özelliklerin tümü mermer olarak kullanılacak kayanın fiziksel, kimyasal ve mineralojik niteliklerinin meydana gelmesine yol açar. Bu etkenler her mermer yatağında değişik olduğu gibi, aynı mermer yatağında görülen değişik mermer tiplerinde de belirgin ayrılıklar gösterir. Mermer ocak işletmelerinde bu ayrılıkların değişik boyut ve niteliklerde olması blok üretimini ve dolayısıyla yatağın ekonomik değerlendirilmesini etkiler.

Ocak işletme yönteminin seçilmesi

Bir mermer yatağının işletmeye alınmasını oluşturan ocak yerinin seçimi aşaması ile birlikte yürütülmesi gereken en önemli konulardan birisi de ocak işletme yönteminin seçimidir.

Mermer ocağından blok üretimi uygulanan ocak işletme (üretim) yöntemine ve bu işte kullanılan makine ve donanıma doğrudan bağlıdır.

Bugün için mermer işletmelerinde (kristalin kalker-mermer, kalker, traverten, oniks mermeri, granit, diyabaz, serpantin, breş, çakıltaşı vb.) uygulanan işletme yöntemlerinin başlıcaları:

- Bir ocak aynasından yapılan işletmeler.
- Birden fazla ocak aynasından veya birleşik olarak yapılan işletmeler.
- Düz aynadan yapılan kademeli işletmeler.
- Yarım ay (yana daire) şeklinde yapılan (bir kademeli veya çok kademeli) işletmeler.
- Daire (Amfi tiyatro) şeklinde yapılan (bir kademeli veya çok kademeli) işletmeler.
- Yeraltı (kapalı) işletmeleri.

Bu tasnif mermer ocaklarının işletme şekillerini blok üretimine esas olan ocak aynasının konum ve şekli dikkate alınarak yapılmıştır.

Makine ve donanım seçimi

Mermer yataklarında genellikle açık işletme yöntemleri ile üretim yapılır. Ancak özel durumlarda yeraltı işletme yöntemleri ile de üretim yapılmaktadır. Mermer ocağında uygulanacak üretim yöntemine göre makine ve donanım kullanılmaktadır.

Mermer işletmeciliğinde en önemli konulardan biri kaya türü yapısı, kaya türü dokusu, mineralojik ve sertlik gibi fiziksel özelliklerin gerektirdiği en verimli olarak çalışacak makine ve donanımın seçilmesidir. Her mermer yatağının kalite ve tipine etki eden kaya türünün özelliklerine, örneğin sert ya da yumuşak olmasına göre, en uygun makine ve donanımın seçimi gerekmektedir. Bu geliştirmeyi makine ve donanım yapımcıları en uygun bir şekilde yerine getirmektedirler. Ancak mermer yatağındaki ayrıntılı özelliklerin çok iyi saptanması ve üreticiye yeterli bilgi iletilmesine özen gösterilmelidir. Mermer ocağında endüstriyel çapta üretim yapılmasının özünü oluşturan makine ve donanımdır.

Bu durumda aynı mermer yatağında dahi jeolojik oluşumdan kaynaklanan farklı niteliklere rastlanması nedeni ile bir ocakta verimli olarak çalışan bir makine ve donanım ile diğer ocaklarda da aynı verim ile üretim yapılması beklenmemelidir.

Makine ve donanım seçiminde mermer ocak işletmesindeki su, elektrik, yakıt ve ikmal ile alt yapı unsurları da önemli rol oynamaktadır. Makine ve donanımın yatırım tutarı, üretim miktarı ve maliyetleri

(blok birim maliyeti) gözetilerek gerek ekonomik ve gerekse teknik açıdan en uygun seçeneğin tercih edilmesi gerekir.

Mermer ocak işletmelerinde sürekli olarak kullanılmayan gereksiz ve yüksek fiyatlardaki makine ve donanımın kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Örneğin toprak örtünün alınmasında kullanılabilen pahalı iş makinelerinin bulunması ve yatırım tutarı, birim üretim maliyetini yükseltmektedir. Bunun yerine ocak işletmesindeki üretimde her zaman kullanılacak büyük kapasiteli (tonajlı) kaldırma, yükleme ve taşımaya ait özel donanımların ve iş makinelerinin yer alması işletme kolaylığı ve birim maliyeti düşürme açısından gereklidir.

Mermer ocak işletmesinde makine ve donanım seçimi doğrudan doğruya üretimi ve maliyeti etkileyen en önemli faktörü oluşturur. Bu açıdan mermer işletmelerinde makine ve donanım seçiminden kaynaklanan sorunların bulunması doğaldır. Zira zengin mermer kaynaklarına sahip olan fakat henüz gereği gibi değerlendirilmeyen küçük kapasiteli düzensiz işletmelerin yeni yeni büyük miktarlarda üretim yapacak endüstriyel yöntemlere geçtiği dönemdeyiz.

Mermer yatağının tüm niteliklerini belirleyen verilerin teknik ve ekonomik yönden topluca değerlendirilmesi ile yapılacak makine ve donanım seçimi sonucunda yüksek bir verime yaklaşmak mümkün olabilecektir.

Üretim planlaması

Mermer yatağının işletilebilir rezerv miktarı dikkate alınarak, ocak işletmesindeki uygulamada gerçekleşen üretim miktarına göre ileriye dönük olarak üretim planlaması yapılmalıdır. Planlamada ocak işletmesindeki çalışmanın ilerlemesi ile karşılaşacağı koşulları önceden kestirmek bazı durumlarda mümkün olmayabilir. Fakat belirlenen hedeflere yaklaşım yüzdesinin yüksek olması iyi bir planlama yapılması ile mümkündür. Bu da ancak, saha ve işletmenin ayrıntıları ile iyi tanınması ve işletme koşullarının göz önünde bulundurulması ile gerçekleşir.

Üretim planında belirlenen hedeflere göre pazar taleplerinin karşılanması esastır. Örneğin; ocak üretimi 500 m^3/yıl planlanmış ise bundan daha büyük miktarlarda satış bağlantısı yapılmamalıdır. Aksi durumlarda mevcut pazarların kaybedilmesi gibi ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Kalite denetimi

Mermercilik alanında kalite kontrolü mermer bloğunun çıkarıldığı ocak işletmesinden baslar. Bunun için mermer bloklarından mermer plaka (levha) kesilmesi sırasında firenin mümkün olduğu kadar az olması istenir. Bu ise ancak, sağlam ve çatlaksız düzgün yüzeyli ve geometrik şekildeki bloklardan sağlanabilir.

İşlenen blokların küçük boyutlu oluşu kesilme sırasında fireyi arttırmaktadır. Uygun yapıdaki magmatik kökenli kayaların dışındaki mermer ocaklarında patlayıcı madde kullanılmamalıdır. Patlayıcı madde hem bloğa hem de mermer yatağına büyük zarar vermektedir.

Mermer blok üretiminde yatağı karakterize eden renk ve desen durumunun beğeni kazanacak şekilde olması gerekir. Mermer blok üretiminde kaliteyi belirleyen; blok boyutu, çatlak ve olumsuz diğer unsurların içeriği ile renk ve desen durumuna göre 1., 2. ve 3. kalite biçiminde sınıflandırılmasının yapılması gerekir.

Mermer yatağında kaliteyi etkileyen yapı ve doku unsurları ile işletme sisteminin iyi belirlenerek, buna göre sağlam ve kaliteli blokların çıkarılması öngörülmektedir.

Mermer kesme ve işleme yöntemleri

Mermer ocaklarında uygulanan başlıca üretim yöntemleri ise geleneksel üretim ya da mekanik üretim yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki üretim yönteminde farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerin bazıları aşağıda sunulmuştur:

I- Geleneksel Üretim
a) Oluk-kanal açma (patlatma)
b) Delik delme-üçlü kama (hidrolik basınç)
II- Mekanik Üretim
a) Helezon tel ile kesme
b) Elmas tel ile kesme
c) Zincirli kesicilerle kesme
d) Elmas disk kesicilerle kesme
e) Termal şok ile üretim
f) Hidrolik kesme (basınçlı su)
g) Lazer ile kesme
h) Karma üretim

Günümüzde en çok kullanılan yöntem, elmas tel ile kesmedir. Son yıllarda jet-belt olarak da bilinen kollu kesiciler de kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra termal şok, İtalya'da denenmekte ve hidrolik kesme ya da lazer ile kesme teknolojisinden de bu alanda yararlanmaya çalışılmaktadır.

Mermer ocaklarında uygulanan üretim yöntemleri genellikle kullanılan makine ve donanımla adlandırılırlar. Hangi üretim yöntemi ile olursa olsun hedef düzgün geometrik şekilli ve büyük boyutlu blok çıkarmaktır.

Ocak işletmesinden üretilen mermer blokların biçilerek dilimlere ayrılması mermer kesme ve işleme tesislerinde yani mermer fabrikasında yapılır. Biçilen her mermer dilimine **levha (plaka)** denilmektedir.

Mermer ocaklarından düzgün geometrik şekillerde mermer fabrikasına gelen bloklar çeşitli makine ve teçhizat kullanılarak kesilmekte ve levha mermer haline gelen mermer istenilen boyutlarda küçültülerek ve pürüzlü yüzeyler silinerek pürüzsüz duruma getirilip parlatılmak üzere piyasaya sunulmaktadır. Mermer bloğunun mineralojik ve fiziksel özelliklerine göre kesme sistemleri seçilmektedir. Genel olarak lama (testere) ve disk (daire) ile kesen makine sistemleri olarak ikiye ayrılır. Lama (testere) ile kesen makinelere katrak da denilmektedir. Ancak, lamalar kesme yükünü üzerinde taşıyan aletlerdir.

Katrakla blok kesme sistemi

Raylar üzerinde hareket edebilen çerçeveli araba üzerine sağlam ve sarsıntıdan etkilenmeyecek şekilde yerleştirilen mermer blokları üzerinde ayrı bir tablaya monte edilmiş lamalar (testere, bıçak) bulunur. Lamalı bir tablaya çevirici bir kuvvet tarafından doğrusal hareket verilerek mermer bloğunun üzerinde bir sürtünme sağlanır. Böylece derinlemesine kesilme gerçekleşir. Lama tablası sabit olduğu gibi yukarıdan aşağıya hareket ettirilen katrak tipleri de vardır. Ayrıca lamalar yatay veya dikey hareketli de olabilir. Katrağın lamalardaki konumu ve kullanılan lama çeşitlerine göre tipleri olup, bunların büyüklükleri de çok çeşitlidir.

Kumlu katrakla kesme

Kesme esnasında düz çelik lama kullanılır ve su ile birlikte kum verilir. Katrak yatay konumda çalışır. Hareketli lama beşiğinin üst kısmından kuvarslı kum ya da kum şeklinde özel sert metal-su karışımı sallantılı elekten dökülür. Bu kum lamaların hareketi ile kestikleri kanala giderek aşınmayı sağlar ve kesme meydana gelir. Su, kumun kolayca lamalara yayılmasını, sürtünmeden ileri gelen isinin alınmasını ve kesme esnasında oluşan parçacıkların kanaldan ayrılmasını sağlar.

Katraklar, mermerin sertliğine göre değişik biçime kapasitelerine sahip olabilirler. Kesme hızı makinenin gücü ve kesme beşiğinin süratine göre 1-6 cm/h olabilir. Mermerin sertliği arttıkça kesme hızı düşer. Kesme sırasında kullanılan kumun kalitesi kesme hızı açısından önemli olmaktadır. Kuvarslı kum kullanıldığında kumun çok temiz ve % 85'ten fazla kuvars içermesi gerekir. Metal kumu ise özel alaşımlı çelikten yapılmış olup, mermerin türüne göre köşeli veya yuvarlak taneli kumlar kullanılır. Kumlu katraklar "sabit bloklu", "sabit lama beşikli" olarak tiplere ayrılır.

Normal sertlikteki mermer için kumlu katraklar pek fazla kullanılmaz. Bunların yerine daha hızlı kesimli elmas lamalı katraklar kullanılır. Fakat sert mermerler (granit, diyabaz, gabro, vs.) ancak kumlu sistemle çalışan ve metal kum kullanılan katraklarla kesilir. Bugün dünya sert mermer üretiminin % 80 kadarı, kumlu sistemle çalışan katraklarda kesilmektedir. Sert mermerde en gelişmiş teknolojide dahi kesme hızı saatte 2-3 cm' dir.

Elmas lamalı katrakla kesme

Bu katraklar da çelik lamalı kumlu katraklarla aynı esasa göre çalışırlar. Yapı bakımından hiçbir fark göstermezler. Ancak, kesme işlemi elmas şoketli lamalarla yapılır. Çelik lamaların mermer yüzeyine gelen kısmında elmas parçaları içeren vidyeli çelik uçlar (şoket) monte edilmiştir. Kesme işlemi bu vidyeli elmas uçlar (şoketler) ile yapılır. Katrağın kesmesi anında bol su kullanılır. Elmas lamalı katrakların kesme hızları saatte 5-40 cm arasındadır. Kumlu katrağa göre normal mermerde 1020 katı fazla olmaktadır. Bunun için sert olanlar dışında mermerlerin elmas katraklarda kesilmesi tercih edilir.

Elmas lamalı katrağın, lama beşiğinin durumuna göre; yatay lama beşikli ve dikey lama beşikli olarak çeşitleri vardır. Ayrıca, blok sabit, yukarı hareketli tipleri de bulunur. Bu tiplerin kesme randımanları ve kullanılması kesilecek mermerin özelliklerine göre seçilmektedir.

Tek lamalı (monolama) kesme makinesi

Mermer ocağından pürüzlü yüzeyle ve düzgün geometrik şekilde olmayarak gelen mermerler katrakla kesilme sırasında çok fire vermekte ve pürüzlü yüzeyde lamaların kesme süreleri için (kesme yolu alması) çok zaman gerektirmektedir. Bunun için katrağın altına verilmeden bloğun kesilecek yüzeyi bir lamalı katrak ile kesilir. Monolama tek lamalı olup, kesme hızı yüksektir. Bilhassa sert mermer bloklarının katrağa yerleştirilmesinden önce yüzeyleri monolama ile kesildiğinde kesme sürati artmakta ve plaka randımanı yükselmektedir.

Disk ile kesme

Çevirici bir kuvvet tarafından dairesel hareket verilen disk ile mermer bloğun kesilip plaka haline getirilmesi esasına dayanır. Sürtünmeden ileri gelen is, bol su ile alınır. Dikey kesen blok kesme makinelerine ESTE denilmektedir. Bunların dikey kesme diskleri 1 adetten 20 adette kadar değişir ve 2,5 m çapta olanları vardır. Diskin hareketini blok üzerinde hidrolik teçhizat sağlamaktadır.

Diskle kesmede diskin çemberine elmas vidyeli uçlar monte edilmiştir. Kesme bu şekilde elmas vidyeli uçlar yapıldığı gibi karborandumla da yapılabilir. Normal mermerlerde 70 cm'ye kadar kesme yapıldığı gibi sert mermerlerde 3-5 cm pasolarla kesme yapılır. Elmaslı diskle blok kesme hızı mermerin sertliği ve Makine teçhizatın durumu ile elmas yapısına göre saatte 2-10 m civarındadır. Mermer levhalarını küçük parçalara ayıran, kenar ve köşelerin kesilmesinde kullanılan bütün makineler diskle çalışan makine ve teçhizattır.

Lazer ışını ile kesme

Elektrik enerjisinden özel geliştirilmiş sistemle sağlanan lazer ışınları mermer blokları veya levhaların üzerine bir doğrultuda verilerek derinlemesine kesme yapılır. Bu sistem henüz araştırma aşamasında olup, yalnız laboratuvar ve yarı endüstriyel deneme evresindedir. Ekonomik sonuçlar alındığında geliştirilerek endüstride kullanılacaktır.

Blok kesme makineleri ile kesilen mermer levhalarının yüzeyleri az çok pürüzlü durumdadır. Silme ve cila işleminde amaç parlak bir yüzey meydana getirilerek mermerin bütün niteliklerinin (renk ve desen) ortaya çıkarılmasıdır.

Silme aşamasında yatay bir tablaya yerleştirilen mermer levhası üzerindeki pürüzler birinci aşamada değişik tip ve şekillerdeki aşındırıcı taşlar ile giderilir. Bu aşındırıcılar dönen yuvarlak bir tabla (kafa) tabanına tutturulmuştur. İkinci aşamada ise keçeli ve kurşun bir kafa mermer yüzeyinde dairesel şekilde dönerek mermerin her noktasının aynı şekilde parlaması sağlanır. Silicinin merkezinden sürekli su verilir ve bu şekilde mermer yüzeyi tamamen sulu olarak silinerek pürüzsüz bir yüzey meydana getirilerek cilalanır. Mermerin silinip cilalanması fiziksel ve mineralojik yapısına bağlıdır. Bu işlem için değişik tiplerde makine ve teçhizat kullanılır.

Özel amaçlı makineler

Mezar ve dekorasyon işlerinde kullanılan mermerlerin oyularak şekillendirilmesi için oyma makineleri, süs eşyası yapımı için tornalar, mermer harfleri için yazı makinesi, şekillendirme makinesi, köprülü kesme ve işleme makineleri kullanılmaktadır.

Su jeti ile kesme sistemi

Son yıllarda geliştirilmiş bir sistem olup, hidrolik veya hava basıncı ile hızlandırılmış su içerisinde belirli tane boyutlu kuvars kumu ile kesme yapılır. Bu sistem ile 15 cm derinliğe kadar kesme yapılmaktadır.

Ambalajlama

Her işletmenin bir amacı da ürettiği mermeri en iyi şekilde ambalajlama ve alıcını eline hasarsız bir şekilde ulaşmasıdır. Dolayısıyla, firmalar ürettikleri mermeri ulusal ve uluslararası standartlarda ambalajlamak ve alıcıya sunmak zorundadır. İyi tasarlanmış bir ambalaj için aşağıdaki hususlara özen gösterilmelidir:

1- Ürünün, yani mermerin iyi korunması ve stoklama kolaylığı sunması,
2- Ulaşımda kullanılacak araca göre mermer boyutlarının belirlenmesi,
3- Bilgi verme amacıyla bazı işaretlerin kullanılması,
4- Yükleme ve boşaltmada, açma ve tekrar kapamada kolaylığın gözetilmesi,
5- Ambalajın kalitesi ve maliyeti,
6- Ambalajın geri dönüşüm yoluyla tekrar kullanılabilir yapıda olması.

MERMERİN KULLANIM ALANLARI

Mermerin başlıca kullanım alanları; 1) inşaat sektörü, 2) güzel sanatlar ve 3) dekorasyondur DPT, 2001; Yılmaz, 2009'dan). En geniş kullanım alanı, inşaat sektörüdür. Binaların iç ve dış kaplamaları, dekorasyon işleri, anıtlar, heykeller ile süs ve hediyelik eşya üretimi önemli kullanım alanlarını oluşturur. Özellikle binaların iç kısımlarında yer döşemesi ve duvar kaplamaları, merdiven basamakları, sütunlar, şömine, mutfak ve banyolarda kullanılır. İç dekorasyon malzemesi olarak masa, sehpa ve çeşitli mobilyalar yer alır. Ayrıca barajların yapımında da kullanılan çeşitli kaya türleri vardır.

Hediyelik eşya ve el sanatları dalında vazo, biblo, avize, şekerlik, kül tablası yapımında güzel renkli mermerler kullanılmaktadır. Mezar taşları yapımında da önemli miktarlarda mermer tüketilmektedir.

Günümüzde yapıtaşından çok kaplamacılık, döşemecilik ve dekorasyonda kullanılan doğal taşların özelliklerine göre kullanım alanları az çok değişmektedir. Traverten dış yapıların kaplanmasında ve döşemelerinde, hakiki mermerler iç mekânlarda kullanılırken son yıllarda granitin üstünlüğünü her iki yönde de artmaktadır. İyi cila alma, renk çekiciliği ve sağlamlığı nedeni ile granit, aynı zamanda figür işlemeciliğinde de kullanılmaktadır.

Mermer taşlarının kimyasal bileşimi kalsiyum karbonat olduğu için kimya, yem ve gübre alanlarında, karayolu, beton asfalt ve son kat dolgu malzemesi olarak kullanılır. Parça mermerlerden paledyen, mozaik ve yapay mermerler de yapılmaktadır.

ABD siyah mermeri, Avrupa ülkelerinde serpantin ve diyabazdan yapılı mermerler mezar taşlarında ve abidelerde kullanmaktadırlar.

Mermer yerine kullanılabilecek niteliklerde bir ürün bugüne kadar yapılmamıştır. Ancak, seramik ve yer karoları mermer yerine kullanılsa da mermer kadar avantajlı değildir. Ayrıca seramik ürünlerinin üretimi pahalı olup, bunların mermerin yerini alması mümkün değildir.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Bilindiği gibi, mermer ocak işletmeleri, açık ocak işletmesi ya da taş ocakları yöntemleri uygulanarak yapılmaktadır. Ocak işletmesi dolayında ortaya çıkan atıklar görüntü kirliliğine, delmepatlatma işlemleri sırasında ortaya çıkan toz ve partiküller hava kirliliğine yol açabilmektedir. Ayrıca makinelerin çalışması ve patlatmalar gürültü oluşturmaktadır.

Küçük işletmelerde, doğadan çıkarılan mermerin çevresel etkileri, gerekli önlemler alınırsa, doğal dengeyi bozacak ve yaşam sağlığını etkileyecek düzeyde değildir. Ortaya çıkan tozlar işlenerek tarım ve hayvancılıkta kullanılabilir. Sulu yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılması hava kirliliği kısmen de olsa denetlenebilir. Mermerin, güneşin zararlı ışınlarını bertaraf etme potansiyeline sahip olması nedeniyle, insan sağlığı açısından yararı değerlendirilmelidir (Yılmaz, 2009).

Öte yandan mermerin yıkanması, işlenmesi ve cilalanması sırasında su ve çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Ortaya çıkan atık sular arıtıldıktan sonra tarım amaçlı kullanılabilir. Çoğunlukla kalsiyum karbonat bileşiminde olan mermerlerin kesilmesi sırasında oluşan ince taneli malzeme de sudan ayrıldıktan sonra hayvan yemleri yapımında, tarımda ya da toprağın kalsiyum karbonatını yükseltici katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Karbonatlardan oluşan mermer genel olarak insan sağlığına zarar veren kimyasal bileşikler içermemektedir.

Mermercilik endüstrisinin merkezi olan İtalya'nın Carrara şehri aynı zamanda birinci derecede turistik bir yerdir. Dolayısıyla mermer sektörü çevreye uyumlu güzel mekânların gelişmesine katkı da sağlayabilir.

Doğal malzeme olarak mermer, canlı sağlığına zararlı ışınları absorbe ettiği bilinmektedir. Diğer inşaat malzemeleri ise ışınları yansıtma özelliklerine sahiptir. Dünya'da, sağlıklı bir mekân yaratmak üzere mermerin kullanılması tercih edilmektedir.

ÇED Yönetmeliği (2022)'ne göre 25 hektar ve üzeri çalışma alanında gerçekleştirilen açık işletmeler EK-1 Listesinde; 10 000 m^3/yıl ve üzeri kapasiteli blok mermer ve dekoratif taşları kesme, işleme ve sayalama tesisleri EK-2 Listesinde yer almaktadır. EK-2 Listesinde yer alan faaliyetler için Proje Tanıtım Dosyası'nın hazırlanması yeterlidir.

SONUÇLAR

Mermer, insanoğlu tarafından ilk zamanlarda, yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Genel olarak eski zamanlardan kalmış tarihi binalara veya arkeolojik kazılarda çıkarılan eski zaman şehirlerine bakıldığında, bu yapılarda mermer malzemesinin bol oranda kullanıldığı görülmektedir. Daha sonraları, mermer sanata dair yapılarda ve birçok anıt, heykel gibi yapıların tasarımında kullanılmıştır.

Mermer, günümüzde kullanım alanı geniş olan bir gereçtir. Ekonomik olarak kayalardan blok halinde çıkarılıp, parlatılarak pazarlanabilen bütün kayalar, mermer olarak adlandırılmaktadır.

Türkiye mermer yatakları açısından zengin bir ülkedir. Ülke çapında çok sayıda irili ufaklı mermer işletmeleri bulunmaktadır. Ayrıca ulaşım bakımından işletmenin zor olduğu birçok bölgede de kaliteli mermer yatakları vardır. Mermer yataklarının ülkemizdeki potansiyeli, geniş kullanım alanları ve işletme süreçlerinde ortaya çıkan çevresel etkilerin denetlenebilir olması, mermerin gelecekte önemli bir kaynak olarak değerlendirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

Demirocak, Y., 2003, Fabrika işletmeciliği: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 115-141.

DPT, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeleri Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 19s.

Erdoğan, B. ve Yavuz, A. B., 2003, Güneydoğu Anadolu'nun Miyosen paleocoğrafyası ile mermer yataklarının ilişkisi: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 1-13.

JMO, 2003, Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 175 s.

Karaca, Z., 2003, Mermerlerin yataklanma şekilleri: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 82-93.

Önenç, D. İ., 2003, Sedimenter kaya mermerciliğinde bloklarda ürün alınmasını engelleyen jeolojik oluşumlar: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 42-46.

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

3. 5, ASBEST

GİRİŞ

Asbest ya da asbestiform terimi, genellikle ince lifsi yapıları olan silikat minerallerini tanımlamak ya da doğaları ortak olan, buna karşılık kimyasal bileşimleri birbirinden çok farklı serpantin ve amfibol gruplarına ait bazı mineralleri tanımlamak için kullanılan geniş kapsamlı bir terimdir. Asbest, genel olarak Ca, Mg ve Fe içeren silikatlardan oluşur. Serpantin minerallerinin lifsi şekli olan **krizotil**, anılan mineraller arasında doğada en yaygın olarak bulunanlardan biridir. Sunulan bu bölüm, ağırlıklı olarak İrkeç (1990) ve Yılmaz'ın (2009 a;b) çalışmalarından yararlanarak hazırlanmıştır.

Asbest terimi kimi zaman minerali ifade edecek bir anlamda kullanılmaktadır. Bununla beraber, asbest sözcüğünün herhangi bir özel minerali belirtebilmesi için ilgili mineral adı ile birlikte kullanılması tercih edilir. Başlangıçta, bitkisel lif olduğu sanılan asbestin bir mineral grubu olduğu daha sonraki dönemlerde anlaşılmıştır.

Asbest minerallerinin genel olarak lifsi yapıda olması, bunları diğer endüstriyel hammaddelerden ayıran en önemli ölçüttür. Bu yapıları sayesinde, asbest grubu mineraller, çok çeşitli alanlarda kullanma olanağı bulabilmekte, sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikler, çoğu zaman başka doğal mineraller tarafından aynı ölçüde karşılanamamaktadır. Bu nedenle, son yıllarda insan sağlığı açısından asbestin olumsuz etkileri ortaya çıkmasına karşın, bugün hala birçok endüstriyel uygulamadaki vazgeçilmez yerini korumaktadır.

Arkeolojik çalışmalar, asbest konusundaki kayıtların 2500 yıl öncelerine kadar uzandığını ortaya çıkarmıştır. Tarih öncesi Fin seramiklerinde, lamba fitillerinde; Yunan ve Roma uygarlıkları döneminde üretilen çeşitli dokumalarda asbest lifleri kullanılmıştır. Asbest kullanımına ilişkin kayıtlara, Yunan ve Mısır uygarlıklarının ilk zamanlarına ait tarihi belgelerde rastlanmış ve hatta en eski Çin toplumlarının bu lifleri hasır şeklinde dokudukları anlaşılmıştır. Mestrius Plutarch'a göre, MS 46 yılında Yunanlılar asbest liflerini lambalarda fitil olarak kullanmışlardır. Pratikte asbestin yanmama özelliğini yansıtan ilk kayıt budur. Gerçekten de kısmen doğru olmakla birlikte, asbestin en önemli özelliği budur.

Asbestin daha önemli uygulama alanları bulması, Romalılar zamanına, MS 50'li yıllara rastlamakta ve Yunanca "kirletilemeyen" anlamına gelen "amiantos" kelimesinden türetilen amyant ismiyle anılmaktadır. Bunun nedeni, liflerden yapılan dokumanın ateşe maruz bırakıldığında orijinal halinden daha beyaz ve temiz bir görünüm kazanmasıdır.

Bazı tarihi kayıtlara göre Romalılar, lifleri İtalya Alpleri'nde üretmekte idi. Bugün de, mineralin orijinal kaynağının söz konusu bölge olduğu kabul edilmektedir. O zamanlarda asbestten yapılan tekstil ürünlerinin ne amaçla kullanıldığı bilinmemektedir. Pliny the Elder (yaklaşık MS 79), kraliyet ölülerinin yakılması için asbestten dokunmuş kefenler (linum vivum) kullanıldığını kaydetmektedir. Bu kayıtlar, lif üretiminin, cevherin ilkel değirmenlerde kırılması şeklinde gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır. Bu işlem ise bugünkü öğütme sürecinin esasını oluşturmaktadır.

Marco Polo, Sibirya'da, MS 1250 yılında asbestli dokumalar üretildiğinden söz etmektedir.

Avrupa'da asbestle ilgili kayıtlara 1676 yılında rastlanmıştır. Çinli bir tüccar, Londra'da Kraliyet ailesine asbestten dokunmuş mendiller sunmuş ve bu gereç kertenkele yünü veya "linum asbesti" olarak isimlendirilmiştir.

Aynı tarihlerde William Lithgow, Kıbrıs'ta çıkarılan "amyant taşı"ndan söz etmekte ve bundan dokunan malzemenin yanmadığını, ancak ateşe maruz bırakıldığında daha temiz ve beyaz görünüm kazandığını belirtmektedir. Bundan sonraki gelişme, Urallar'daki yatakların açılması ile 1720 yıllarında Rusya'nın asbest tekstil ürünleri üretimine geçmesidir.

Ticari alanda daha önemli gelişmeler, bir yüzyıl sonra İtalya'da ortaya çıkmış ve Valtelino'da asbestten iplik, kitap kabı gibi malzemeler yapılmaya başlanmıştır. Hatta o zamanlar, banknotların asbestten üretilmiş kâğıtlara basılması önerilmiştir. 1878 de Paris'te uluslararası fuarda asbest ürünlerinin sergilenmesi, çeyrek yüzyıl içinde bu alandaki büyük gelişmeyi yansıtmaktadır.

19. yüzyıl başlarında Kanada'da asbestin varlığı bilinmekle birlikte, dünyadaki en önemli yataklara sahip olduğunun anlaşılması, 1860 yılında St. Joseph yakınlarında keşfi ve 1877 de Thetford ve Coleraine yataklarının işletmeye açılmasıyla olmuş ve hızlı bir gelişme başlamıştır. Asbest türlerinin tanımlanması ve ticari boyutta krizotil ve krokidolit yataklarının ortaya çıkarılması 19. yüzyıla rastlamakta, 20. yüzyıl başlarından itibaren ise bu mineraller, endüstriyel uygulamalarda uzun süre seçeneği olmayan yerini almaya başlamıştır.

Üretici firmalar, artan talepler karşısında diğer ülkelerde de asbest arama faaliyetleri başlamış ve yirminci yüzyıl başlarında Güney Rodezya, ABD, Güney Afrika'da Cape Provience ve Transvaal'de krizotil asbest yatakları ortaya çıkarılmıştır. Bu ülkelerde diğer asbest türleri de bulunmaktadır. Daha sonraki yıllarda savaş sanayileri de dâhil olmak üzere bütün endüstrilerde asbest türlerine olan talep hızla artarak günümüzdeki asbest durumuna erişmiştir.

Asbest çalışmalarında sıkça kullanılan bazı terimler

Asbest jeolojisinde, genel jeoloji ve madencilik terimleri dışında özel terimler de kullanılmaktadır (Lefond, 1970). Bunlardan bazılarının dilimizde karşılığı bulunmakta, bir kısmı ise orijinal şekliyle yer almaktadır. Bunların bilinmesi, konunun anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

Kırılganlık (brittle): Bir asbest lifinin büküldüğü zaman kırılmaya olan eğilimi. Krizotil: $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ formülüne karşılık gelen metamorfizmaya uğramış asbestiform serpantin.

Yumuşaklık: Özel asbest türlerinin yüksek derecede bükülebilme ve düşük lif kohezyonu özellikleridir.

Lif adhezyonu: Liflerin ana kayanın kenarından ayrılmaya karşı gösterdiği direnç. Lifler, düşük veya yüksek adhezyonlu olarak tanımlanabilirler.

Lif kohezyonu: Liflerin birbirlerinden ayrılmaya karşı gösterddikleri direnç. Lifler, düşük veya yüksek kohezyonlu olarak tanımlanabilirler.

Asbest lifi: Silikon-oksijen tetrahedral yapısına dayanan, lif tanımına uyan ve paralel dizilim gösteren tek kristallerden oluşmuş lifsi / iğnemsi silikat mineralidir. Günlük kullanım, asbest lifleri topluluğunu da belirtmektedir. **Çapraz lif**: Damar ya da çatlak kenarlarına dik durumda bulunan liflerdir. **Lif** (fibre): Enine boyutu 10-1 mm, maksimum yanal yüzey alanı $5.06x10^{2-}$ mm², 0.254 mm çapa karşılık gelir ve maksimum enine boyutu 0.254 mm olan herhangi bir materyaldir.

Fibril: Lif formundaki tek bir kristaldir. **Kalem**: Genel olarak kolayca liflerine ayrılabilen, sabit çaplı, sıkı dizilimli koşut yönelim gösteren çubuk tipi asbest lifleri topluluğudur. Liflerin boyu 10 mm'den az ve enine boyutu 1 mm ye kadarsa, lif spikülü terimi de kullanılabilir. **Geçme lif**: Liflerin birbirlerine ve damar düzlemine paralel olma durumudur.

İnce ürün: Herhangi bir kabullenilmiş test yöntemi ile tane boyu sınıflamasından arta kalan en ince materyal sınıfıdır. Asbest endüstrisindeki olağan kullanım ise, C-1 yönteminde, en ince elekten geçen materyal olarak tanımlanmaktadır.

ÖZELLİKLERİ

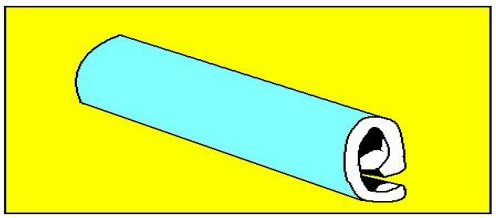
Asbestin mineralojik tanımı ve türleri

Asbest, genel olarak bir dizi doğal, lifsi silikat mineral topluluğudur. Bunların tümü ateşte yanmayan, asitlere dirençli ve iletkenlik özelliği olmayan minerallerdir. Mekanik etki sonucu çeşitli uzunluk ve boyutta liflere ayrılabilen asbest mineralleri, magnezyum silikat, kalsiyum-magnezyum silikat, demir-magnezyum silikat ve karmaşık sodyum-demir silikat şeklinde tanımlanabilecek farklı kimyasal bileşimler sunar (Lefond, 1975). Ancak, bunların ortak özellikleri, genel olarak lifsi kristal yapısına sahip olmasıdır. Şekil 1' de asbestin bir el örneğindeki görünümü (A) ve asbest liflerinin yakından görünümü (B) sunulmuştur; Şekil 2' de ise krizotil asbestin tüp-lif şeklindeki yapısı görülmektedir.

A B



Şekil 1. Asbestin bir el örneğindeki görünümü (A) ve liflerin yakından görünümü (B).



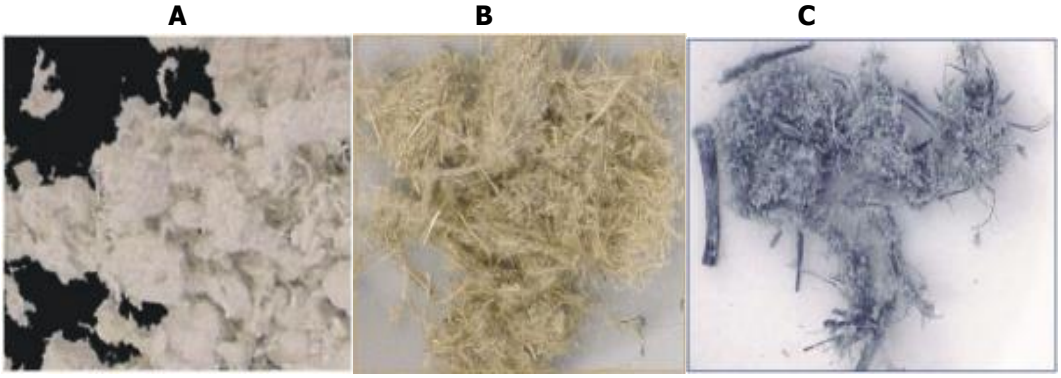
Şekil 2. Krizotil asbestin tüp şeklindeki kristal yapısı (İrkeç, 1990).

Sonuç olarak, asbestin lifsi, yüksek çekme-gerilme dayanımı, esnekliği, kimyasal ve termal ayrışmaya karşı direnci, darbeye dayanımı, yalıtkan, sürtünme ve aşınmaya direnci, yüksek elektrik direnci ve birbirinden kolayca ayrılabilen çok uzun ve ince liflerden oluşan lif demetleri uçlarda yaylanma ve esneklik gibi özelliklere sahip olduğu vurgulanmaktadır (Köksal, 2019).

Asbest genel olarak iki grupta incelenmektedir. Bunlardan birincisi, **serpantin grubu** olarak adlandırılır ve sadece serpantinin yeniden kristalleşmesi ile oluşmuş lifsi biçimi olan krizotil (beyaz asbest) mineralini kapsar. Dünya asbest üretiminin yaklaşık % 94'ü bu gruptan karşılanmaktadır. İkincisi ise, **amfibol grubu** olup beş mineral içermektedir. Bunlar amozit (kahverengi asbest), krokidolit (mavi asbest), antofillit, tremolit ve aktinolittir. Son iki mineral fazla ticari öneme sahip değildir. Bazı asbest türlerinin görünümü Şekil 3' de; kimyasal bileşimleri ise Çizelge 1' de sunulmuştur.

Krizotil, serpantin grubunda yer alan tek asbest türü olup, değişik boylarda lif türlerini içermektedir. Serpantin kayaları içindeki hidrotermal tepkimeler ve mekanik etkiler sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Söz konusu kayaların ana minerali bir demir-magnezyum silikatı olan olivindir. Meteorik ya da jüvenil suların etkisiyle olivin, hidrat formuna dönüşür ve sonuçta olivinin serpantin bozuşması sırasında hacim artışı ortaya çıkar.

Daha ileri evrelerde bozuşma oluşmadığı durumlarda serpantin serbest olarak gelişebilir. Tektonik hareketlerin yol açtığı sıkışma ya da dinamik basınç sonucu oluşan yeniden kristalleşme ile paralel dilinim gelişir. Lifsi asbest yapısını oluşturan unsur da budur.



Şekil, 3. Bazı asbest türlerinin görünümü. **A,** Krizotil (beyaz asbest), **B,** Amozit (kahverengi asbest), **C,** Krokidolit (mavi asbest) (Şenyiğit, 2011' den).

Çizelge 1. Asbest türlerinin kimyasal bileşimi (İrkeç, 1990).

Asbest türleri	Kimyasal formülleri
Krizotil - Hidrate magnezyum silikat	$Mg_6[(OH)_4Si_2O_5]_2$
Krokidolit - Karmaşık sodyum-demir silikat (mavi asbest)	$Na_2Fe_5[(OH)Si_4O_{11}]_2$
Amozit - Demir-magnezyum silikat	$MgFe_6[(OH)Si_4O_{11}]_2$
Antofillit - Magnezyum silikat	$(Mg,Fe)_7[(OH)Si_4O_{11}]_2$
Tremolit - Kalsiyum-magnezyum silikat	$Ca_2(Mg,Fe)_5\ [(OH)Si_4O_{11}]_2$
Aktinolit - Kalsiyum-magnezyum silikat	$Ca_2(Mg,Fe)_5\ [(OH)Si_4O_{11}]_2$

Çapraz lifler içinde az oranda yer alan lifler, üretim ve işleme evresinde bir dezavantaj oluşturmaktadır. Buna karşılık, uygun işleme yöntemleri kullanılarak, kâğıt ve yer karosu yapımında yararlanılabilecek kalite ve değerde lifler elde edilebilir.

Amozit, dinamik metamorfizmadan çok, bir termal metamorfizma ürünüdür. İndirgenmiş demir ve kalıntı karbon varlığı, yüksek sıcaklıkla birlikte amozit liflerinin büyümesini hızlandırır. Amozit lifleri, asbest lifleri arasında en uzun olanlarıdır. Antofillit yatakları, enstatitçe (magnezyum silikat) zengin ultrabazik kayalarda yer almaktadır. Daha sonraki granitik intruzyonlarla hidrotermal metamorfizma etkisine uğramışlardır.

Tremolit, kontakt metamorfizmaya uğramış kalk-silikat, hornfels gibi kökeni karbonattan yapılı kayalarda, metamorfizmaya uğramış serpantinlerde ve yeşil kayalarda oluşmaktadır. Aktinolit, yeşilimsi mavi lifler şeklinde bulunmaktadır.

Asbest yapısı içindeki düzensizlikler ile lifler arasındaki ve uçlarındaki karışımların mekanik ayrıştırma ile yok edilmesi çok zordur ve bunlar nihai üründe çeşitli oranlarda bulunurlar.

Parlaklık ve doku göz önüne alındığında, yüksek magnezyum içeriğine sahip asbest türlerinin çapı 0.01 mikrondan daha küçük beyaz ve ipeksi lifler oluşturdukları belirtilebilir. Öte yandan, yüksek demir içeriğine sahip amozit, iğnemsi yapıya sahip kül grisi sert liflerden oluşur ve genellikle yay şekilli ve kırılgandır. Krokidolitin yapısı, magnezyum oksitçe zengin grup ile amozit arasında bulunmaktadır. Ancak

hatırlanması gereken bir nokta, her asbest türünün farklı doku ve elastik yapıda bulunabileceğidir. Asbest türlerinin yaklaşık kimyasal analiz sonuçları da Çizelge 2 de görülmektedir.

Çizelge 2. Bazı asbest türlerinin kimyasal analiz sonuçları (İrkeç, 1990).

%	Krizotil	Krosidolit	Amosit	Antofillit	Tremolit
SiO_2	37-44	49-53	49-53	56-58	53-62
MgO	39-44	0-3	1-7	28-34	0-30
FeO	0-6	13-20	34-44	3-12	1,5-5
Fe_2O_3	0,1-5	17-20	-	-	-
Al_2O_3	0,2-1,5	-	2-9	0,5-1,5	1-4
H_2O	12-15	2,5-4,5	2-5	1-6	0-5
CaO	eser-5	-	-	-	0-18
Na_2O	-	4-6,5	-	-	0-9
$CaO+Na_2O$	-	-	0,5-2,5	-	-

Asbest ürünlerinin sınıflandırılması

Asbest madenciliğinin gün geçtikçe gelişmesi ve yeni kullanılan alanları için özel türlere gereksinim duyulması nedeniyle, belli başlı üretici ülkeler kendi ürünleri için standart sınıflamalar geliştirmişlerdir. Kanada krizotil asbest ürününün sınıflaması için "Committee on Uniform Classification and Granding of Asbestos Mines Products" isimli bir komite, 1931 yılında Quebec Eyaleti Maden Bakanlığı tarafından kurulmuş olup, bu komite tarafından yapılan sınıflama kimi zaman gözden geçirilerek 1964 yılında bugün kullanılan şeklini almıştır (DPT, 2000).

Bu sınıflamada asbest ürünleri, **ham asbest** ve **işlenmiş asbest** olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Ham asbest, doğal veya lifleri ayrılmamış formda elle ayrılmış çapraz damar gereçlerinden oluşmaktadır. İşlenmiş asbest ise mekanik işlemlere tabi tutulmuş bütün asbest cevheri grup ve alt gruplarını kapsamaktadır. Grup no. 3 ile 7 arasında yer alan işlenmiş asbest grupları, "Quebec Standart Testing Machine" yardımıyla alt gruplara ayrılmaktadır.

Asbest ürünlerine "Yükleme Testi (Shipping Test)" ve "Garantilenmiş Minimum Yükleme Testi (Quaranteed Minimum Shipping Test)" isimli iki test uygulanmaktadır. Bunlardan ilki, bir vagon yükü ya da daha az yükü temsil eden örneklerin ortalama lif değerleri, ikincisi ise yüklemenin bu değerlerin daha altında gerçekleşemeyeceği kesin standartlar testidir.

Krizotil asbest uluslararası piyasalarda **7 ayrı grup** halinde satışa sunulur (DPT, 2000). Bu sınıflama lif uzunluğuna dayalıdır. 1, 2 ve 3. grup asbestler, lif uzunlukları en fazla olanlardır. Tekstil asbest olarak da adlandırılırlar. İzolasyon gereçleri de bu grup asbestlerden yapılır. 4. grup asbest basınca dayanıklı asbestli çimento borularında; 5. grup asbest, asbestli çimento levhalarının üretiminde; 6. grup asbest, asbestli çimento üretiminde; 7. grup asbest ise fren balataları gibi gereçlerin üretiminde kullanılır.

Daha düşük boyutlu asbeste ise toz asbest adı verilir. Asbest liflerinin 8 mm'den daha uzun olanları % 20-25 oranında pamukla karıştırılarak ateşe dayanıklı tekstil üretiminde; 5,5-8 mm uzunluğundakiler asbestli boru ve levhada; 2,0-6,5 mm uzunluğundakiler izolasyon levhalarında; 0,2-2,0 mm uzunluğundakiler ise inşaatlarda tecrit amacıyla kullanılabilir ve kullanıldıkları yere göre boyutlandırılıp ayrılabilirler.

Makroskobik özellikler

Makroskobik düzeyde, asbest türlerinin belirgin özelliği, asbest olmayan minerallerin masif, bloksu, keskin ve sütunsu görünüşe karşılık, lifsi yapıda olmalarıdır. Krizotil kimi zaman lifsi olmayan şekillerde de oluşmasına karşın, krizotil ile diğer serpantin minerallerinin ayırımında en belirgin ölçüt, ayrılabilir liflerin olup olmamasıdır. Serpantin ve amfibol mineralleri arasındaki ayırım, optik mikroskopi,

elemental analizler, diferansiyel termik analiz ve X-ışınları kırınımı teknikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Birçok makroskobik örnek, endüstri ve çevre sağlığı açısından üzerinde durulabilecek önemde olup düşük yüzdelerde asbestsi mineraller içerebilirler (örneğin; serpantin içindeki krizotil ve talk içindeki tremolit asbest). Materyallerin mineral türlerinin morfolojik özelliklerinin saptanabilmesi için optik ya da elektron mikroskop çalışmaları gereklidir. Makroskobik bir örneğin yapısal ve kimyasal özelliklerinin saptanmasında önce, örnek hazırlanmasına yeterli zaman ayrılarak saf minerallerin incelendiğinden emin olunmalıdır.

Asbestin kristalin içyapısı

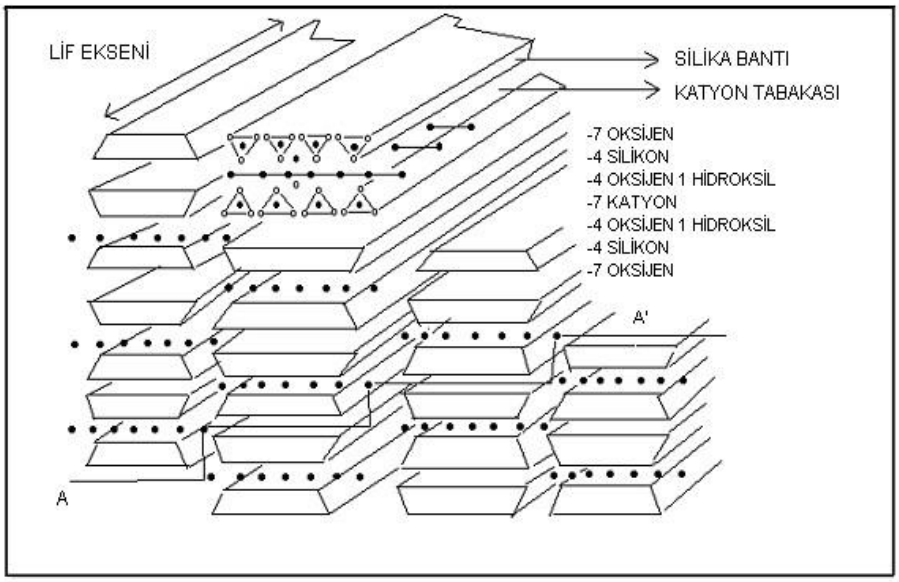
Kristalin bir mineral, esas olarak kristal yapısı ve bileşimi arasındaki ilişkiler gözetilerek tanımlanmaktadır. Burada kısaca amfibol ve krizotil asbestin kristalin içyapısı ve diğer özellikleri sunulacaktır.

Amfibol asbestin temel yapısal bileşimi, düşey kesit görüntüsünde dört silika tetrahedronu bulunan çift silika zincirinden oluşmaktadır (Şekil 4). İki paralel silika zincir, bir katyon bandıyla ayrılmıştır ve amfibol asbestlerinin çeşitli türlerinde bu bant, az miktarda diğer elementlerle birlikte magnezyum, kalsiyum, demir ve sodyum içerir.

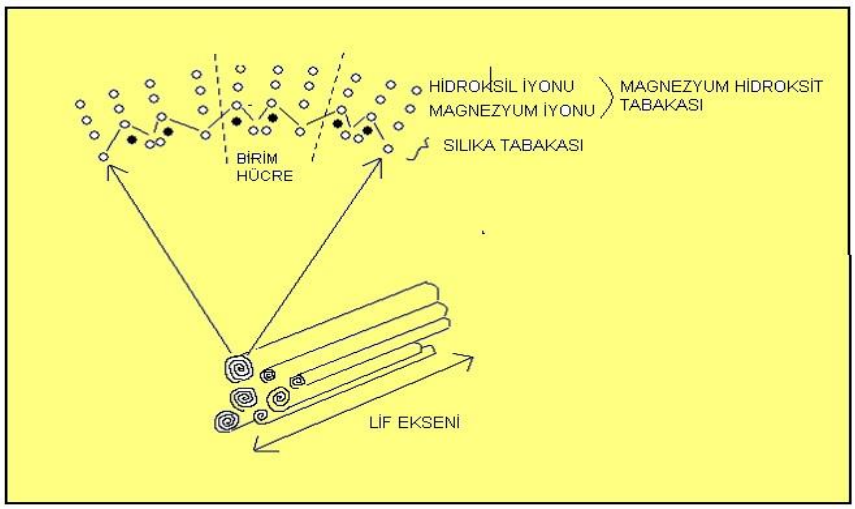
Amozit ve krokidolitte bu katyonlar, esas olarak, iki ve üç değerlikli demirdir. Amfibol asbestin mikroskobik lifinin enine kesiti, bu yapısal birimlerin düzgün diziliminden oluşur. Bu yapıdaki kuvvetli bağ, lifin sertliğini sağlar ve sonuçta, uzun amozit ve krokidolit liflerinin eksen yönünde belli bir miktar bükülebilme özelliği olmasına karşılık, kısa lifler her zaman sert ve bükülmez niteliktedir. Bu tip liflerin kuru halde ve sulu çözeltide krizotilden daha fazla bir hacim oluşturmasının nedeni budur.

Amfibol yapısındaki tercihli klivaj çizgisinin gidişi (Şekil 4 A-A'), sonuçta oluşan lif yüzeyinin silika tatrahedronları tarafından denetlendiğini göstermektedir. Genelde amfibol liflerinin kendine özgü yüzey özelliklerini sağlayan, amozit ve krokidolite yüksek kimyasal duyarlılık kazandıran unsur budur.

Şekil 5 ise, krizotil asbestin şematik yapısını göstermektedir. Bu, amfibol yapısından tümüyle farklıdır ve bu liflerin dokusundaki değişiklikten sorumludur. Krizotil liflerinin dış yüzeyleri, alkalin magnezyum hidroksit katmanından oluşmaktadır.



Şekil 4. Bir amfibol asbest lifinin kristal yapısı. $X_7Si_8O_{22}(OH)_2$ teorik bileşimine dayalı birim hücreler görülmektedir. A-A' çizgisi, tercihli klivaj düzleminin kenarını belirtmektedir ki buna göre lifler, daha ince liflere ayrılacaktır (İrkeç, 1990).



Şekil 5. Çeşitli kristal rulolarından oluşan krizotil asbest lifinin yapısı. Her rulo, sıkı dizilim gösteren çift katmandan oluşmuştur. Dış yüzeyde magnezyum hidroksit birimleri, iç yüzeyde silika birimleri yer almaktadır. Rulodan ufak bir kesitin ayrıntıları, çift katmanlı yapıyı ve $M_3(Si_2O_5)(OH)_4$ kuramsal bileşimine dayalı birim hücreyi göstermektedir (İrkeç, 1990).

Mikroskobik özellikler

Bir mineralin yapısı ve kimyasıyla ilgili nitelikler göz önüne alarak, deneyimli bir araştırmacı amfibollerle serpantinleri ayırabilir ve bazı durumlarda mineralleri tanımlayabilir. Amosit olarak bilinen ticari asbestin mikroskop altında paralel sönme göstermesi, bunun kümingtonit ve aktinolit gibi asbest olmayan formlardan ayrılmasında önemli bir ölçüttür.

Asbestiform türü dışında, serpantinler genellikle masif, buna karşılık amfiboller ince taneli masif ya da sütunsu, radyal, prizmatik ya da keskin kristaller agregası şeklindedir. Bunun karakteristik örnekleri elektron mikroskop altında gözlenmiştir. Tane boyu küçüldükçe, asbestiform teriminin kullanılması güçleşmektedir. Çünkü tanelerin birbirinden ayrılması olanaksız hale gelmektedir. Boyuta dair kesin tanımların yapılabilmesi için yüksek büyütme zorunludur. Morfolojik karakterlerin saptanabilme derecesi, kullanılan büyütmeye bağlı olmaktadır. Düşük büyütmede tek bir lif olarak saptanan bir asbest partikülü, yüksek büyütmede demet şeklinde belirebilir. Elektron mikroskopta ise Angstrom mertebesinde tayinler yapılabilmektedir. Tanımlayıcı yapısal ya da kimyasal veriler olmaksızın morfolojik karakterler tek başına mineral tanımlamasında yeterli değildir.

Tek partiküller hakkında yapısal bilgiler, transmisyon elektron mikroskobu (TEM) veya elektron kırınım modu (SAED) kullanılarak elde edilebilir. Lifsi ve lifsiz amfibol türlerinin SAED yöntemiyle tanımlanmasında hala güçlükler vardır.

TEM ile mümkün olan çok yüksek büyütme, krizotilin yapısını 50 A° mertebesine kadar görünür kılmaktadır. Bu yapı, örnekle ilgili kimyasal ve yapısal verilerle birlikte mineral türünün tanımlanması için yeterlidir.

Mikroskobik tanelerin bileşimi, dalga boyları göz önüne alınarak ve X-ışınları spektrografisi ile saptanabilmekte, daha sonra elektron mikroskobu ile doğruluğu denetlenmektedir. Tane çapı, (0.2 μm nin altında) spektral yoğunluk-bileşim ilişkisinde önemli bir değişkendir.

Diğer özellikler

Asbest liflerinin, daha önce kısaca değinilen doğal özellik ve karakteristikleri, tarih boyunca kullanım alanı bulmalarını sağlamıştır. Fabrikasyon ürün imaline geçilmesiyle birlikte, söz konusu özelliklerin daha hassas olarak denetimi gerekmiş, bu arada ilerleyen teknik, alet ve bilimsel araştırma yöntemleriyle liflerin çok geniş kullanım alanı yaratacak yeni özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Sonuçta

asbest sanayi kısa zamanda çok büyük gelişme göstermiştir. Mineralin çok geniş alanda kullanımını sağlayan diğer temel özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Yanmama özelliği

Bütün asbest türlerinin en belirgin özelliği yanmama olup lifler, oldukça yüksek ısılarda yapıları bozulmadan kalabilmektedir. Ancak asbest, refrakter malzeme olarak kullanılamaz. Çünkü asbest işlendikten sonra basınca direnç gösteremez.

Yüksek ısıya bırakıldığında belirli bir ısı derecesinde lifler fiziksel özelliklerini kaybetmektedir. Bu evre, asbestin türüne, kimyasal bileşimine ve yer alan diğer minerallere göre değişmektedir. Bu durumda üretilecek malzemeden beklenen kullanımı gerçekleştirecek lif türü seçimi çok önemlidir.

Amfibol asbestler, 700 °F'a kadar ısıya mükemmel dayanım göstermekte, buna karşılık krizotil lifleri özellikle 1000 °F'dan sonra çok hızlı ağırlık kaybına uğramaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda da amfibollerin ağırlık kaybı, krizotil kadar hızlı olmamaktadır. Ancak 1600 °F da krokidolit liflerinde demir oksidasyonu meydana gelmekte, ısıtılmaya devam edildiğinde ise mineral, demir ve soda içeriği nedeniyle siyah bir manyetik kütleye dönüşmektedir. Birçok lifler, çok yüksek sıcaklıklarda lif elastikiyetini kaybederek kırılgan hale geçmekle birlikte, mineral özelliklerini korumaktadır.

Pratik açıdan, birçok asbest türünün çok yüksek, hatta birçok metalin erime sıcaklığına dayanımlı olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalacak ürünlerin yapımı için, sanayicilerin istenen özellikleri karşılayacak en uygun tür hakkında karar vermeleri gerekmektedir.

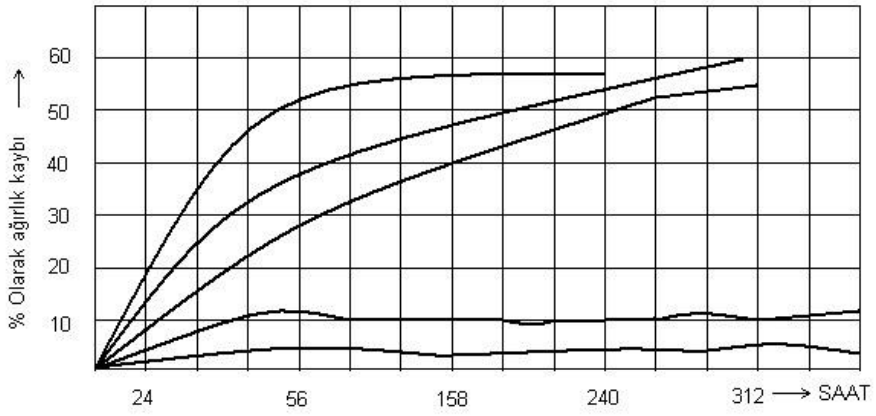
Asbest liflerinin düşük ısı iletkenliği, büyük ölçüde ısıya direnç ve yanmama özelliklerinin sonucudur. Bunların yanında lif yapısı da önemli bir faktördür. Asbest bünyesindeki paralel (tabüler) lifler birleşerek, aralarında hava kütlesi bulunan bir tür hücre yapısı oluştururlar. Böylece, düşük termal iletkenlik katsayısının aksine sıcak ve soğuğa karşı yalıtkanlık özelliği kazanmış olurlar.

Asbest dışında iyi yalıtım özelliğine sahip birçok gereçler vardır. Fakat bu gereçlerde asbestte bulunan ve avantaj sağlayan bazı özellikler yoktur. Örnek olarak buhar sistemlerinde birçok malzeme kullanılabilmektedir. Ancak çağdaş endüstri makinelerinde verim artışı ve kesin ısı korunması asbest yalıtımı sayesinde gerçekleşmiştir.

Duraylılık

Birçok asbest türleri, yüzeysel koşullara ve çürümeye dirençlidir. Ancak krizotil lifleri, sürekli olarak nemli havada bırakıldığında kopma ve deniz suyu ile temas ettiğinde ayrışma gösterirler. Krizotil lifleri asit etkisine de duraysızdır. Asit ya da diğer çözeltilere batırıldığında lifsi yapı etkilenmemekle birlikte, parlak renkli bir saf silika artığı oluşmaktadır. Buna karşılık amfibol asbestler, kimyasal etkilere karşı daha dirençlidir ve deniz suyu, nemli hava ve gazlardan etkilenmezler.

Almanya'da 1927 yılında yürütülmeye başlanan testler, dört değişik deneyden oluşuyordu. Bunlardan ilkinde, çeşitli yerlerden alınan krizotil asbest, amozit ve Cape Mavisi krokidoliti, % 25'lik HCI içine oda sıcaklığında batırılmıştı. İkinci deneyde ise, sadece amozit ve Cape Mavisi kaynayan % 25 lik HCI çözeltisi içinde iki saatlik zaman aralıklarıyla bırakılmışlardı. Birinci testten elde edilen sonuçlar, grafik şeklinde Şekil 6'da, her iki testin karşılaştırılması ise sıra ile Çizelge 3 ve 4'de sunulmuştur.



Şekil 6. Oda sıcaklığında HCI muamelesinden sonra çeşitli asbest türlerinin karşılaştırmalı asit dayanımlılıkları (İrkeç, 1990).

Bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre, kuvvetli mineral asitlerine karşı serpantin tipi asbestler daha zayıf, Cape Mavisi krokidolit ise, amozitten bile daha kuvvetli direnç göstermektedir. Son iki deney, daha zayıf asit çözeltileri (asetik asit) ile yapılmış ve bütün lifler daha kuvvetli direnç göstermişlerdir. Asit ve kostik çözeltilerle alkalilerin korozif etkilerine karşı lif direnci da özellikle, filtrasyon ürünlerinde önemli bir faktördür.

Çizelge 3. Krizotil asbest türleri üzerinde oda sıcaklığında % 25 lik hidroklorik asitte ağırlık kaybı (İrkeç, 1990).

Süre (saat)	Bell C	King C	Bell E	Rodezya CG2	SSCB 4	Amosit Kısa lif	Cape Mavisi
1x24	25.2	26.3	28.8	10.3	15.6	5.9	3.4
4x24	50.5	50.8	52.7	25.7	26.0	8.8	4.1
7x24	55.0	55.5	56.7	40.4	46.6	9.6	4.4
10x24	56.0	57.0	57.5	50.0	54.0	10.0	5.0
13x24	-	-	-	56.3	58.0	10.8	5.5

Çizelge 4. Hornblend asbestin kaynayan hidroklorik asitte ağırlık kaybı (İrkeç, 1990).

Süre (saat)	Amosit uzun lif	Amosit kısa lif	Krosidolit Cape Mavisi
2	12.0	14.4	7.0
2x2	19.1	20.5	8.4
3x2	23.0	24.9	10.0
4x2	27.0	30.6	13.0
5x2	31.6	35.6	14.5
6x2	38.8	40.0	18.2
7x2	38.8	40.0	18.2
8x2	-	-	20.4

Lifsi yapılar

Asbest liflerinin yapıları, son birkaç sene içinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Tanımlama ve sınıflandırma için X-ışınları kırınımı verilerinden yararlanılmaktadır. Düşük açılı X-ışınları kırınımı teknikleri, krizotil liflerinin "hegzagonal sıkı dizilim" gösterdiklerini ve liflerin birbirine koşut uzandığını ortaya koymuştur.

Yıllarca, krizotil liflerinin kesin karakteri hakkında değişik görüşler ileri sürülmüştür. Liflerde görülen kıvrımlar, silika (Si_2O_5) ve brusit $Mg(OH)_2$ tabakalarının boyutlarının birbirine uymamasından ileri gelmektedir.

Gerilme dayanımı ile birlikte bulunması istenen bir özellik de elastikliktir. Lifler üzerindeki yük kaldırıldığında orijinal durumlarına dönmesi istenir. Kırılma meydana gelmeden eski hale dönebilme, ürün imalinde önemli bir konudur.

Lif boyu söz konusu olmaksızın, bütün asbestlerin karakteristik lifsi doğaları nedeniyle, hafif ve geniş yüzey alanına sahip olmaları sonucu minerali ayrıca dolgu maddesi ve bağlayıcı materyal olarak da değerli kılmaktadır. Kuvvetli, elastik lifler; katı, sıvı veya yarı sıvılar içinde kuvvetli ağlar oluşturmakta, onlara sağlamlık ve duraylılık kazandırmakta, aşınma, yırtılma ve dış etkilere maksimum direnci oluşturmaktadır.

Sonuç olarak asbestin ateşe ve asitlere karşı dayanıklı, darbelerden kolaylıkla etkilenmeyen ve iletkenlik özelliği olmayan doğal lifsi bir mineral topluluğu olduğu belirtilebilir.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Asbestin ana kayası genellikle bazik- ultrabazik (ofiyolitli) kayalardır. Yani asbestin kökeni ofiyolitlerin kökeni ile doğrudan ilişkilidir. Bu kayalar, arazide yeşil renkleri ile kolaylıkla tanınırlar (Şekil 7). Asbest yatakları, ofiyolitlerin geçirdiği yapısal değişimler sonucu oluşmaktadır. Ofiyolitik kayatürü içinde oluşan açılma kırıklarının ve buna bağlı olarak krizotil asbest damarlarının doğası, kırıkların yapısal durumuna ve fayın oluşum tipine bağlı olarak değişir.

Genel olarak üretime uygun asbest, az oranda serpantinleşmiş peridotitle (daha çok harzburgit), başkalaşım geçirmiş olan serpantinitler arasındaki geçiş kuşağında oluşur. Serpantinleşme işlemini tamamlanmış ultrabazik kayalarda büyük krizotil asbest oluşumu görülmemektedir. Lizarditleşme ve antigoritleşmenin geliştiği zonlarda üretime yönelik krizotil asbeste rastlanılmaktadır.



Şekil, 7. Asbestin ana kayası ofiyolitlerin arazideki görünümleri.

Krizotil asbest

Oluşum koşullarına göre krizotil asbest ikiye ayrılır; oluşumu ultrabazik kuşaklara (dünit ve peridotitler) bağlı olanlar ve dolomitleşmiş karbonatlara bağlı olanlar. İkinci tip küçük yataklar halinde

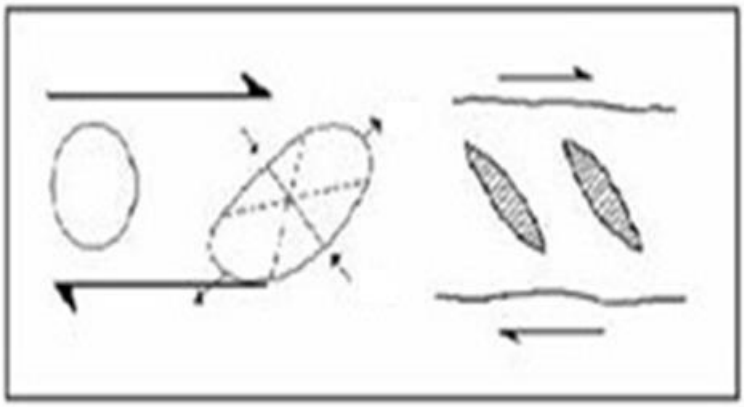
bulunur ve ekonomik açıdan önemli değildir. Dolayısıyla aşağıda ultrabazik kayalardaki asbest oluşumu irdelenecektir.

Endüstriyel çapta asbest içeren (en az birkaç yüz bin ton lif rezervi) yataklar ultrabazik kayalarda yer alır. Bunlar, belirli jeokimyasal ve petrografik özelliklerle belirlenirler. Magnezyum oksit, demir oksitten belirgin bir şekilde fazladır. Belirli koşullarda krizotil asbest, gabro-peridotit magmasının farklılaşmasından oluşur. Asbest oluşumunu sağlayan çözeltilerin etkin bir şekilde akışını sağlayan çatlaklar gelişir. Ayrıca serpantinleşme işleminin yenilenmesi ve sürekliliği gereklidir.

Genel olarak üretime uygun asbest, az oranda serpantinleşmiş peridotitle (daha çok harzburgit), başkalaşım geçirmiş olan serpantinitler arasındaki geçiş kuşağında oluşur. Serpantinleşme işlemi tamamlanmış ultrabazik kayalarda büyük krizotil asbest oluşumu görülmemektedir. Lizarditleşme ve antigoritleşmenin geliştiği zonlarda üretime yönelik krizotil asbeste rastlanılmaktadır.

Kaya içinde oluşan gerilim kırıklarının doğası ve buna bağlı olarak krizotil asbest damarlarının doğası, yapısal duruma ve fayın oluşum tipine bağlıdır. Genellikle üç ana kırık tipinin var olduğu belirlenmiştir:

Fayın bir tarafındaki ya da iki fay arasında meydana gelen kırıklar, fay düzlemi ile bir açı oluşturur ve minimum gerilim yönüne göre dikey olarak yer alır. Lifler, minimum gerilim yönüne koşut bir gelişme gösterir ve asbest yatakları fay boyunca kademeli bir şekilde gelişir. Bu tip yapısal modellerde deformasyon elipsoidinin makaslama düzeyine koşut gerilme biçimleri de meydana gelebilir (Şekil 8). Bu durum birden fazla krizotil damar setinin meydana gelmesiyle sonuçlanır ve karışık bir yapı gösteren filonlar görülür. Swaziland'daki Havelock ve Rodezya'daki Shabani ocaklarındaki en büyük asbest yatakları bu şekilde bir gelişim göstermektedir. Yine araştırmacı tarafından, Türkiye'de Orhaneli yöresindeki Fatma Tepe'de bulunan yataklar da olasılıkla bu tiptedir.

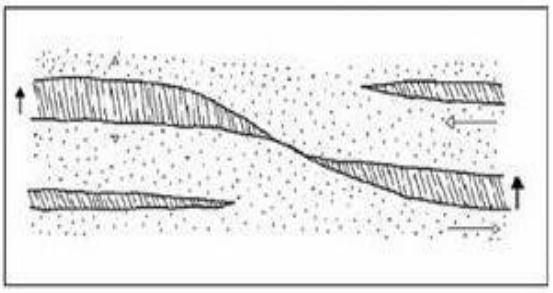


Şekil 8. Faylanma ve lif oluşumu arasındaki ilişkiler (İrkeç, 1990).

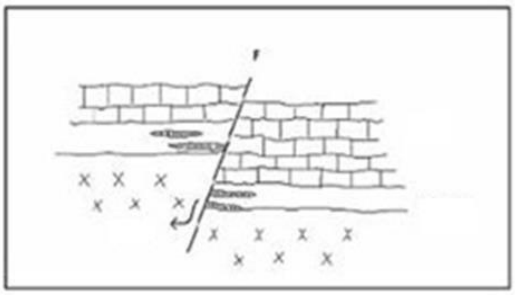
Faylanma ile birlikte ikinci kırık tipi, fay düzlemindeki düzensizlikler sonucunda fay düzlemine koşut bir gelişme gösteren kırıklardır (Şekil 9). Fay düzlemi düz bir yüzey olmadığı zaman, kayalar birbirinden uzaklaşmak eğilimi gösterecek ve gerilim koşulları fay düzlemi ile dik bir açı meydana getirecektir. Bu nedenle krizotil asbest, fay düzleminde veya faya paralel kırıklar içinde gelişebilir. Fay düzleminde oluşan lifler de asbest damarına koşut devinime maruz kalacaklardır. Lifler ise kırığın kenarı ile açı oluşturacak bir şekilde uzanacaklardır. Bu, olağanüstü koşullarda geçme lifleri (slip-fibre) meydana gelebilir.

Faylarla birlikte bulunan üçüncü kırık tipi, faylanma sonrası, değişik yapılardaki kayaların dokanakları boyunca gelişenler kırıklardır (Şekil 10). Bu kırıkların gerçekten ne şekilde oluştukları bilinmemekle beraber, liflerin sık sık bu şekilde geliştiği belirlenmiştir. Olasılıkla en iyi örnekler, serpantinize dolomit içinde olanlardır. Dolomit içinde sokulum yapan diyabaz silleri, dolomitin dokanağı boyunca serpantinileşmeye neden olmuşlardır. Ancak krizotil asbest sadece devam eden fay ya da

daykların bu dokanağı kestikleri yerlerde bulunmaktadır. Erzincan-İliç yakınlarında bulunan Sarıkonak'taki krizotil asbest yatakları, bu şekilde meydana gelmiş olabilir.

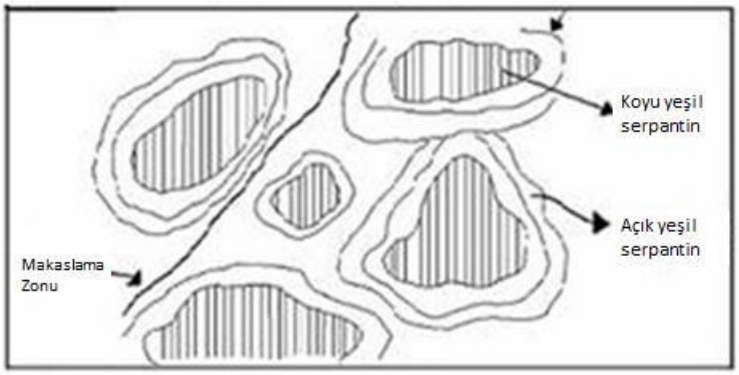


Şekil 9. Düzensiz fay sistemindeki oluşan lifler (İrkeç, 1990).



Şekil 10. Fay düzlemi boyunca oluşan birbirine parelel lifler (İrkeç, 1990).

Ancak lifin doğası ile yapısal model arasında kolayca bir ilginin kurulmadığı oluşumlar da mevcuttur. Bunlara bir örnek, Güney Afrika'daki Stolzburg ocağındaki cevherleşmedir. Burada lifler, serpantinit bloklarını çevreleyen konsantrik yapılar içinde yer almaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Serpantinit blokları çevresinde oluşan liflerin konumu (İrkeç, 1990).

Bazı kayma zonlarının konumu ile liflerin yöneliminin açıklanması zordur. Sivas-Baypınarı sahasındaki Şabanözü ve Ateşali gibi diyabaz blokları etrafındaki lif oluşumları da aynı şekilde sorunludur.

Fay oluşumu ile ilgili olmayan diğer bir gerilim türü, soğuma sonucunda magmatik bir kütlenin büzülmesi veya serpantinleşmesi sırasında ultrabazik bir kayanın genleşmesi gibi hacim değişiklerinden ötürü meydana gelen gerilimlerdir. İkinci halde, gerilim kırıkları, serpantinleşmiş kaya içindeki serpantinleşmemiş inklüzyonlar dolayında meydana gelebilirler.

Serpantinleşme ve krizotil oluşumunun bağıl yaşı: Asbest konusu ile ilgilenen araştırmacıların büyük bir bölümü, serpantinleşme ile lif oluşumu arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Ancak arada kökensel ilişki yeterince anlaşılmamıştır. Bazı çalışanlara göre (İrkeç, 1990 ve içindeki kaynaklar) serpantinit, krizotilden önce oluşmuş olmalıdır ve serpantinitin ne zaman oluştuğu konusu ise önemli değildir. Serpantin, liften çok daha yaşlı olabilir, ya da çok kısa bir süre önce oluşmuş olabilir; ya da gerçekte eşzamanlı olabilir. Hatay bölgesinde ve Orhaneli'nde bulunan bazı yataklar, kayanın kırılmasına ve ultrabazik kayaların serpantinleşmesi için çözeltilerin kırıklara girmesine neden olan süreçlerin krizotil asbest oluşum nedeni de olduğunu düşündürmektedir.

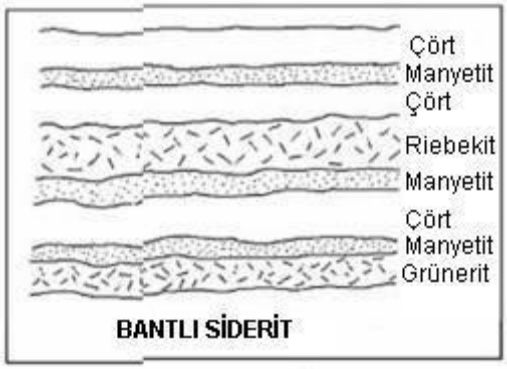
Krizotil asbest oluşumu için koşullar: Yukarıda anlatılanlardan krizotil oluşumu için gerekli koşulların birincisi olarak serpantinitin, ikinci olarak da elverişli gerilim koşullarının varlığı zorunludur. Bununla birlikte gerekli olan bir üçüncü koşul daha vardır. Serpantinitin krizotil haline yeniden kristallenmesine yardımcı bir sıvı için evvelce magmatik bir kaynak öne sürülmekte idi. Bununla birlikte, krizotilin oluştuğu derinliklerde bu tip çözeltilerin normal olarak mevcut olmaları gerekir.

Yine de magmatik intruzyondan gelen ısı ve uçucuların lif oluşumunu kolaylaştırması mümkündür. Bowen ve Tuttle tarafından yapılan deneylerden krizotilin brusit varlığında 450 ºC ile 500 ºC ye kadar sabit kaldığı bilinmektedir. Bu ısının üstünde krizotil talk haline gelmektedir. Bu nedenle ısı 450 ºC yi aşmadıkça, krizotil magmatik bir dokanakta olasılıkla daha çabuk bir oluşum gösterecektir. Ancak bu durumu mutlaka gerekli olarak kabul etmemektedir.

Amfibol grubu asbestler

Bu gruba dâhil olan iki mineral, krokidolit ve amosit-krokidolit daha önce Avustralya'da çıkarılmış olmasına karşın, bugün ekonomik boyutlarda sadece Güney Afrika'da üretilmektedir.

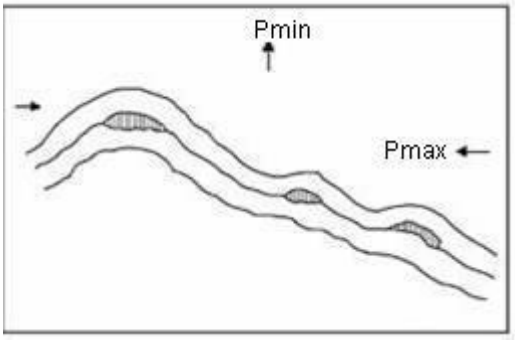
Ana kaya: Yukarıda belirtilen iki mineralin bulunduğu kayatürüne bantlı siderit ya da takonit adı verilir (Şekil 12). Burada ana kaya, oksitlenme bölgesinin altında ardalanan kriptokristalin kuvars ve manyetit katmanlarından meydana gelmiş çökel bir kayadır. Bazı kısımlarında çok ince kristalli ve değişmemiş ribekit ve grünerit ve bazen de stilpnomelan bulunur.



Şekil 12. Bantlı sideritlerin yapısı (İrkeç, 1990).

Yüzeye yakın yerlerde manyetit ve silikatlar genellikle hematit ve limonite dönüşmüşlerdir. Ribekit (sodyum bakımından zengin) ve grünerit (magnezyum bakımından zengin) katmanları çökel istifin büyük bir kısmını meydana getirir ve çökel katmandaki volkanik etkinin bir sonucudur. Mineraller diyajenez sırasında oluşmuşlardır. Çünkü metamorfizma gösteren bir işaret görülmemektedir. Sabit bir konumları vardır ve tek tek katmanlar yirmi kilometre kadar devam etmektedir.

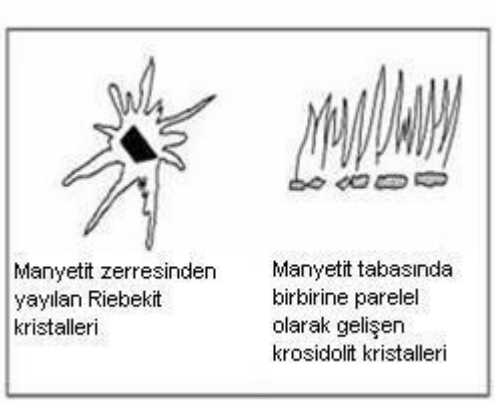
Asbest yatakları: İnce kristalli ribekit ve grünerit (lif kütlesi), katmanların oluşumlarına koşut olarak ve katman yüzeylerine dik açı yapacak şekilde yerleşmiş liflerle beraber, krokidolit veya amosit birleşerek tekrar kristallenmişlerdir. Kuzey Cape bölgesinde sodyum bakımından zengin katmanlarda sadece krosidolit oluşmuştur. Transvaal'de ise hem sodyum hem de magnezyum bakımından zengin katmanlarda en iyi liflerin katmanların büklüm yapan yerlerinde oluştuğu saptanmıştır (Şekil 13).
Ribekit ve grünerit lif kütleleri de doğrudan doğruya asbeste dönüşebilirler.



Şekil 13. Katmanlanmayla ilgili lif oluşumu (İrkeç, 1990).

Katmanlanma yerlerinin her zaman belli olmaması nedeniyle asbest hakkında diğer oluşum kuramları da ortaya atılmıştır. Cilliers ve Genis (1964), liflerin manyetit katmanlar üzerindeki özümseme sonucunda geliştiğini ileri sürmüşlerdir. Manyetit taneciklerinin üzerinde de parlak ribekit kristalleri olduğu saptanmıştır (Şekil 14).

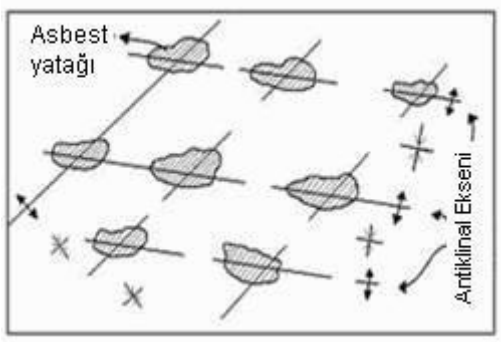
Buna göre bir manyetit katmanının varlığı durumunda diğerlerinin de ona koşut olarak bulunacağını söylemişlerdir. Birçok krokidolit ve amositlerin manyetit katmanlarında bulundukları doğru olmakla beraber bu kuramı, manyetitin yanındaki lif kütlesinin neden tekrar kristalleştiğini açıklamamaktadır. Kuram, aynı zamanda, manyetitin neden bazı yerlerde bulunup diğer yerlerde bulunmadığını da açıklamamaktadır.



Şekil 14. Manyetit taneleri üzerindeki Ribekit kristalleri (İrkeç,1990)

Cape Asbestos Co.'dan C.J.B. Dreyer tarafından ayrıntılı bir yapısal araştırma yapılmış ve asbestin iki katlanma dönemi olduğu, en iyi liflerin iki antiklinalin kesişme noktasında bulunduğu saptanmıştır (Şekil 15).

Aynı zamanda eğimdeki ufak farkların çok önemli olabileceği ve 5-6 derecelik bir eğim farkının bir yatak oluşturmak için yeterli olduğu meydana çıkmıştır. Esasen en iyi yataklar dikey katlarda değil, geniş ve yatay katlarda oluşmuştur. Bu kurama dayanan sondajların sonucu çok cesaret verici olmuş ve amfibol asbest yataklarının katlanma sırasındaki gerilim koşulları sonucunda ortaya çıktığı kesinleşmiştir.



Şekil 15. İki antiklinalin kesiştiği yerde gelişmiş asbest yatakları (İrkeç,1990).

Asbestin kökeni ve tektonizma

Günümüzde ofiyolitlerin, genellikle okyanus kabuğunun allokton dilimleri olduğu ve kıta kenarlarına yerleştikleri kabul edilmektedir. Ofiyolitlerin ikincil konumlarına gelip yerleşmeleri sırasında yoğun ve yinelemeli tektonik deformasyon, özellikle harzburgit içinde yerel olarak krizotil asbest damarları oluşumuna neden olmaktadır. Asbest oluşumu ise aşağıdaki sırayı izlemektedir:

1- Ultramafik kayaların katılaşması sırasında veya hemen sonra özellikle deniz suyunun etkisiyle yoğun serpantinleşme oluşur. Bunun sonucunda ortopiroksenler, lizardit-bastit

psöydomorflarına ve olivinler lizardit + brusit ve lizardit + γ- serpantine dönüşürler. Bu olay, ultramafitlerin hacminde artışa yol açar.

2- Hacim artışı ve tektonik sıkışma sonucu oluşan kuvvetler, serpantinleşmiş ultramafitlerin şekillerinde değişiklik meydana getirir. Sonuçta doğrultu atımlı faylar, yırtılmalar, küçük damarlarda ve tansiyon çatlaklarında krizotil asbest oluşur. Tüm yapılar sıkışma yönüne koşut ve yataydır.

3- Sıkışma durduktan sonra ultramafik kayalarda gerilme kuvvetleri açığa çıkar ve sonuçta çekim fayları, eklemler, breşleşme ve serpantinleşmenin ikinci evresinde krizotil + brusit veya antigorit + brusit oluşumu uzun damarlar veya kısa gerilme çatlakları boyunca gerçekleşir. Bunlar genişleme eksenlerine dik açıda bulunmaktadır. Yüksek silisli kayalarda kuvars damarları da aynı şekilde gelişmektedir.

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Asbest arama yöntemleri, ocak işletmesi, asbest ürünlerinin sınıflandırılması gibi hususlar ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Söz konusu ayrıntıların bir bölümü aşağıda sunulmuştur (Yılmaz, 2009a).

Arama yöntemleri

Arama çalışmalarında **Jeolojik çalışmalar** ve **Jeofizik yöntemler** birlikte uygulanmalıdır. Asbest aramalarının ilk evresinde, arazide, ofiyolitlerin (ultrabazik kayaların) yaygın olduğu kuşaklarda jeolojik çalışmaların yanı sıra ultrabazik kayalar içeren sahalardaki yüzeylemeler, hem havadan hem de yerden manyetik prospeksiyonla incelenmelidir. Yer manyetik incelemeleri, havadan prospeksiyonla elde edilen anomalilerin, sahada yapılan doğrudan gözlemlerle birlikte daha ayrıntılı ele alınması gerekmektedir.

Havadan yapılan incelemelerde uçuş çizgileri ¼ mil aralıklı, uçuş yüksekliği 500 ft'e mümkün olduğu kadar yakın seçilir. Çok engebeli yerlerde 300 ft sabit yükseklikte uçabilecek helikopterler kullanılır. Yer manyetik incelemelerde profiller arası mesafe 200-300 ft alınır ve okumalar 50-100 ft aralıklı yapılır.

Manyetik incelemeler, ultrabazik kayaların yerini ve yayılımını saptamak ve bunlar içinde yoğun serpantinleşme alanlarını belirlemek amacıyla yürütülür. Ultrabazik kayalardaki asbest yatakları, yoğun serpantinleşme sonucu oluşmuşlardır. Bu nedenle asbest yatakları asbestsiz serpantine oranla daha yüksek manyetit içerir. Yani, manyetik anomali veren bir ultrabazik kaya, asbest aramaları için uygun olabilir. Geçmişte kullanılan ağır jeofizik cihazların yerine bugün çok hassas sonuç veren hafif manyetometreler kullanılmaktadır.

Ülkemizde, özellikle Sivas-Celalli-Gürlevik dağı yöresinde asbeste dair kapsamlı çalışmalar yapılmıştır (Atilla, 1980).

Elmaslı Sondaj: Örtü katmanı altındaki asbest yatağına ulaşmak ve sınırlarını belirlemek için uygulanır. Asbest cevheri kütleleri genellikle hacimsel olarak büyük olduklarından, karelaj ile saptanmış dik sondajlar yapılır. Aramanın başlangıç evresinde 400 ft aralıklı sondajlar; asbest içeren zon bulunduğunda ise 100 ft aralığa kadar düşebilen sondajlar yapılır. Yatağın tek yönlü uzanımı durumunda, doğrultu boyunca birbirine yakın sondajlarla denetlenmesi uygundur. Dar, düzlemsel yataklar ise, yayılım ve gerçek kalınlığın saptanması amacıyla eğik sondajlarla ayrıca denetlenir.

Geçmişte, sondajlı değerlendirme programlarında, makaslama etkilerinin minimum olduğu yataklarda ve sondaj sıklığının 300 ft'i aşmadığı durumlarda genellikle AX (19/32 inç) ya da EX (15/16 inç) gibi küçük çaplı sondaj karotiyerler kullanılırdı. Ancak deneyimler, NX (21/8 inç) veya BX (15/8 inç) gibi büyük karot çapları, daha derine inebilme, daha fazla jeolojik veri, lif ölçümü ve karotun öğütülmesi açılarından daha yararlı olduğunu göstermektedir. Sondajın uygun olmadığı durumlarda, cevhere ulaşabilmek için yarma, kuyu ve yatay galeriler açmak gerekir.

Üretim teknolojisi: Dünya asbest madenciliğinde genellikle açık işletme yöntemleri tercih edilmektedir. Açık ve kapalı işletmelerin bir karışımı denebilecek yeni bir işletme yöntemi (block caving)

Kanada'lılar tarafından geliştirilmiştir. Ancak çok büyük yataklarda uygulanan bu yöntemde patlatılan cevher kuyu ve galerilerden çekilerek cevher zenginleştirme tesislerine aktarılmaktadır. Cevherin çıkarılması sırasında asbest liflerinin korunması için patlatma işleminin asgaride tutulması, mümkünse bundan kaçınılması gereklidir. Bu yüzden küçük işletmelerde damarlara galerilerle ulaşılmasına önem verilmektedir. Bilhassa çok uzun lifli cevherlerde liflerin korunması için bu yöntemin uygulanması zorunluluktur.

Krizotil asbestin zenginleştirilmesinde hem yaş hem kuru yöntemler uygulanmakla beraber, bugün artık işçi sağlığına uygun yaş yöntemler kullanılmaktadır. Çeşitli kırıcı, değirmen, elek ve siklon devrelerinden geçen lifler boylarına göre sınıflandırılmaktadır.

Büyük asbest yataklarında, serpantin kütlesinin sadece % 3-4 oranında lif içermesi nedeni ile asbest madenciliği en fazla atık veren işletmelere sahiptir. Bu işletmeler çok uzaklardan görünen büyük atık yığınları ile tanınırlar. Liflerle karışık bu toz yığınları ilkel işletmelerde yıllarca yakın çevrelerine sorunlar yaratmıştır.

Kanada'daki Black Lake ocağı halen dünyanın en büyük açık işletmesi olup 2 km eninde, 2 km boyunda ve 350 m derinliktedir. Bell Mine işletmesinde ise kapalı yeraltı madenciliği yapılmakta, 1,3 milyon ton tüvenan cevherden yılda 100.000 ton lif üretilmektedir.

Rusya'da üretim teknolojisi kırma, öğütme, kurutma, eleme ve lif ayırma işlemlerini içerir. Sulu yöntemlerle bazı özel asbest çeşitlerini üretmek için kullanılmaktadır.

İşletmecilik

Ocak işletmeciliği: Kanada'da asbest madenciliğinin gelişmesi, maden işletme ve ekipmanında da gelişmelere yol açmıştır. Basit olarak, elle ayırma yöntemleri açık işletmelerde kullanılmıştır. İşletmelerin derinleşmeye başlamasıyla havai hatla işletmeye geçilmiştir. Günümüzde ise, diğer yöntemlerin yerine yükleyicilerle ağır taşıma kapasiteli maden kamyonlarına yükleme ve diğer ulaştırma ekipmanı kullanılmaya başlanmıştır. Geçmişte kullanılan yeraltı işletme yöntemleri ise, şaft inme, göçertme, oda-topuk ve blok göçertme yöntemleridir.

Genelde, yüzey madenciliğinin üretim, kalite kontrolü, ekonomi ve güvenlik bakımlarından daha avantajlı olduğu kabul edilmektedir. Bu eğilimin doğmasına başlıca neden, teknolojik gelişmelere bağlı olarak madencilik ekipmanlarında görülen büyük gelişmelerdir. Şovel (yükleyici) boyutları $2^{1/2}$ den 15 yarda küpe, kamyon boyutları 25 den 200 tona yükselmiş, sondaj makineleri de çok gelişmiştir. Yeni patlatma ekipman ve teknikleri de bunlara eklenebilir. Bu gelişmeler, pasa/cevher oranını 3/1 ve daha fazlaya yükseltmiş, böylece açık işletmelerin ekonomik ömrü uzamıştır.

Cevher hazırlama: Değirmen akış şemaları, cevher kütlesinin özelliklerine göre saptanır. Ana evreler genellikle aynıdır. Ham lifler kuru işlemlerle kazanılmaktadır. Bu yöntem Kanada'da asbest madenciliğinin başladığı yaklaşık 100 yıl öncesinden bu yana uygulanmaktadır. Ancak bazı özel durumlarda, lifin bir bölümü yaş yöntemle kazanılabilir. Bu yöntemin ilerde gelişmesi beklenmektedir.

Son otuz yıldaki en büyük gelişme, malzeme hazırlama, paketleme ve yüklemedeki gelişmelerdir. Gelişmiş yöntemler hem üretici ve hem de tüketiciyi depolama, nakliye ve lif kullanımı aşamalarında asbestsiz ortamda çalışma olanağına kavuşturulmuştur.

Ürün testleri ve spesifikasyonlar: Kanada hükümeti tarafından geçerli kabul edilen tek test, Quebec Asbestos Mining Association sınıflaması olup bu, **Quebec Standart (QS) testi** olarak bilinmektedir. Bu test Quebec Standart Testing aleti ile yapılmaktadır. Alet, üç elek kutusundan oluşmaktadır. Bunlar ½ inç eleği 4 meş ve 10 meş elekleri ile en alttaki kutudur. Test, 16 oz'luk örnek ile başlatılmakta ve dakikada 328 devir ile 600 devir olarak mekanik sallantı uygulanmaktadır. Quebec, Asbestos Mining Association, her elekte kalan lif miktarının minimum ve maksimum limitleri göz önüne alınarak çeşitli lif gruplarının spesifikasyonlarını saptamıştır. Bu test, üretim denetimi ve satılacak lif gruplarının özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır.

Quebec Standart Testinin diğer bir uygulaması, daha ileri evrede değerlendirme için Ro-Tap testi yapılmasıdır ve bunun lif dağılımlarını daha iyi yansıtacağına inanılmaktadır. **Ro-Tap** testi birçok asbest üreticisi tarafından Quebec test aleti ile eldesi mümkün olmayan lif dağılımını elde etmek için kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak kabul edilmiş standart bir test değildir ve eleklerin boyutları ve açıklıkları değişebilir. Test süresi ve kullanılan örnek miktarı da sabit değildir.

Birçok durumda, bir ayak küp veya bunun kesiri oranında örnek, lif yoğunluğu saptanması için kullanılır. Kutu doldurulup tartılır ve değerler her foot küp için pound cinsinden ifade edilir. Birçok tüketici, yoğunluk ölçümlerini liflerin bir özel üründe kullanımı için kılavuz varsaymaktadır.

Son yıllarda yaş sınıflama ve eleme, giderek artan oranda kullanılmaktadır. NcNett veya Clark yaş test makinesi gibi ekipman, kullanıcıya daha sıkı lif boyu, lifsiz fraksiyon ve toz içeriği denetimi olanağı vermektedir. Tüketicinin özel isteği üzerine birçok testler uygulanabilir. Böylece tüketici kendi ürünü için lif değerlendirmesinde en uygun yöntemi saptayabilir.

Lif üreticisi diğer ülkeler; Rodezya Avustralya, Cape ve Transvaal, Güney Afrika, liflerin gruplaması ve sınıflaması için kendi test yöntemlerini geliştirmiş olmakla birlikte, Quebec test aletini de kullanmaktadırlar.

KULLANIM ALANLARI

Krizotil asbestin kullanım alanları

Türkiye'de de kullanılmakta olan Kanada krizotil asbest sınıflamasında yer alan grupların kullanım alanları aşağıda sunulmuştur (DPT, 2000):

Grup 1-3

Bu grupta yer alan asbest, öncelikle tekstil ve çeşitli türde asbestli dokumalarda kullanılır. Ayrıca, aşağıdaki kullanım alanları için bu gruptaki asbestler önerilir:

Özel konveyör ve transmisyon bantları, yangın mücadelesinde koruyucu battaniyeler, ısı kazanları donanımı, özel ambalaj malzemeleri, fren balataları, dokumalar, debriyaj balataları, elektrolitik hücreler için diyaframlar, kurutucuların aksamları, elektrik yalıtım bantları, contalar, tabakalı plastikler, elektrik kablo sargıları, halat ve halat sargıları, tiyatro perdeleri ve dekoratif amaçlı perdeler, termal yalıtım bantları, türbin sargıları ve yalıtım gerektiren diğer kullanımlar.

Düşük kaliteli asbest tekstil lifleri, dokuma uygulamalarının yanı sıra fren gereçlerinde, sıkıştırılmış levha yapımında, contalarda, yüksek basınç dayanımı olan asbestli çimentodan yapılı borularda, yüksek yalıtım dökmelerinde, özel kaplama malzemelerinde (dokunmamış, sıkıştırılmış türü), kalsiyum silikat yalıtımında da kullanılırlar.

Grup 4, 5 ve 6

Bu grupta yer alan orta uzunluktaki lifler, aşağıdaki türler asbestli çimento ürünlerin yapımında kullanılırlar. Elle şekillendirilmiş ürünler, borular (düşük ve yüksek basınç boruları, hava boruları gibi), levhalar (düz ve ondüleli), çatı ve duvar kaplamaları, paneller (yapı, elektrik yalıtım panelleri). Asbestli çimento ürünlerindeki uygulamaları dışında bu lifler ayrıca şu ürünlerde de kullanılır:

Akustik fayanslar, hava hücreleri boru kaplamaları, conta, garaj, elektrik şalter kutuları ve fırınları; kaplama kâğıdı ve kablo-ısı boruları sargıları gibi asbestli kâğıt üretimi; fren gereçleri, kalsiyum silikat yalıtımı, sıkıştırılmış levhalar (mafsal ve contalar), elektrik yalıtım bileşikleri (% 85 magnezya yalıtımı), genel sürtünme malzemeleri (debriyajlar ve otomatik transmisyon bantları), mukavvalar, plastik döküm bileşikleri refrakter ısı yalıtım malzemeleri, özel levhamsı ürünler (lateks gibi), püskürtülebilen yalıtıcılar.

Grup 7 ve 8

Bu grupta yer alan asbestler (kısa lifler), lifsi mineral dolgusu ve kuvvetlendirici olarak çok geniş kullanım alanı bulurlar. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur:

Bağlayıcı malzemeler, asfalt kaplama bileşikleri, asbestli çatı malzemeleri, kaynatıcıların (ısı kazanlarının) kaplamaları, fren balataları (döküm tipi), pis su boruları, sondaj çamuru ve sıvıları, taban döşeme bileşiklerinin üretiminde, yer karoları, genel amaçlı sürtünmeye dirençli malzemeler, gres yağı (lif dolgulu), sıcak ve soğuk şekillendirilmiş malzeme, bağlayıcı çimento, boya dolgusu, kâğıt dolgusu, boru yalıtım sargıları, plastik dolgusu kuvvetlendirilmiş plastikler, beton bileşimleri, termo-plastik bileşikleri, ses yalıtım malzemesi, kaynak elektrotları, su yalıtımı malzemeleri.

Amfibol grubu asbestlerin kullanım alanları

Amozit ve krozidolit liflerinin ana kullanım alanlarını inşaat malzemeleri, ateşe dayanıklı ve termal yalıtım malzemeleri oluşturur. Aşağıda sunulan diğer kullanımları arasında kuvvetlendirilmiş plastikler, kuvvetlendirilmiş bitümlü bileşikler, ambalaj malzemeleri, bağlayıcılar ve tekstil ürünleri sayılabilir.

Amozit yalıtımı:

Bu tür yalıtım, % 60-85 oranında amozitin diyatomitik killer gibi aktif olmayan dolgu maddeleriyle sodyum silikat türü inert bağlayıcılarla bağlanmasından elde edilir. Üretim işlemi yarı kuru olup düşük yoğunlukta ürün eldesi için, tamamen liflerine ayrılmış amozitin yüksek kuru yığın hacmine dayanmaktadır.

Kalsiyum silikat yalıtımı:

Otoklavda hazırlanmış kalsiyum silikatlı yalıtım malzemeleri, % 10-15 amozit içerir. Bu uygulamada amozitin rolü, kuvvetlendirici lif özelliği ve aynı zamanda yalıtım ve ısıya dayanım özellikleridir. Bu ürünler, kireç, silika ve amozit içeren bir çamurun vakum ve basınç uygulanarak şekillendirilmesi ile elde edilir. Bu koşullarda amozitin ani su atabilme özelliği, döküm ekipmanında yüksek verim elde edilmesinde önemli faktördür.

Asbestli çimento ürünleri:

Asbestli çimento ürünleri esas olarak, binaları dış cephelerinde kullanılan yanmaz, atmosfer etkilerine dayanıklı malzemelerdir. Tipik olarak asbestli çimentodan yapılı levhalar, 1.55-1.65 g/cm³ yoğunluklar arasında 160-200 kg/cm² yırtılma modülüne sahiptir.

Bu ürünler % 12.5 oranında, daha çok krizotil türü asbest içerirler. Amozit, asbestli çimento ürünlerinde toplam asbest içeriğinin % 10-30 unu teşkil eder ve bir dizi avantajlar sağlar.

Asbestli çimentodan yapılı basınç boruları:

Asbestli çimentodan üretilmiş basınç boruları, 47 atmosfer hidrolik test basıncına ve bunun yarı değeri kadar kullanım basıncına dayanıklıdır. Bunlar normal olarak % 15-20 asbest lifi içerirler. Basınç borularının yüksek hidrolik standartları, yüksek gerilme dayanımı ve çember yönünde yüksek derecede lif yönlenmesini gerektirmektedir.

Yalıtıcı ve ateşe dayanıklı levhalar:

Yalıtıcı levhalar, termal yalıtım ürünleri ile asbestli çimento levhaları arasında yer alır. Bunlar, ateşe dayanıklı, yanmaz, ısı ve ses yalıtımı sağlayan malzemeler olup bina ve gemilerin iç döşemelerinde kullanılırlar. Bu tür levhalar, bir kalsiyum silikat matriksi içinde % 40 amosit içerir. Kalsiyum silikat, kireç ve silikanın doğrudan birleşiminden elde edilir.

Spreyli yalıtım:

Spreyli yalıtım, düzgün olmayan ya da erişilemeyen yüzeylerin yalıtıcı bir tabakayla kaplanmasıdır. Yatay yüzeylerin kaplanmasında da aynı başarıyla uygulanabilir. Hem termal hem de akustik yalıtım özelliğine sahip olup normal olarak % 60'ı aşan oranda asbest içeriği bulunmaktadır. Sprey yalıtımı, ıslak bir asbestli çimento karışımından ibaret olup yerinde hazırlanır ve uygulaması tabanca ile yapılır.

Bitümlü bileşikler:

Bu uygulama alanına, motorlu araçları akü kutuları, su boruları ve lifli borular girmektedir. Üretim işlemi, sıcak, eritilmiş bitüm içine asbest lifleri katılması şeklindedir.

Refrakter tuğlalar:

Bu tuğlaların ana refrakter ve yalıtım bileşeni silis kumu olup, bu bileşim kuvvetlendirici amosit lifleri ve organik reçine ile bağlanır. Bu tuğlalar yaş hammadde karışımından vakumda yapılır ve düzgün karışımın muhafazası ve vakum oluşumunda akaçlama zamanının en aza indirilmesi için amosit gereklidir. Amosit, nihai ürüne dayanıklılık kazandırır ve işlenmesini kolaylaştırır. Nihayet kullanım safhasında, 1500 ºC'a yakın sıcaklıklarda amosit lifi yanmış tuğlanın bütünlüğünü korumakta olup, yüksek sıcaklık bağlayıcısı rolü oynar.

Kuvvetlendirilmiş plastikler:

Amosit ve krokidolit karışımı, kuvvetlendirilmiş (takviyeli) plastiklere cam yünü veya krizotilden daha üstün özellikler kazandırır. Amosit ve krokidolitin bu son iki madde yerine kullanılması gerekmez. Bunlarla karışım halinde kullanılabilir. Amosit ve krosidolit bütün iyi bilinen reçinelerle (örneğin; polyester, epoksit, fenolik ve polihidrokarbon) rekabet edebilir ve cam lifi reçinelere göre daha fazla direnç ve sertlik kazandırır.

Katalizör destekleyiciler:

Gaz hidrokarbonların da dahil olduğu düşük sıcaklıkta katalitik tepkimeleri, maksimum dönüşüm etkinliği için yüksek alanlı katalizör gerektirir. Bu uygulama için iyi seçilmiş uzun lifli amosit önerilir.

Asbestli dokumalar:

Uzun lifli krokidolit uzun yıllardan beri iplik ve dokuma yapımında kullanılmaktadır. Uygun yöntemlerle işlendiğinde dokuma ve eğirme mümkün olmaktadır.

Ürünler ısıya, kimyasal işlemlere ve buharlara dirençli olup yanmama özelliğine sahiptir. Kimya endüstrisinde gaz filtresi olarak da kullanılmaktadır.

Diğer uygulamalar:

Amfibol asbestlerin diğer bazı uygulama alanları şunlardır:

1- Amosit mukavva levhalar;
2- Ambalaj malzemeleri;
3- Elektrolitik hücrelerin diyaframları için mavi asbest; 4- Kimyasal etkilere dayanıklı filtreler.

Birçok ürün yapımında asbestin başarılı kullanımı, sadece lif kalitesine değil, liflilik derecesine de bağlı olmaktadır. Bu açıdan, hammaddenin işlenmesi ve değirmenler çok önem taşımakta, liflerin uzunluk ve dayanımları zedelenmeden açılmalarının sağlanması gerekmektedir. Daha önceleri değirmen artığı olarak kabul edilen en kısa lifler, lif tozları ve hatta serpantin partikülleri, eğer bileşim ve özellikleri üreticilerin gereksinimlerini karşılarsa, endüstriyel kullanım alanı bulabilmektedir.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Asbestin çevre sorunları jeojenik (doğal) olabileceği gibi insani faaliyetlerin sonucu olarak da ortaya çıkabilir. Dolayısıyla, asbeste yönelik çevre sorunları üç kategoride irdelenebilir:

1- Arama, planlama ve hazırlık evresi
2- Ocak işletmesi ve cevher hazırlama evresi
3- Kullanım evresi

Arama, planlama ve hazırlık evresi

Asbestin **jeojenik kökenli** doğal özelliklerinden ileri gelen çevresel etkileri nedeniyle ortaya çıkan riskler söz konusudur. Medyada da sıkça rastlandığı gibi ülkemizde bazı köylerin risk altında olduğu belirtilmektedir (Bayram ve diğerleri, 2013; Döngel ve diğerleri, 2013). Günümüzde, en azından 379 köyün jeojenik kökenli asbeste yönelik risk altında olduğu bildirilmektedir. Şekil 16'da görüldüğü gibi bir köy, asbest içeren ultrabazik kayatürü topluluğu üzerinde yer almaktadır. Bu gibi durumlarda köyün başka alanlara taşınması dışında bir çözüm görülmemektedir.



Şekil 16. Jeo-jenik bir örnek: Ultrabazik kayalarla iç içe bir köy https://www.yenisafak.com/hayat/379-koyde-asbest-tespit-edildi-2057611 (07 Şubat 2019, saat 15.00).

Arama, planlama ve hazırlık evresinde **Jeolojik çalışmalar ve Jeofizik yöntemler** (Havadan ve yerden manyetik prospeksiyon) asbest aramalarının ilk evrelerinde uygulanır. Manyetik incelemelerle, ultrabazik kayaların yeri ve yayılımı saptanır ve yoğun serpantinleşmenin olduğu alanlar belirlenir. Asbest yatakları belirlendikten sonra, cevhere ulaşmak üzere yolların açılması ya da rezervleri belirlemek için galerilerin açılması gerekebilir. Bu aşamada çevresel etkilerden korunmak için çeşitli maskeler kullanmak gerekmektedir.

Ocak işletmesi ve cevher hazırlama evresi

Ocak işletmeciliği, Açık işletme ve yeraltı işletmeleri şeklinde olur. Örneğin, şaft inme, göçertme, oda-topuk ve blok göçertme gibi yöntemlere gereksinim olur. Şekil 17'de açık bir işletmenin görünümü sunulmuştur. Böylesi bir ortamda, asbeste maruz kalmamak mümkün değildir. Bu konuda lisanslı uzmanların ve lisanslı diğer çalışanların devreye girmesi zorunludur.



Şekil 17. Bir asbest ocağı ve yük taşıyan damperli kamyon (https://tr.depositphotos.com/73367853/stock-photo-in-the-asbestos-quarry.html 07 Şubat 2019, saat 13.15).

Cevher hazırlama ise cevher kütlesinin özelliklerine göre saptanır. **Ürün testleri ve spesifikasyonlarda,** Kanada hükümeti tarafından geçerli kabul edilen tek test, **Quebec Standart (QS) testi** olarak bilinmektedir. **Ro-Tap** testi birçok asbest üreticisi tarafından lif dağılımını elde etmek için kullanılmaktadır.

Asbest madenciliğinin çevre açısından yarattığı en büyük sorun; asbest minerallerinin, madenden çıkarılan kütleye oranla, bulunma yüzdelerinin az olmaları sonucunda, işletme sahasının etrafında **çok uzak mesafelerden bile görülebilen atık toprak ya da hafriyat yığınlarının oluşmasıdır**. **Görüntü kirliliği** yaratan bu sorunun çözüm yollarının başında, atıkların yerleşim yerlerinden uzak alanlarda, dolgu olarak gereksinim duyulan yerlerde kullanılması olabilir.

Asbest ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme sırasında ortaya çıkması olası çevresel etkiler ayrıntılı izlenmelidir. Asbest madenciliğinin çevre açısından yarattığı en büyük sorunlardan biri, asbest minerallerinin madenden çıkarılan kütleye göre az olmaları sonucunda, işletme sahasının etrafında çok uzak mesafelerden bile görülebilen atık toprak ya da hafriyat yığınlarının oluşmasıdır. Görüntü kirliliği yaratan bu sorun, atıkların dolgu gereci olarak gereksinim duyulan yerlerde kullanılarak aşılmalıdır (Yılmaz, 2009a).

Kullanım evresi

Asbestli dokumalarda ve **inşaat malzemelerinin** yanı sıra yangın mücadelesinde ve koruyucu battaniyeler, ısı kazanları donanımı, özel ambalaj malzemeleri, fren balataları, dokumalar, elektrolitik hücreler için diyaframlar, contalar, tabakalı plastikler, elektrik kablo sargıları, tiyatro perdeleri ve dekoratif amaçlı perdeler, türbin sargıları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Asbestli malzeme ya da asbest içeren sıvanın kullanıldığı evlerde her zaman için bir tehdit vardır. Şekil 18'de beşeri faaliyetlerden bir görünüm sunulmuştur.



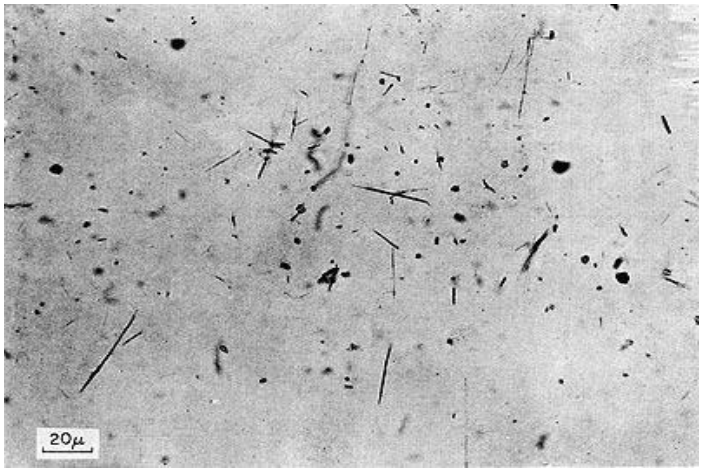
Şekil 18. Beşeri faaliyetlerden bir örnek: Köylerde asbest karışımlı sıvaların yarattığı risk (https://slideplayer.biz.tr/slide/2019203/; 07 Şubat 2019, saat 15.10).

Asbestin çevreye olan zararlarının yanı sıra, insan sağlığı üzerindeki etkisi önemlidir: Yaklaşık 90 yıldan beri tartışılan asbest ve insan sağlığı konusu, ABD'nin çevre örgütü EPA'nın 1989'da yürürlüğe koyduğu, 1996 yılına kadar hemen bütün asbest ürünlerini kademeli olarak yasaklayan yönetmeliği ile dünya çapında tekrar alevlenmiştir.

Ülkemizde de asbest ve insan sağlığı konusunda bazı çalışmalar yapılmıştır (Atabey, 2005; 2015; Barış, 2005). Ayrıca çeşitli kuruluşlar tarafından araştırmalar yapılmaktadır. Birçok üniversitenin tıp ve mühendislik fakülteleri (Hacettepe, 9 Eylül, Sivas Cumhuriyet ve Eskişehir), Çevre ve Orman Bakanlığı, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Merkezi (İŞGÜM), Çim-Se-İş Sendikası, Türk Sağlık Ajansı, TSE ve ASDER gibi kuruluşlar bunların başında gelmektedir. Onların yoğun çabaları sonucu ülkemizde yasaklama yerine denetimli kullanım yolu seçilmiştir. Ancak en az 20-25 yıldan beri ertelenen asbest madenciliği yatırımlarına başlanırsa kamuoyunda yeniden tartışmalar ortaya çıkacaktır. Asbest Dünya Sağlık Örgütü tarafından Kanserojen Grup 1A sınıfına dâhil edilmiştir. Dolayısıyla, asbestin uzaklaştırılmasında, 28539 sayılı Asbestli Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik çerçevesinde bir planlama yapılmalıdır. Yerel yönetimlerin yaptığı uygulamalar şeffaf olmalıdır. Çünkü asbest insan ve çevre sağlığını tümüyle etkileyen bir malzemedir.

Asbest lifleri çok hafif olduğu için havada uzun süre asılı kalmakta solunum yolu ile akciğerlere kolaylıkla yerleşmekte ve akciğerlerin önce iltihaplanmasına daha sonra iyileşmeyen yaralara dönüşmesine neden olmaktadır. Bu da akciğer zarı kanserine zemin hazırlamaktadır. Havada asılı kalan asbestin **dozu ve maruz kalma süresi** önemlidir. Dünya Sağlık Örgütü, doz ve süreyi, 0.1 lif/cm^3 ile sekiz saat olarak tanımlanmıştır. Doz ve süre aşıldığında asbest son derece tehlikelidir ve öldürücüdür. Solunan lifler önce akciğerlerde birikir ve bir plak oluşur, sonra da plaklar yayılarak insan nefes alamaz hale gelir. Bu durum uzun süre devam ederse akciğer kanseri oluşur (Örneğin; Berk ve diğerleri, 2014).

Sadece asbestin üretim süreçlerinde değil, asbest liflerinin savrulduğu ortamda yer alanlar ya da söküm işlerinde çalışanlar da gerekli önlemlerin alınmaması durumunda asbestten etkilenirler. Günümüzde, asbeste uzun süre maruz kalan insanlarda oluşan **asbestosis (ya da mezotelyoma)** denilen akciğer zarı kanserinin tüm ayrıntıları tanımlanmıştır. Şekil 19' da Akciğere yeleşmiş bazı asbest liflerinin dağılımı; Şekil 20' de ise akciğerin yüzeyinde oluşan plaklardan **(A)** ve plakların yayıldığı kanserli akciğerden **(B)** bir görünüm izlenmektedir (Şenyiğit, 2011'den).



Şekil, 19. Akciğere yeleşmiş bazı asbest liflerinin dağılımı (Şenyiğit, 2011'den).

Ayrıca, zeolitik tüfler de puzzolan çimento ve beton malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu tüfler bir zeolit grubu minerali olan eriyonit de içermektedir. Eriyonit iğnemsi yapısı ile asbestten ayrılır. Ancak eriyonitin de kanserojen etkileri bilinmektedir (Barış, 2005; Atabey, 2009). Dolayısıyla kentsel dönüşüm sırasında yıkım çalışmalarında yıkılacak binalarda kullanılan çimento ve beton malzemesinin petrografisi-mineralojisi mutlaka tanımlanmalıdır. Böylece inşaat malzemesinde yer alan ve insan sağlığını tehdit eden kanserojen malzemelerin türleri ve oranlarını belirlemek mümkündür.

Asbestin insan sağlığını doğrudan tehdit etmesi dolayısıyla çevre mevzuatında yer alan `Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği`nin (HTİYAKY) "Yıkım İşlemleri" ve asbestin kullanıldığı binaların tadilatı sırasında 28539 sayılı "Asbestli Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik" esaslarına uyularak çalışmalar yürütülmelidir.

Bugün Dünya'daki eğilim, asbest madenlerinde ve asbestli ürünlerin üretildikleri fabrika ve atölyelerde sağlık koruma önlemlerini almak, **havalandırma, maske kullanımı** konularında güvenliği sağlamak; bunlara ek olarak asbestin yasaklanması ya da sınırlandırılması yerine asbest tipleri üzerinde ayrıntılı inceleme ve araştırmaları ilerleterek, **daha az zararlı asbest türlerinin kullanılmasını** yaygınlaştırma yönündedir.

A B



Şekil 20. Akciğerde oluşan plaklardan yakından bir görünüm **(A)** ve plakların yayıldıığı kanserli akciğerden bir görünüm **(B)** (Şenyiğit, 2011' den).

Asbestten korunma hususunda yapılması gereken, hastalık yaratan asbest türlerinden uzak durmaktır. Düşük dozda da olsa uzun süre asbeste maruz kalmak asbeste bağlı bir çok hastalığın oluşumu için yeterlidir. Kansere yol açan asbest türlerine ait ürünleri üretmemek ve kullanmamak gerekir. Sadece bu sektörlerde çalışanlar değil, halk da asbestten etkilenmektedir. Halk arasında asbestin ürünü toprak, beyaz toprak olarak bilinir. Eğer bir evde bu toprakla yapılmış sıva ve badana varsa, bunun üzeri uygun bir plastik boya ile örtülmeli, çatıdaki dam toprağının üzeri başka bir toprak veya malzeme ile kapatılmalıdır.

Gerek asbesti gerekse diğer lifli mineralleri içeren jeolojik birimler milyonlarca hektar büyüklüğündeki alanları kaplamaktadır. Bu sahalardaki kayaların bozulması, aşınması ve özellikle rüzgârla havaya karışan liflere maruz kalmayı önlemek mümkün değildir. Dolayısıyla, özellikle asbestli birimlerden uzak durmak ve köy evlerinde, binalarda asbest sıvanın kullanılmaması sorunun çözümünü kolaylaştıracaktır.

Halk asbest ve asbest madenciliği konularında aydınlatılmalı, çok yönlü olarak asbestin yararları, zararları, yerine kullanılabilecek malzemelerin yetersizliği anlatılmalıdır. Özellikle insan sağlığı açısından; amfibol ve mavi asbest türlerinin yerine kullanılabilir diğer malzemeler tercih edilmelidir.

KENTSEL DÖNÜŞÜM VE ASBEST SORUNU

Asbest ve zeolitler, 1980 yılı öncesinde inşaat malzemelerinde katkı ya da çimento malzemesi olarak kullanılmıştır. Örneğin Ankara-Maltepe Havagazı Tesisi'nin söküm çalışmaları asbeste yönelik kaygıların gündeme taşınmasına vesile oldu. Aynı sorun kentsel dönüşüm çalışmalarında da geçerlidir. Dolayısıyla Ankara-Maltepe Havagazı Tesisi'nin söküm çalışmalarına dair bir değerlendirmenin yapılmasında yarar görülmektedir.

Ankara' da Maltepe' deki Havagazı Fabrikası'ndan bir görüntü Şekil 21'de görülmektedir. Bu yapının, meslek kuruluşlarının belirttiği gibi Cumhuriyet'in sanayi arkeolojisi olarak nitelendirilen tarihi bir yapı olduğu kabul edilmektedir. Fabrikanın yıkım işleri gündeme geldiğinden beri TMMOB Mimarlar

Odası Ankara Şubesi (MOAŞ) ve Çevre Mühendisleri Odası (ÇMO) söz konusu süreci izlemiş ve çeşitli uyarılarda bulunmuşlardır.



Şekil 21, Ankara-Maltepe Havagazı Fabrikasının genel görünümü http://haber.sol.org.tr/toplum/ankara-kanser-mi-soluyor-185854.

Fabrikanın yıkım çalışmaları Ankara 7. İdare Mahkemesi tarafından durdurulunca, Çevre Mühendisleri Odası (ÇMO), Ankara`da Sıhhiye'deki tarihi Havagazı fabrikası sökümü nedeniyle yaşanan asbest tartışmasını basın toplantısında değerlendirdi (5 Mart 2017). ÇMO, basın toplantısında `Daha önce de havagazı fabrikasının 2006-2007 yıllarında yıkımı gündeme geldiğinde bu binanın tarihi, kültürel bir miras olduğunu belirterek, kamu yararına korunması ve müze veya sanatsal, kültürel çalışmalar için değerlendirilmesi gerektiğini' vurguladı. Yani, ÇMO' ya göre binayı yıkmak yerine asbestten arındırarak kullanmanın en doğru ve kamu yararına olacağı öngörülmeliydi.

Ankara 7. İdare Mahkemesi söz konusu yıkımın durdurulmasına karar vermesinden sonra (6 Mart 2016); Mimarlar Odası Ankara Şubesi (MOAŞ) ve Ankara Tabip Odası (ATO) tarafından asbestli Havagazı Fabrikası yıkımına ilişkin basın toplantısı düzenlendi. Basın toplantısında "Yetkililerin hiçbir şekilde açıklama yapmaması, kamuoyunu ikna edecek bilimsel bir rapor ve belge sunamaması halkın bir şekliyle infialine neden oldu. Halkın infialine neden olan şey sistemin kendisidir. 24 Kasım 2016'da da 350 ton asbestli malzeme olduğunu biliyordunuz. Asbestli yapının nasıl yıkılacağı yönetmelikte çok açıktır. Ayrıca Kültür Bakanlığı bu yapının kültür varlığı olduğunu ve yıkılmaması gerektiğini anlatıyor"
denildi. Basın toplantısında; yapılan analizlere göre asbestin en tehlikeli türü olan amfibolün % 15-40 oranında olduğu saptandığı ve böylesine tehlikeli bir uygulamadan da Ankara Büyükşehir Belediye Başkanlığı'nı sorumlu olduğu vurgulandı.

Söz konusu gelişmeler, çevre konusunda duyarlı olan basına da yansıdı. Gürbüz (2017) yaptığı değerlendirmede 'Yapılan itirazlar "ideolojik" diyerek ciddiye alınmayacaktır. Ölen ölecek, hesap verilmeyecek. İşte bu yüzden, Ankara'nın asbestle imtihanı (Şekil 22), aslında Türkiye'nin demokrasiyle imtihanına benziyor' diyerek tepkisini dile getirdi.



Şekil 22. Asbest söküm işlerinden bir görünüm (Gürbüz, 2017'den).

Ülkemizde insan sağlığının söz konusu olduğu durumlarda bile sivil toplum örgütleri ile yerel ya da merkezi yönetimlerin birbirini anlayamaması, yönetim kadrolarının meslek örgütlerinin birikimlerinden yararlanmamakta direnmesi ibretlik bir olaydır. Bu da elbette tüm geleceğimizi etkileyecektir.

Havagazı fabrikasının Cumhuriyetin tarihi bir yapısı olduğu gözetilerek korunması gözardı edilmemelidir. Ancak ülkemizde birçok yerlerde kentsel dönüşüm sırasında benzeri uygulamalarda iş güvenliği ve halk sağlığı gözetilerek bir planlama yapmak gerekmektedir. Bunun için yukarıda sunulan asbeste dair temel bilgiler aynı zamanda üretim süreçlerinde ya da kentsel dönüşüm çalışmalarında nasıl bir yol izlenmesi gerektiğini belirlemektedir. Bu çerçevede tıpkı bir asbest yatağının işletilmesinde izlenmesi gereken ÇED sürecinden yararlanmak gerekir. Bunun için önce mevcut durumun tanımlanması, söküm çalışmaları, taşınma ve düzenli depolama gibi çevresel açıdan kendine özgü önemi olan aşamaları ayrı ayrı ele almakta yarar vardır.

Mevcut durumun tanımlanması

Mevcut durumun tanımlanması çerçevesinde öncelikle hafriyat malzemesinin petrografik-mineralojik incelemesine ihtiyaç vardır. Böyle bir çalışma, örneğin havagazı fabrikasının aynı zamanda 350 tonluk asbestli malzemede bulunan asbest oranını ve türünü ile eriyonit türü diğer malzemelerin olup olmadığını belirler. Kanserojen malzemelerin oranı ve türünün yanı sıra dağılımını belirlemek için sistematik örnekleme gerekmektedir. Bu bilgiler sağlanmadan bir sonraki aşamaya geçilemez. Örneğin asbest oranı ve türü/türleri, söküm çalışmaları sırasındaki yöntemi belirler. Tehlikeli asbest oranı, MOAŞ'ın belirttiği gibi % 40 dolayında ise, bölgenin kapsamlı bir şekilde karantinaya alınması ve fabrikanın her biriminin ayrı ayrı yıkılması, bu sırada halkın uyarılması, trafiğin ona göre düzenlenmesi, hatta çalışma saatlerinin ona göre belirlenmesi gerekir.

Mevcut durumu belirleme aşamasında ayrıca havagazı fabrikası ve yakın dolayındaki hava kirliliğini ve kirletici unsurların dağılımı belirlenmelidir. Örneğin, fabrikanın içinde ve yakın dolayında asbeste dair lif sayımı yapılmalıdır. Bu hususları ortaya koymadan söküm çalışmaları sırasındaki değişimi izlemek mümkün değildir. Söküm işlemleri ve süresi için en uygun atmosferik koşullara göre bir planlama yapılmalıdır. Örneğin esintinin yüksek olduğu dönemlerde asbest tozları, çeşitli önlemler alınsa da, daha geniş bir alana yayılabilir. Ayrıca planlama çerçevesinde çalışmanın başlayacağına dair uyarı levhaları ve uyarıları içeren önemli açıklamalar, halkın en iyi şekilde görebileceği yerlere konulmalıdır. Söküm çalışmalarının etkileyeceği bölge tanımlanmalı ve mutlaka kapsamlı bir şekilde karantinaya alınmalıdır. Sonuç olarak, mevcut duruma ve planlamaya dair kapsamlı bir raporun hazırlanması şarttır.

Ayrıca ÇMO'nun belirtiği gibi, Ankara Büyükşehir Belediyesi`nin söküm süresi, risk değerlendirmesi ile önlemleri içeren bir raporun söküm öncesi hazırlaması ve bu raporu kamuoyu ile paylaşması gerekmektedir.

Söküm çalışmaları ve sonrası

Söküm çalışmaları, bu işleri yapabilen ehliyet sahibi ekiplere yaptırılmalıdır. Ekipte asbest konusunda ayrıntılı bilgiye sahip söküm uzmanları mutlaka yer almalıdır. Söküm çalışmaları söküm uzmanlarının belirleyeceği yöntemlerle yapılmalıdır. Bina bir patlatma ile enkaz haline getirilirse, asbest lifleri hafif olduğundan havada yükselir ve bölge karantinaya alınmış olsa bile, daha geniş bir çevrenin kirlenmesine yol açar. Çalışan ekip elemanları mutlaka koruyucu malzeme kullanmalı ve günlük çalışmadan sonra duş alarak asbest kirliliğinden arındırılmalıdırlar.

Söküm işleri sırasında ve hatta söküm çalışmaları sonrasında, atmosferik koşullar (rüzgâr hızı ve yönü, basınç, sıcaklık ve nem) da gözetilerek farklı zaman dilimlerinde asbest liflerinin olası yerel dağılımı izlenmelidir. Çünkü havadaki asbest liflerinin derişiminin bilinmesi (lif/cm^3), etkilenme düzeyini belirler. ISO-22262 standartına göre, **Sekiz saatlik süre için 0.1 lif/cm^3 sınırı, kritik bir sınırdır**. Acil önlemler de liflerin yerel dağılımı ve derişiminin yanı sıra söküm işlerinin gerçekleştirileceği atmosferik koşullar gözetilerek alınmalıdır.

Taşınma

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde asbestli atıklar ile asbest içeren yalıtım malzemeleri tanımlanmıştır. Bu atıklar tehlikeli atık olarak kabul edilmekte, dolayısıyla bu atıklar, tehlikeli atık taşıma lisansı almış araçlarla taşınmalıdırlar. Atıkları taşıyan araçların atık taşıma lisansları kamuoyu ile paylaşılmalıdır. Araçların izleyeceği güzergâhlar ve olası riskler tanımlanmalıdır. Araçların üstü uygun malzemelerle örtülmeli ve yol boyunca risk yaratacak bir herhangi bir durumun oluşmasına meydan verilmemelidir.

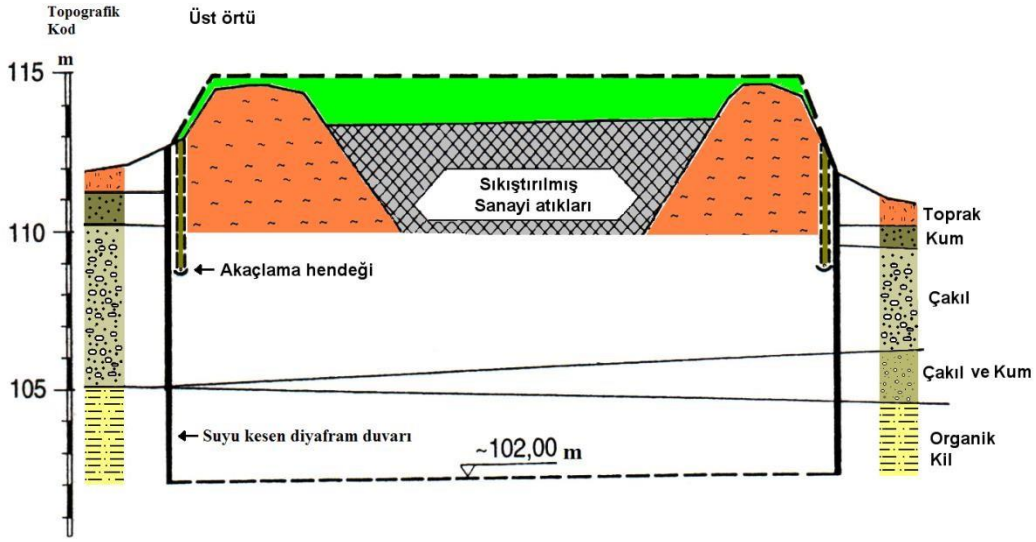
Düzenli depolama

Burada depolama alanı için yer seçimi öncelikli bir konudur. Yer seçimi, asbestin özellikleri gözetilerek yapılmalıdır. Depolama sahasının çevrenin diğer unsurları ile ilişkileri gözetilmelidir. Düzenli depolama, tehlikeli atıkların nihai olarak uzaklaştırılması için en önemli seçeneklerden biridir. Bir düzenli deponi alanının, ekolojik çevre ile birlikte halk sağlığı ve güvenliği açısından bir soruna ya da tehlikeye yol açamayacak biçimde atıkları uzaklaştırmak üzere yer seçimi, deponi alanı tasarımının yapılması, sızıntı suyu sorunu ile deponi alanı performansının değerlendirilmesi düzenli bir biçimde yapılmalıdır.

Deponi alanının yerinin belirlenmesinde en önemli unsurlar, jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve diğer fiziksel unsurlardır (Yılmaz, 2009b). 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. Asbestin lifsi yapısı ve asbestin atmosfere açık olduğu durumlarda insan sağlığını kolaylıkla etkileneceği gözetildiğinde 'Kuru Gömme Yöntemi' ile uzaklaştırılması önerilebilir.

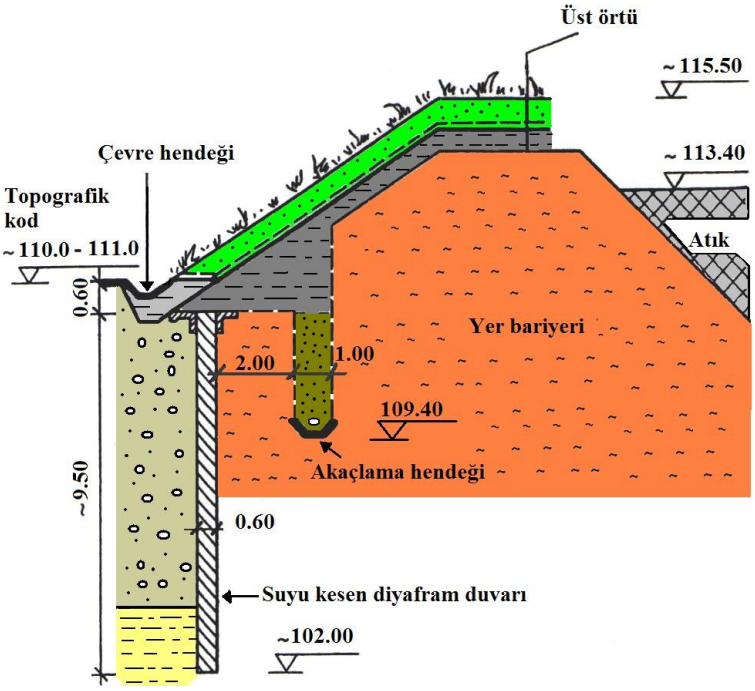
Bu yöntemin tasarımı ile ilgili çerçeve Şekil 23, 24 ve 25'de görülmektedir. Söz konusu yöntemin ana ilkesi toplanmış olan tehlikeli atığın çözünmesine de meydan vermeden ve atmosferle ilişkisi kesilerek kuru olarak uzaklaştırılmasıdır (Şekil 23).

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 22 ve 23). Örtüden süzülen sular çevre akaçlama hendeğine ulaşır (Şekil 21). Çevre hendeğinin yanında ve deponi alanı tarafında, su geçirmeyen bir diyafram yer alır (Şekil 21 ve 22). Bu diyafram, atıkların ve atıklara ait sızıntı sularının yan kayalarla ve daha alttaki katmanlarla olan ilişkisini kesmektedir.

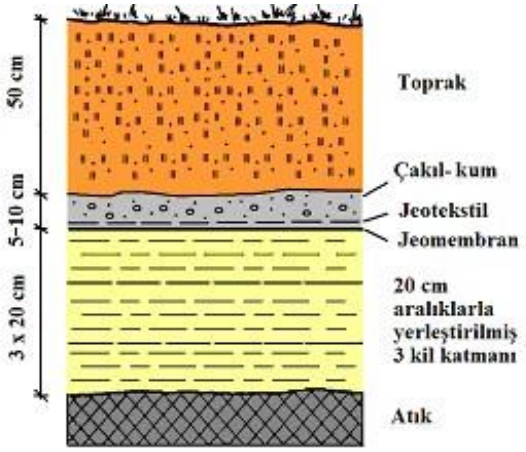


Şekil 23. Tehlikeli atığının yer aldığı bir deponi alanının enine kesiti. Kuru gömme (DRYDEP) tekniğinin önemli yapıları bir bütün olarak görülmektedir (Greschick ve Gâlos, 1998; Yılmaz, 2009b).

Ortalama 9,5 m derinliğindeki diyafram en alttan da 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 24. Bir deponi alanında çevre hendeği, akaçlama hendeği ve suyu kesen diyafram duvarını kesen enine kesiti (Greschick ve Gâlos, 1998; Yılmaz, 2009b).



Şekil 25. Örtü gerecinin katmanlarını gösteren kesit (Greschick ve Gâlos, 1998; Yılmaz, 2009b).

YASAL ÇERÇEVE

Asbest tehlikeli atıklar grubunda özel bir konuma sahiptir. Asbest atıklarının depolama alanlarında bertaraf edilmesinde, yasal çerçeve gözetilerek yapılmalıdır. Öncelikle atığın yer aldığı sınıf, türü ve içeriği tanımlanmalıdır. Asbest ile ilgili depolama ve denetim çalışmalarında yasal açıdan Atık Yönetmeliği (AYY, 2015; AYYD, 2017) ve asbest çalışmalarında sağlık ve güvenlik önlemlerine dair yönetmelik (AÇY, 2013) ve tebliğ (AST, 2013)'de belirtilen hususlara uymak zorunludur. Bu yönetmeliklerde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İl Müdürlükleri ve Belediyelerin görev ve sorumlulukları belirlenmiştir.

ÇED Yönetmeliği (2022)'ne göre asbest içeren ürünleri işleme ve dönüştürme tesisleri EK-1 Listesinde; asbest içeren yapı ve tesislerin sökülmesi/yıkılması işlemleri (bu çerçevede kapsamlı kentsel dönüşüm faaliyetleri) EK-2 Listesinde yer almaktadır. Aslında asbest ile ilgili tüm faaliyetler için kapsamlı ÇED raporlarının hazırlanmasında yarar vardır. Çünkü, asbestin sağlık üzerindeki etkileri önemlidir ve bu etkilerin dikkate alınmasında yarar vardır.

Ayrıca, yerel yönetimlerin yaptığı uygulamalar çok şeffaf olmalıdır. Örneğin, Ankara-Sıhhiye Havagazı fabrikası için yapılan çalışmaların her evresi erişime açık raporlarla herkesle paylaşılmalıydı. Çünkü sorun, Sıhhiyeden geçmekte olan bir vatandaşı bile etkilemektedir. Dolayısıyla şeffaf bir paylaşım olmadan ne demokrasiden söz edilebilir ne de halkın sağlığı güvenceye alınabilir.

SONUÇLAR

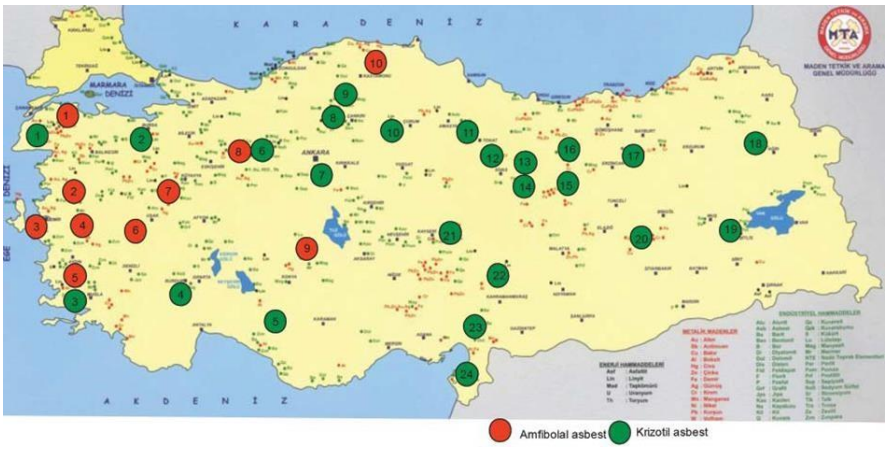
Asbest insanoğlu tarafından çok eski tarihlerden beri kullanılmaktadır ve madencilik tarihi açısından kullanımı bilinen en eski minerallerden birisidir. Birçok ülke zararlarından dolayı asbest üretimini yasaklamış ya da kısıtlamış ise de asbestin üretimi ve tüketimi daha uzun yıllar devam edecek gibi görünmektedir. Asbest türleri de sanayide kullanılan hammaddeler içinde önemli bir yere sahiptirler. İnsan sağlığı üzerinde kanıtlanmış bazı zararları olmasına karşın asbest, birçok sanayi alanında vazgeçilmez yerini korumaktadır. Asbestin yerini alabilecek çeşitli gereçler araştırılmış ancak, bu gereçlerin hiçbirinin maliyet ve kullanım pratiği açısından asbestle yarışacak nitelikte olmadığı anlaşılmıştır.

Ülkemiz, asbest rezervi bakımından Dünya'nın en zengin 10 ülkesi arasında yer almaktadır. Şekil 26, asbestin ana kayası ofiyolitlerin (bazik ve ultrabazik kayaların) ülkemizde yaygın olduğunu açıkça göstermektedir. Haritadaki kırmızı noktalarla gösterilen yerler ise, asbeste dayalı kanser olaylarının sık görüldüğü alanları göstermektedir. Ayrıca Şekil 27'de Türkiye'de amfibol asbest ve krizotil asbest bulunan kritik yerler (Atabey, 2015) görülmektedir.

Öte yandan, ülkemiz en fazla asbest ithal eden ülkeler arasında da yer almaktadır. Bu çelişkinin giderilmesi için yetkililer tarafından yatakların daha verimli ve daha çok çalıştırılması arzu edilmektedir. Fakat bu da beraberinde çevre ve sağlık sorunlarının tartışılmasını alevlendirilecektir. Sonuç olarak, asbestin yerine kullanılabilecek malzemelerin ARGE düzeyinde araştırılmasında yarar vardır.



Şekil, 26. Asbest içeren ultrabazik kayaların ülkemizdeki dağılımı (Atabey, 2009).



Şekil 27. Türkiye'de amfibol asbest ve krizotil asbest bulunan başlıca yerler (Atabey, 2015).

Halk asbest ve asbest madenciliği konularında aydınlatılmalı, çok yönlü olarak asbestin yararları, zararları, yerine kullanılabilecek malzemelerin yetersizliği anlatılmalı, özellikle de insan sağlığı gözetilerek; bir zorunluluk varsa amfibol ve mavi asbest türlerinin yerine daha az riskli olan **krizotil asbest madenciliği** konusunda ARGE çalışmaları yapılmalıdır.

Asbest Dünya Sağlık Örgütü tarafından Kanserojen Grup 1A sınıfına dâhil edilmiştir. Üstelik yasal açıdan sınırlı da olsa bize yol gösterici yönetmelikler (28539 sayılı Asbestli Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik vd.) de vardır. Ankara Büyükşehir Belediye Başkanlığı yetkililerinin 'Fabrikanın dış yüzeyi branda ile kapatılmıştır' türü önlemleri sorunu çözmemektedir.

Yukarıda sunulan temel bilgiler gözetildiğinde Ankara-Havagazı Fabrikası özelinde karşı karşıya olduğumuz sorunun aslında çok daha kapsamlı bir sorun olduğu görülmektedir. Ayrıca yerel yönetimlerin uyguladığı kentsel dönüşüm çalışmaları sırasında hiçbir önlem alınmadan ve meslek kuruluşlarının uyarıları dikkate alınmadan yapılan uygulamalar halkımızın sağlığını derinden etkilenmektedir. Oysa bu konuları bilen ve yeterli donanıma sahip elemanlarımız vardır. Çevre konusunda gösterilen duyarlılık da ideolojik olarak tanımlanırsa, verimli bir tartışma ortamı bile yaratılamaz.

Asbest önemli bir sanayi hammaddesi olup, ülkemizde yaygın olan bir kaynaktır. Asbest 1980 yılı öncesinde hemen hemen tüm yapılarda kullanılmıştır. Türkiye'de asbest üretimi, kullanımı ve satışı, 2010 yılından beri, kansere ve akciğer hastalıklarına yol açmasının yanı sıra Avrupa Birliği ile uyum süreci çerçevesinde yasaklanmıştır.

Ancak Ankara Büyükşehir Belediye Başkanlığı'nın Ankara'nın göbeğinde Sıhhiye' deki "Havagazı Fabrikasında Bulunan Asbestli Malzemelerin ve Kalıntıların Geri Dönüşüm Malzemesi Karşılığı Sökülmesi İşi"ni ihaleye açmasıyla asbest sorunu tekrar gündeme oturdu. İnsan sağlığı ile doğrudan ilişkili olması nedeniyle tartışma alevlendi. Bazı meslek odalarının haklı itirazları, her nedense göz ardı edildi. Aslında kentsel yenileme çalışmalarında asbestin kullanıldığı eski yapılarda ve sanayi ürünlerinin üretildiği tesislerde aynı sorunla karşı karşıya olduğumuz bilinmelidir. Dolayısıyla asbestin özelliklerinin, üretim süreçlerinin, kullanım alanlarının ve çevresel açıdan gözetilmesi gereken hususlarının yakından tanıtılmasında, böylece asbestin yönetimine dair bazı uyarıların tekrar vurgulanmasında yarar görülmektedir.

KAYNAKLAR

AÇY, 2013., Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik (AÇY), Resmî Gazete Tarihi: 25.01.2013 Resmî Gazete Sayısı: 28539; 16/1/2014, 28539 güncellendi. AST, 2013., Asbest Sökümü ile İlgili Eğitim Programlarına İlişkin Tebliğ, 25/1/2013 tarihli ve 28539 sayılı Resmî Gazete.

Atabey, E., 2005. Tıbbi Jeoloji. TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayını, Yayın No:88,

Atabey, E., 2009. Türkiye'de Asbest, Eriyonit, Kuvars ve diğer mineral Tozları ve Çevresel Etkileri. MTA Yerbilimleri ve Kültür Serisi, no: 6, Ankara, 191s.

Atabey, E., 2015. Türkiye Asbest Haritası (Çevresel asbest maruziyeti-akciğer kanseri-mezotelyama), Tuberk Toraks, 63/3, 199-219.
AYY, 2015., Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY), 2 Nisan 2015 PERŞEMBE , Resmî Gazete, Sayı: 29314.
AYYD, 2017., Atık Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik AYYD), 23 Mart 2017 PERŞEMBE, Resmî Gazete, Sayı: 30016.
Atilla, A., 1980. Sivas-Celalli-Gürlevik dağı, Yozyatağı asbest sahası raporu: MTA Derleme Rap. No.7441, Ankara.
Barış,Y. İ., 2005. Türkiye'de Asbest ve Eriyonit ile İlgili Akciğer Hastalıkları", İstanbul; (http://www.mesothelioma-tr.org/ulusal/asbest2.html, ErişimTarihi:18.12.2013).
Bayram, M., Döngel,İ., Bakan, N.D., Yalçın, H., Cevit, R., Dumortier, P., Nemery, B., 2013. High risk of malignant mesothelioma and pleural plaques in subjects born close to ophiolites. Chest Journal, 143, 1, 164-171.
Berk, S., Yalçın, H., Doğan, Ö.T., Epöztürk, K., Akkurt, İ., Seyfikli, Z., 2014. The Assessment of the Malignant Mesothelioma Cases and Environmental Asbestos Exposure in Sivas Province, Turkey. Environmental Geochemistry and Health, 36, 1, 55-64.
Döngel, İ., Bayram, M., Bakan, N.D., Yalçın, H., Gültürk, S., 2013. Is living close to ophiolites connected to asbestos related diseases? A cross-sectional study. Respiratory Medicine, 107, 1, 870-874.
ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
DPT, 2000. Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı Madencilik Özel ihtisas komisyonu, Endüstriyel hammaddeleri alt komisyonu, Genel endüstri mineralleri, Cilt 1, Asbest-grafit-kalsit-titanyum çalışma grubu raporu, Ankara, 113s.
http://haber.sol.org.tr/toplum/ankara-kanser-mi-soluyor-185854
https://slideplayer.biz.tr/slide/2019203/; 07 Şubat 2019, saat 15.10
https://tr.depositphotos.com/73367853/stock-photo-in-the-asbestos-quarry.html: (07 Şubat 2019, Saat13.15).
https://www.yenisafak.com/hayat/379-koyde-asbest-tespit-edildi-2057611,07 Şubat 2019, saat 15.00
İrkeç, T., 1990. Asbest; MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Serisi, No. 31, Ankara, 107s.
Köksal F., 2019. Asbestin tanımlanması; üretim, kullanım ve bertarafı süreçlerinde yaşanan sorunlar. 27. Dönem, 1. Çevre jeolojisi ve çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) eğitim semineri Programı, 16 Şubat 2019; JMO Konferans Salonu, Ankara.
Lefond, S.J., 1975. Asbestos Industrial Minerals and Rocks, Baltimore, USA, s.379-426.
Şenyiğit, A. 2011. GAP yöresinde kanser vakaları ve jeolojinin ilgisi. 2. GAP ve Jeoloji Sempozyumu. 24-25 Kasım, 2011, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi ve Jeoloji Mühendisleri Odası'nın iş birliği ile, Diyarbakır.
Yılmaz, A., 2009a. Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.
Yılmaz, A., 2009b. Çevre Jeotekniği: Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, no. 116, Sivas, 276s.

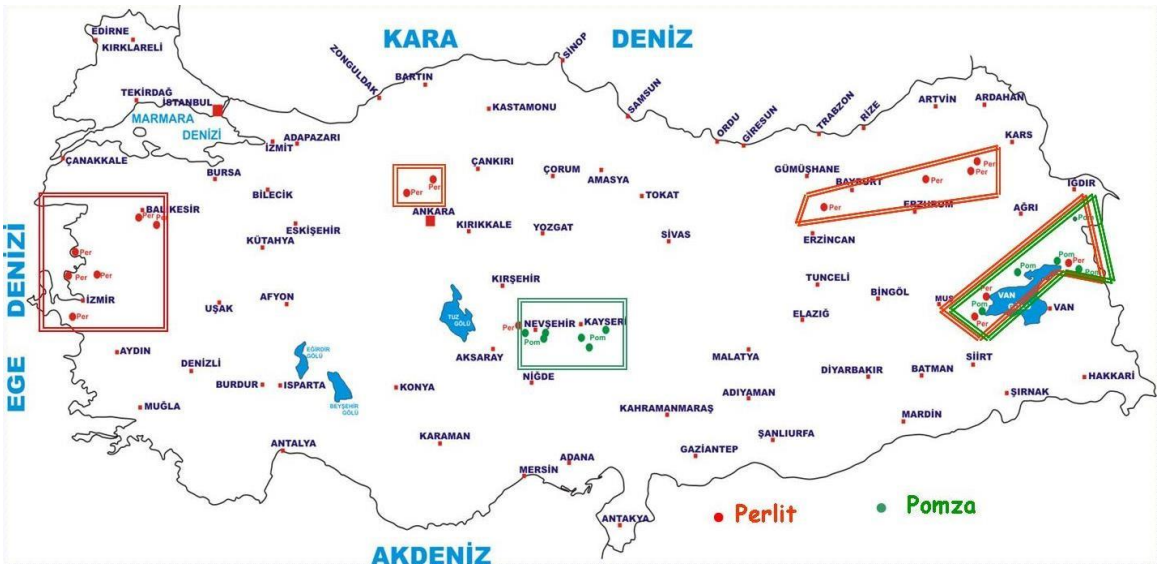
3. 6, PERLİT (İNCİTAŞI)

GENEL BİLGİLER

Perlit, asidik karakterli camsı volkanik bir kaya türüdür. Perlit adı, bazı perlit türlerinin kırıldığında inci parlaklığında küçük küreler haline gelmesi nedeni ile inci anlamına gelen perle sözcüğünden türemiş olup, halk arasında **incitaşı** olarak bilinmektedir. Perlit sözcüğü hem ham perlit hem de bunun genleştirilmesiyle elde edilen ürün için kullanılmaktadır.

Perlit ilk kez 1836 yılında keşfedilmiş doğal bir malzemedir. Bu malzemenin patlatılarak ya da genleştirilerek kullanılması ise 1946'dan sonraya rastlar.

Ülkemizde perlit ve ponza yatakları genel olarak genç volkanizmanın yaygın olduğu havzalarda gelişmiştir. Doğu Anadolu, Ankara ve Ege bölgesinde önemli perlit; yine Doğu Anadolu'da ve Nevşehir yöresinde ponza yatakları olduğu bilinmektedir (Şekil,1).



Şekil 1. Türkiyede önemli perlit ve ponza sahaları. (www.mta.gov.tr; htpps://www.google.com.tr/görseller/perlit 2016'dan).

ÖZELLİKLERİ

Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kaya türüdür. Çeşitli perlit kayaları renk ve yapı yönüyle birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ham perlitin rengi beyaz ve saydam açık griden parlak siyaha kadar değişebilmektedir (Şekil,2). Genleştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik, hidratasyona uğramış camsı silika yapısında % 2.5 dolayında bileşik halinde su içermesi olup, bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır.

Perlit 750-1200 °C arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genleşerek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşür. İlk hacminin 20 katına kadar genleşebilir. Meydana gelen ürüne genleşmiş perlit denir. Perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda sunulmuştur (MTA, 1977 ve içindeki kaynaklar; Karaman ve Kibici, 1999):

Fiziksel Özellikleri

- Tanım : Konkoyidal, sferidal kırıklı camsı volkanik kaya
- Renk : Beyaz, gri ve tonları, genleşince tümüyle beyaz
- Sertlik (Mohs) : 5-6
- Özgül ağırlık :2200-2400 kg/m^3
- Genleştiğinde oluşan yoğunluk : 32-400 kg/m^3
  - Yumuşama noktası : 871-1093 °C
  - Ergime noktası : 1260-1343 °C
  - Özgül ısı : 0,2 cal/g °C
  - Isı iletkenliği : 0,04 W/Mk
  - Refraktif indeks : 1,5
  - PH : 6,5-8
  - Serbest nem (%) : Maksimum 0,5
- Asitte erime özelliği : Yoğunlaştırılmış sıcak alkali ve hidrolik asitte erir. Yoğunlaştırılmış mineral asitlerinde az erir (% 2). Seyreltik mineral veya yoğunlaştırılmış zayıf asitlerde çok az erir (% 0,1).



Şekil 2. Perlitin genel görünümü (www.ankaraperlit.com, 2016).

Kimyasal Özellikleri

Perlit, özel dokulu, içyapısında belli oranda su içeren, asidik kökenli volkanik camdır. Lifsi yapılı değildir. Nitrat sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısıyla kimyasal olarak oldukça saftır. Tipik bir perlitin kimyasal analizi Çizelge 1'de sunulmuştur. Diğer önemli özellikleri aşağıdadır:

Ham perlit agregası hafif yapı gereci niteliğinde olup aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Agreganın kuru gevşek birim ağırlığı : 1,264 g/cm^3
- " " sıkı " " : 1,467 g/cm^3
- " " kıvam su ihtiyacı : % 38
- " " su emmesi : % 6
- " yaş gevşek birim ağırlığı : 0.969 g/cm^3
- " yaş sıkı " " : 1.280 g/cm^3
- Agreganın asit ve bazlara karşı dayanıklılığı - Asit türlerinde çözünürlük:

  Hidroflorik asit (sıcak derişik) : % 94.94 çözünür

Hidroklorik asit (1/10'luk sıcak) : % 3.32 çözünür
Hidroklorik asit (1/10 N sıcak) : % 2.55 çözünür -
Bazlarda çözünürlük:
Sodyum hidroksit (doygun sıcak çözelti): % 9.13 çözünür
" " (1 N Sıcak) : % 8.77 çözünür
" " (0.1 N Sıcak) : % 2.64 çözünür

Çizelge 1. Perlitin kimyasal bileşimi (DPT, 1992).

SiO_2	71.0-75.0
Al_2O_3	12.5-18.0
Na_2O	2.9-4.0
K_2O	0.5-5.0
CaO	0.5-2.0
Fe_2O_3	0.1-1.5
MgO	0.02-0.5
TiO2	0.03-0.2
H_2O	2.0-5.0
MnO_2	0.0-0.1
SO_3	0.0-0.2
FeO	0.0-0.1
Cr	0.0-0.1
Ba	0.0-0.05
PbO	0.0-0.03
NiO	Eser
Cu	Eser
B	Eser
Be	Eser
Serbest silis	0.0-0.2
Toplam klorürler	0.0-0.2

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Ülkemizde Miyosen ve daha genç volkanik faaliyetlerin asidik gereçlerinde perlit yatakları yer almaktadır. Genç volkanik oluşuklar çeşitli kırıkların birbirini kestiği bölgelerde yer almaktadır. Volkan dizileri daha çok, eski masifleri sınırlandıran faylar boyunca ya da bu masiflerin kırılıp parçalanmasından oluşan horst ve graben gibi yapılarda izlenir.

Perlit yatakları volkanik faaliyetle birlikte, sığ gölsel ortamlarda ve kıyılarda oluşabilir. Buna göre kırık zonları ile eş yaşlı sığ deniz ve göllerin bulunduğu yerler, perlit yatakları için uygun yerlerdir. Perlit yatakları, genç volkanik faaliyetlerin ürünü olarak kabul edilir. Bu nedenle perlitin kökeni magmatik faaliyetlere bağlı olmaktadır. Perlitin kökeni ve teknolojik niteliklerini inceleyen araştırmacılar, perlit içinde **bağlı su** olduğunu saptamışlardır.

Volkanik faaliyetlerde magma ocaklarında kimi zaman toplanan ve bu ocaklarda biriken gazlardaki basıncın artması ile erimiş maddelerin bir kısmı yukarıya doğru şiddetle itilir. Bu durumda volkanizma sırasında ortaya çıkan volkanik gereçlerin nitelikleri farklılaşır. Perlit yatakları ile birlikte asidik magmanın

oluşturduğu kayaların bulunması, kimyasal bileşimdeki SiO_4'ce zengin riyolit, liparit, dasit, kuvars-latit kökenli bir magma ortamının varlığını tartışmasız kanıtlar. Camsı volkanik dokunun oluşması ani soğumanın bir sonucu olarak kabul edilmektedir (MTA, 1977 ve içindeki kaynaklar).

Perlit yataklarında kimi zaman bazalt, andezit, latit, liparit gibi volkanitlere rastlanacağı gibi, bunun tersi durumlarda bazalt, andezit, latit gibi kaya türlerine bağlı olarak da perlit oluşabilir.

ÜRETİM YÖNTEMİ ve TEKNOLOJİSİ

Perlit cevheri, **açık ocak işletme yöntemleri** ve **patlatma** ile üretilir. Daha sonra, **kırmaöğütme-sınıflandırma evrelerini izleyen genleştirme işlemleri** yapılmaktadır (DPT, 1992).

Perlit tesisleri, hammadde depolama, genleştirme, ayırma ve paketleme olmak üzere üç birimden oluşmaktadır.

Genleşme tesisinde kullanılacak fırının türü, perlitin türüne ve istenen ürüne göre değişmekle birlikte son yıllarda sabit, dikey fırınlar tercih edilmektedir. Bu fırınlar genellikle mazotla çalışmaktadır.

Tuvenan cevherinin ocağa yakın bir yerde ilk kaba kırmadan geçirilip gerekli tane iriliğine getirilmesi, genleşen perlilit ise hafif fakat hacimce büyük olduğunu gözeterek pazar alanlarına yakın yerlerde tesislerin kurulup genleştirme işleminin yapılması ekonomik olacaktır.

Perlitin hazırlanmasında gözetilmesi gereken önemli hususlar şunlardır:

- Olabildiğince perliti nodüllerine ayırmak veya küp şeklinde taneler elde etmek,
- Fazla inceltmeden ve kabuk dokusunu bozmadan sadece gerekli tane iriliğine kadar kırmak, - İstenen tane boyuna göre ayırmak
- Perlit genellikle kolayca kırılabilen iyi öğütülebilen bir kayadır. Ancak tane dağılımı kırma darbelerine bağlı olduğundan, kırıcı ve öğütücü seçimi özel dikkat gerektirir.

Perlit hazırlama tesislerinde gerekli işlemler aşağıdadır:

-Kırma, ön öğütme, kurutma, öğütme, ince öğütme, eleme, sınıflandırma, boyutlandırma, depolama, Perlitle ilgili talep alanları değişik boyutlara yöneldiğinden öğütmede esneklik önem taşımaktadır. Çeşitli kullanım alanlarına koşut olarak, perlit gereksiniminin genel olarak aşağıdaki gruplarda yoğunlaştığı belirtilebilir.

- 0-0.5 mm; 0.3-1 mm; 0.3-1.6 mm (0.3 mm altındaki miktar max.% 8)
- 0-0.4 mm; 0-2.2 mm; 0.4-1.2 mm; (0.3 mm altındaki miktar % 10)
- 0.3-2 mm (0.3 mm altındaki miktar % 40)
- 0.8- 1,6 mm; 0-2 mm; 1.2-2 mm (0.3 mm altındaki miktar % 40)

Piyasada en çok aranan 0,03-1 mm ile 0,8-3 mm arasındaki tane boyutudur.

Genleştirme, Öğütülmüş, boyutlanmış ham perlit 400 °C'ye kadar bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Daha sonra 700-1200 °C arasında sıcaklığı olan bir ortama aktarıldığında içindeki suyun buhar halinde çıkmasıyla kısa sürede mısır gibi patlayarak hacmi 4-30 kat artar. Bu şekilde genleştirilmiş perlit, çok gözenekli ve hafif camsı bir yapıya dönüşür. Perlitin aktif olarak genleştirilmesinde aşağıdaki faktörler rol oynamaktadır:

- Kullanılan perlitin türü, bileşimi, efektif su miktarı
- Gerekli ısıtma süresi
- Tane boyutu
- Genleşme sıcaklığı

Paketleme, Perlit tesisleri, hammadde depolama, genleştirme ve ayırmadan sonra paketlenir.

KULLANIM ALANLARI

Genleşmiş perlite ticari değer kazandıran en önemli özellik; düşük yoğunluğu, fiziksel esnekliği, kimyasal duraylılığı, düşük ses geçirgenliği ve ateşe karşı dayanıklılığıdır. Perlitin başlıca kullanım alanları aşağıda sunulmuştur (Karaman ve Kibici, 1999):

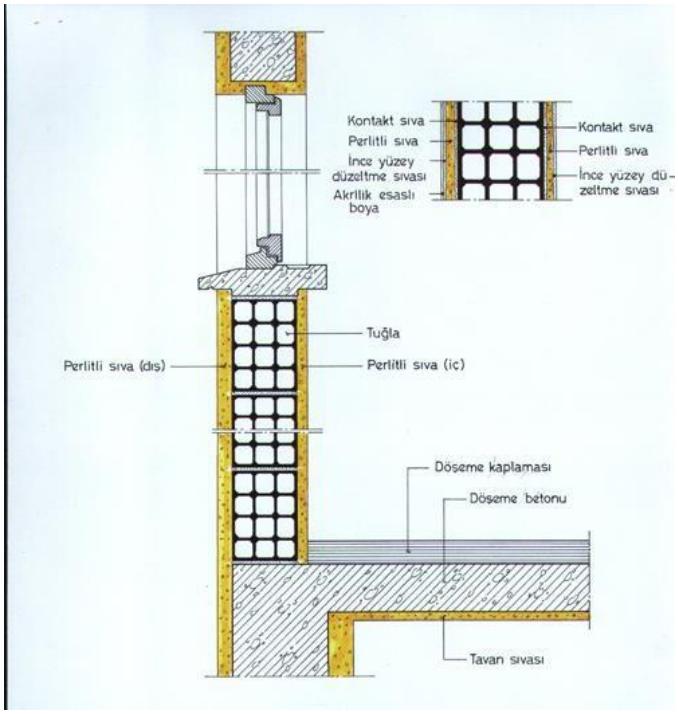
İnşaat sektörü ⁎ Şekillendirilmiş izolasyon malzemeleri (çatı ve zemin izolasyonlarında) ⁎ İç ve dış inşaat sıvalar (Şekil, 3)

- Dona karşı dayanıklı olduğundan su alan inşaatlarda
- Çatı ve terasların su izolasyonlarında
- Yüzme havuzların yapımında
- Isı izolasyonunda sıva olarak ve biriket kiremit gibi izolasyonla hafif yapı elemanı üretiminde ⁎ Perlit agregalı hafif yalıtım betonu (çimento veya alçı bağlayıcı) ⁎ Perlit agregalı hafif yapı elemanları tavan kiremitleri, boru izolasyonları

⁎ Gevşek dolgu gereci (tavan araları zemin ve duvar boşluklarında yalıtım malzemesi olarak; silikonla özel bir işleme tabi tutularak köpük halinde)

⁎ Yüzey döşemelerinde (ısı ve ses yalıtıcı olarak)

⁎ Çimento ve alçı dışındaki bağlayıcılarla yapılan özel amaçlı perlit betonları



Şekil 3. Perlitin çatı ve duvarlarda iç ve dış sıva olarak kullanımında bir örnek. http://www.siteper.com/ (2016).

Tarım sektörü

Toprağın fiziksel özelliklerini artırıcı **substrat** maddesi olarak, gerekli uygun toprak koşullarını sağlamak topraktaki sıkılığın artmasına yardım ederek su akışını azaltmak ve nemi korumak, fideler için üreme ortamı oluşturmak, toprağı havalandırmak gibi nedenlerle aşağıdaki alanlarda kullanılır.

⁎ Tarla tarımında
⁎ Bahçe tarımı ve seracılıkta (fide yetiştiricilik, kültür tanımı gibi) ⁎
Çimli spor alanlarında

Çim tohumu ekilecek toprak alanlara tarım perliti veya sera perliti karıştırılmalıdır. Tarım perliti suyun buharlaşmasını azaltır ve su tasarrufu sağlar. Tarım perliti toprağın su tutma kapasitesini % 90 artırır ve toprağın devamlı nemli kalmasını sağlar. Tarım Perliti Fiyatları: 200 l Tarım Perliti 35 TL, 100 l Tarım Perliti 25 TL, 40 l Tarım Perliti 15 TL, 20 l Tarım Perliti 10 TL, 10 l Tarım Perliti 7 TL, 2.5 l Tarım Perliti 5 TL (www.ankaraperlit.com, 2016).

Sanayi sektörü

Gıda, ilaç ve kimya sanayinde filtre gereci olarak
⁎ Gıda sanayinde
- Meyve sularını süzmede
- Bitkisel yemeklik yağlarını süzmede
- Şeker şerbeti süzmede
- Mısır şerbeti süzmede (Glikoz /Dekstroz üretiminde)
- Bira, şarap ve likörleri süzmede ⁎ İlaç ve kimya sanayinde - Boyaların süzülmesinde
- Kâğıt sanayinde (Beyaz su filtrasyonu)
- Antibiyotiklerin süzülmesinde
- Pektin süzmede
- Sitrik asit süzmede
- Soda külü eriyiklerinin filtrasyonu
- Sodyum silikat (su cam)
- Sülfirik asit filtrasyonu
- Uranyum şerbeti filtrasyonu
- Flok süzmede (Alüminyum hidroksit ve flokülasyon işlemlerinde)
- Fosforik asit süzmede

⁎ Diğer arıtma (süzme) işlemlerinde
- İçme suyu süzmede
- Yüzme havuzlarının suyunu süzmede
- Atık suları temizleme ve süzme işlemlerinde
- Makine yağı süzmede (kullanılmış makine yağlarının rejenerasyonu)

İlaç ve kimya sanayinde dolgu gereci olarak ⁎ Çeşitli ilaçlarda
(insan sağlığı ilaçların veteriner ilaçları)
⁎ Haşere ilaçlarında (bitki koruma gibi)
⁎ Temizleyici tozlarda ⁎ Gübrelerde ⁎
Dinamit üretiminde ⁎ Boyaların
üretiminde
⁎ Kozmetik sanayinde (sabun gibi)

Isı yalıtım gereci olarak ⁎ 1000 °C'ye kadar sıcaklıktaki reaktörlerin
potalarının yalıtımında ⁎ Soğuk hava depolarının yalıtımında ⁎
Sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtımında

- Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG)
- Sıvılaştırılmış doğal gazlar (LNG)
- Sıvı oksijen
- Sıvı azot ve amonyak
- Sıvı propan, etan ve metan
- Sıvı soygazlar, itici gazlar (propellanlar), soğutucu gazlar (refrigeranlar vb.)

Seramik ve cam sanayinde katkı gereci olarak metalürjide (Şekil 4) ⁎ Döküm kumuna katkı maddesi olarak ⁎ Dökümcülükte metalurjik flaks olarak ⁎ Potadaki ergimiş metalin korunmasında
⁎ Demir-çelik sanayinde ergimiş metalin cüruf denetiminde ⁎ Dövmede veya haddeye giden metallerin ısı kayıplarını önlemede
⁎ Perlitli yalıtıcı refrakter gereçlerin üretiminde
- Seramik bağlayıcılı refrakter tuğlalar
- Alüminyum fosfat bağlayıcılı perlit refrakter tuğla veya betonlar - Perlitli refrakter harçlar

Perlit, döküm kumuna katkı maddesi olarak kullanılır. Ayrıca, perlitin dökümcülükte agrega uygulamalarında önemli bir yeri vardır. Bu uygulamadan bir görüntü Şekil 4'de görülmektedir. DemirÇelik dökümlerinde döküm kumuna hacimce % 8-12, diğer malzemelerin dökümünde ise % 20-30 oranında katılır.



Şekil 4. Perlitin dökümcülükte agrega uygulamalarından bir görüntü. www.google.com.tr/görseller/perlit (2016).

Perlitin dökümcülükte sağlayacağı yararlar:
- Metalin ağır ağır ve dengeli soğumasını sağladığından anormal yüzey gerilimlerini önler.
- Döküm esnasında yanmaz, gaz çıkarmaz ve metal ile reaksiyona girmez.
- Döküm esnasında oluşan gazların, bünyesindeki boşluk ve kanallar vasıtasıyla çıkışına izin verir.
- Temiz, sağlam, kaliteli ve verimli döküm elde edilir.
- Döküm hatalarını asgariye indirdiğinden, ürünün temizlenme zamanını ve işçiliği azaltır.

Diğer alanlardaki uygulamalar ⁎ Petrol, su ve jeotermal sondajlarda, çimentolama işlemini kolaylaştırıcı katkı maddesi olarak, ⁎ Gemi diplerini kaplama ve yalıtımında (kalafat macunları),

⁎ Petrol artıklarından veya diğer yağlı atıklarından gelen (özellikle denizlerdeki) su kirliliğini gidermede,
⁎ Baraj göllerinde, kentlerde, açık su rezervuarlarda buharlaşmayla su kaybını önleyici olarak, ⁎ Ambalajlamada dolgu malzemesi olarak,
⁎ Plastik köpük ve plakalara dolgu ve katkı malzemesi olarak, ⁎ Ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu gereci olarak (bahçe sandalye ve masası), ⁎ Yangına karşı özellikle çelik yapılarda yalıtım katı olarak kullanılmaktadır.

Perlit genleşmiş olarak kullanıldığı gibi ham olarak da geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ham perlit kimyasal bileşimi yönüyle silisli ve alüminyumlu bileşikler içerdiğinden kalsiyum bağlayıcılar ile kimyasal tepkimeye girerek hidrolik aktivite gösterirler. Bu özelliği nedeniyle inşaat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır.

Perlit çimentodan ekonomi sağladığı gibi dayanıklılık da kazandırmaktadır. Bunun için ham perlit kayası kırılıp öğütülüp elendiği gibi doğal olarak agrega halinde bulunan perlitler de kullanılmaktadır. Bu şekilde doğal agrega olarak bulunan perlitin ülkemizde geniş rezervleri vardır.

Kırılmış öğütülmüş ve tane boyutlarına ayrılmış ham perlitin diğer kullanım alanları aşağıda sunulmuştur:
⁎ Asit ve bazlara karşı dayanıklı olduğu için özellikle kanalizasyon borularının üretiminde kullanılır.
⁎ Demiryollarında patinaj kumu olarak
⁎ Sanayide aşındırıcı olarak
⁎ Filtre kumu ve /veya çakıllı olarak su arıtma tesislerinde (TS 4081'e uygun olarak) ⁎ Karayollarında asfalt dolgu malzemesi olarak
⁎ Dökümhanelerde atık koyulaştırıcı, metal temizleyici ve silis kaynağı olarak

Sonuç olarak, günümüzde perlit şekillendirilmiş izolasyon malzemeleri (çatı ve zemin izolasyonlarında), sıvalarda, perlit agregalı hafifi yalıtım betonu (çimento veya alçı bağlayıcı) olarak, gevşek dolgu malzemesi olarak (tavan araları zemin ve duvar boşluklarında yalıtım malzemesi olarak; silikonla özel bir işleme tabi tutularak köpük halinde) ve yüzey döşemelerinde (ısı ve ses yalıtıcı olarak) kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe yıllardır kullanılmakta olan perlit deprem sonrası **"yeşil çimento"** kavramı ile bir kez daha gündeme geldi. Perlit, Japonya ve ABD'de de inşaatlarda çimentoyu güçlendirmede kullanılmaktadır (https://ilkersenguler.blogspot.com/2023/03/perlitdeprem-sonrasi-beton.html (Mart 06, 2023).

ÇEVRE SORUNLARI ve ÇÖZÜM YOLLARI

Perlit madenciliği genel olarak yerleşim alanlarından uzak bölgelerde yapıldığında kapsamlı bir sorun yaratmaz. Açık ocak işletmelerinde pasa atıkları görüntü kirliliğine neden olabilir. Dolayısıyla bu atıklar bertaraf edilmeli, uygun koşullar varsa tarım ve diğer amaçlarla değerlendirilmelidir. Ocak işletmesi sırasında ortaya çıkan toz ve partiküller de denetlenebilir. Ocak alanının düzenli sulanması ve özel filtrelerin kullanılması ile ortaya çıkan hava kirliliği önlenebilir.

Perlitin zenginleştirilmesinde kimyasal işlemlerden çok fiziksel işlemler uygulandığından önemli bir çevre sorunu beklenmemektedir. Bu işletmelerde açığa çıkan atık sular, sızdırmaz foseptiklerde depolanarak yeraltı suyuna karışması engellenebilir.

Perlit yataklarının ocak işletmesi sırasında büyük çoğunlukla patlatma yapılır. Oluşan gürültü kirliliği işletmelerin yerleşim alanlarından uzak olması nedeniyle, bu etki pek fazla önemli değildir. Ancak, çalışanların korunması gerekmektedir. İşletme sırasında kırma ve öğütme işlemlerinden kaynaklanan partikül maddeler ise tekrar işlenmek üzere toplandığından bunların çevreye olumsuz etkileri

denetlenebilir. Ancak, genleştirme yani ısıtma işlemleri sırasında çeşitli yakıtların kullanılması zorunludur. Kullanılan yakıtın türüne göre çeşitli düzelerde hava kirliliği oluşur. Dolayısıyla bu işlemlerin, yerleşim birimlerinden uzak yerlerde yapılmasına özen gösterilmelidir (Yılmaz, 2009).

Perlit ve benzeri maden genleştirme tesisleri ÇED Yönetmeliği (2022) EK-2 listesinde yer almaktadır. Dolayısıyla bu kapsamdaki projeler için Proje Tanıtım Dosyası'nın hazırlanması yeterlidir.

SONUÇLAR

Perlit kendine özgü, camsı bir yapıya sahiptir. Bu yapı, magmanın hızla soğumasının sonucudur. Perlit ani olarak ısıtıldığında, mısır gibi patlar ve hacmi 40 katı kadar büyüyebilir. İşte bu genleşmiş hali ile çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Isı ve ses yalıtımı özelliği, hafifliği, su tutma kapasitesi gibi özelliklerinden birçok sektörde yararlanılmaktadır.

Perlitin ocak işletmesi ve cevher zenginleştirme işlemleri yerleşim birimlerinden uzak yerlerde gerçekleştirilebilir. Perlitin genleştirilmesi, yatağında değil de pazar bölgelerine yakın alanlarda yapılmalıdır. Böylece ekonomik açıdan tasarruf sağlanabilir.

Türkiye'deki perlit yatakları dünya rezervinin önemli bir kısmını oluşturur. Bu yataklardan kaliteli perlit üretimi yapmak mümkündür. 6,6 milyar ton olan dünya rezervinin 4,5 milyar tonu Türkiye'dedir. Ülkemiz Dünya perlit rezervinin yüzde 74'üne sahiptir. Onun için bu kaynağın kullanılabilirliği ile ilgili ARGE araştırmaların da geliştirilmesinde yarar vardır (Yılmaz, 2009).

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

DPT, 1992, Perlit, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 32 s.

https://www.google.com.tr/görseller/perlit (2016). https://www.siteper.com/ (2016).

Karaman, E. ve Kibici, Y., 1999, Temel Jeoloji Prensipleri: Devran Matbaacılık, Necatibey Caddesi No: 31/D, 06440, Sıhhiye, Ankara, 361s.

MTA, 1977, 1. Ulusal Perlit Kongresi, Bildiriler, 20-22 Aralık 1977, Ankara, 184 s. www.google.com.tr/görseller/perlit (2016).

www.mta.gov.tr

www.ankaraperlit.com, 2016

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

3. 6, PONZA/POMZA

GENEL BİLGİLER

Ponza, asidik ya da bazik kökenli volkanizmanın ürünü olan camsı volkanik bir kayatürüdür. Ponza ya da Ponza, gözenekli ve çok hafif volkanik bir kayatürü olup, adı İtalyanca'dan gelir. Ponza için diğer dillerde farklı adlar kullanılmaktadır. Örneğin, Fransızca'da ponce, İngilizce'de pumice kullanılmaktadır. Doğal olarak ince taneli gereçlere pumisit denir. Almanca'da ise iri taneli olanlara bimsstein, küçük taneli olanlara bims adı verilmektedir. Türkçe'de ise ponza; süngertaşı, nasır taşı, topuktaşı, hasır taşı gibi adlar kullanılmaktadır.

Ponza taşına ilişkin en eski bilgiler, MÖ 1. yy' da Vitruvio'ya ait mimari kayıtlara dayanmaktadır. Vitruvio kümeleri, sudan hafif olduğundan yüzücü olarak da tanımlanırlar. Ayrıca bu kayıtlarda ponzanın suyu emmediği ve sağlık açısından iyi olduğu da belirtilir.

Avrupa'da en önemli ponza işletmesi, Lipari adalarında bulunur. Eski Romalılar zamanında, ponza taşı çoğunlukla termal banyoların ve tapınakların yapımında kullanılmıştır. Bu yapılar, bugün bile halen ayaktadır. Roma dönemine ait en belirgin örnekler Roma Pantheonu ve İstanbul'daki Ayasofya kilisesidir. O dönemlerden sonra ponza taşı 1800'lerde Almanya'nın Rhinenland şehirlerinde de kullanılmıştır. Ponza, ayrıca yüzey temizleme işlerinde ve mermerlerin parlatılmasında kullanılmaktadır.

Avrupa'da ise ponza taşına pek ilgi gösterilmemiştir. Ponza taşının yaygın bir biçimde yapı gereci olarak kullanılması, 1851 yılında California'da başlamıştır. O zamandan günümüze 15 eyalette ve 103 çalışma alanında ponza taşı kullanılmıştır.

ÖZELLİKLERİ

Ponzanın temel özellikleri İMİB (1988) ve TMMOB (1998) tarafından sunulmuştur. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik ponza, beyaz, kirli renkte olanıdır. Bazik ponza ise yabancıların Scoria dedikleri Türkçe'deki bazaltik ponza olarak bilinen kahverengimsi siyahımsı renkteki ponza türüdür.

Her iki ponza türü de oluşum sırasında ani soğuma ve gazların ani olarak çıkışı sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Gözenekler birbirleri ile bağlantılı değildir. Ponzanın kendine özgü bu gözenekli yapısından dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür. Asidik magmanın yoğunluğu bazik olanlara göre daha az olup 0.5-1 g/cm^3 arasında değişmektedir. Bazik ponzanın yoğunluğu ise daha fazla ve 1-2 gr/cm^3 arasında değişmektedir.

Sertliği Mohs sıralamasına göre 5-6'dır. Bünyesinde kristal suyu yoktur. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriğine sahiptir. Kimyasal bileşiminde % 60-75 SiO_2, % 13-17 Al_2O_3, % 1-3 Fe_2O_3, % 1-2 CaO, % 7-8 Na_2O-K_2O ve ayrıca eser miktarda TiO_2 ve SO_3 bulunmaktadır.

Boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda meydana gelmiş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır (Şekil 1). Başka bir deyişle, ponza gözenekliliği çok olan volkanik cam şeklinde de ifade edilebilir. Oluşumu sırasında, bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makrodan mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek oluşur. Gözenekler arası genelde –özellikle mikro gözenekler- bağlantısız boşluklu olduğundan geçirgenliği düşük, ısı yalıtımı oldukça yüksektir.

Ponza, köpürmüş magma kökenli çok gözenekli, camsı görünüştedir. Ponza ayrıca bir yapı türü olup, belli bir kaya türüne bağlı değildir. Ponza taneleri köşeli ve yuvarlak olabilir. Ponza yataklarında % 50-% 15 arası yabancı madde olabilir. Ponzada gözenek hacimleri % 85'e kadar çıkabilir. Bu bir ponza tanesinin % 85'inin boşluk, % 15'inin katı madde olabilmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 1. Ponza taşının gözenekli yapısı (https://tr.wikipedia.org/wiki/Ponza).

Ponza, rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile benzeri volkanik camsı kayalardan (perlit, obsidyen, pekştayn) pratik olarak ayrılır. En çok renk benzerliği, yakınlığı ve kimyasal bilişimi bakımından perlit ile karşılaştırılmasına karşın, bazen perlitten ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Ponzalı perlit veya perlitik ponza olarak isimlendirilen kayalarla petrografik analiz sonuçlarına ve gözenek yapısına göre kolaylıkla ayırtılabilmektedir.

Fiziksel özellikler

Asidik ve bazik ponza da, oluşumu sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Ancak, asidik magmanın yoğunluğu bazik magmaya göre daha düşük olup, ponzanın yoğunluğu yaklaşık 0,5-1 g/cm^3 dolayındadır.

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler sonucunda iki tür ponza oluşmuştur. Bunlar: asidik ponza ve bazik ponzadır. Diğer bir deyişle, bazik ponzaya bazaltik ponza ya da **scoria** da denilmektedir. Bazaltik ponza, koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlık 1-2 g/cm^3 dolayındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan asidik ponza, beyaz kirli görünümünde ve grimsi beyaz renktedir.

Ponzada gözenekler, çoğunlukla birbiriyle bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, her biri diğerinden camsı bir zarla ayrılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen bir kayadır. Gözeneklilik yüzde 85'in üzerinde olduğu için toprağın havalanmasını sağlar. Ayrıca izolasyonu yüksek olan ponzanın sertliği de Mohs sertlik dizisine göre, 5-6'dır.

Saf özgül ağırlık kuru kütlenin, hacme oranı (gözenek hacmi hariç) 2.2 g/cm^3 dolayındadır. Tane özgül ağırlığı kuru kütlenin, tüm hacmine oranı ise tane büyüklüğüne ve yatağa göre değişir. Ponza tanesi büyüdükçe tane özgül ağırlığı azalır. Tane boyutları arttıkça gözenek yüzdesi de artmaktadır. Ponzanın gözenek yüzdesi volkan bacasından uzaklaştıkça artar. Ponzanın yüzdesinin yükseldiği ve buna bağlı olarak düşük özgül ağırlığı, izolasyon amaçları için dökme malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Ayrıca su artıma tesislerinde filtre malzemesi ve hafif duvar harcı için katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Bu amaçlar için ponza, yıkanır, yabancı elemanlardan temizlenir, kurutulur ve tane büyüklüklerine göre sınıflandırılır. Böylece yığın halindeki yoğunluğun 0.30 kg/dm'den aşağıda olması sağlanır.

Yüksek gözeneklilik derecesi nedeniyle, ponza tanelerinin dayanıklılıkları sınırlıdır. Ancak bu dayanıklılık, taşıyıcı duvar yapımında kullanılan taş dayanıklılıklarına uygundur. Ponza çok iyi bir ısı izolatörüdür. Bu özelliği bims blok üretiminde daha da arttırılır. Yığın gözenekliliği için betonun oldukça ince harçla yapılarak sadece ponza tanelerinin etrafını ince kaplaması sağlanır. Ponza, volkanik cam olduğu için kolay öğütülür. Öğütülmüş ponza, taşlama ve parlatma amaçları için kullanıldığı gibi; kibrit fabrikalarında ateşleme malzemesi ve dolgu maddesi, sabun ve kozmetik sanayinde de aynı amaç için kullanılabilme durumu söz konusudur.

Kimyasal özellikleri

Ponzanın kimyasal bileşiminde genel olarak

- % 60-75 SiO_2,
- % 13-17 Al_2O_3,
- % 7-8 Na_2O-K_2O,
- % 1-3 Fe_2O_3
- % 1-2 CaO ve
- eser miktarda TiO_2 ve SO_3 bulunmaktadır.

Kayanın içerdiği SiO_2 yüzdesi kaynağa aşındırıcı (abrasif) özellik kazandırmaktadır. Bu yüzden ponza, çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapıya sahiptir. $A1_2O_3$ bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Na_2O ve K_2O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir.

Asidik karakterli ponzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan, bazik karakterli ponzalarda da alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranlarda bulunması nedeniyle diğer endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum içerir ve bu bileşimler nedeniyle de açık renkli görünüm sergilemektedirler. Asidik ve bazik özellikler taşıyan ponzaların tipik kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Ponzanın kimyasal bileşimi (İMİB,1988; TMMOB 1998).

Bileşime katılan oksitler	**Asidik Pomza**	**Bazik Pomza**
SiO_2	70	45
Al_2O_3	14	21
Fe_2O_3	2.5	7
CaO	0.9	11
MgO	0,6	7
Na_2O-K_2O	9	8
A.K.	3	1

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Ponza, volkanik camsı yapıda bir kaya türü olup asidik ya da bazik kökenli volkanik faaliyetlerin ürünü olarak oluşmaktadır. Arazide masif, açık gri rengi, hafif ve kimi yerlerde katmanlı olan yapısı ile tanınırlar (Şekil 2).

Asidik magmanın bazik magmaya göre akışkanlığı (vizkozitesi) daha azdır. Asidik magma yüksek oranda SiO_2 içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Bu nedenle volkanik faaliyetin durduğu zamanlarda magma akışı da durarak asidik kayalar oluşur. Volkanik baca içinde tıkanma sonucu doğal basınç artabilir.



Şekil 2. Ponzanın yer aldığı kaya birimlerinin arazideki görünümü (http://www.isolaponza.it/).

Basıncın artmasıyla asidik malzeme ile birlikte magma içinde erimiş durumda bulunan gazlar büyük patlamalarla bacadan püskürtmeye başlar. Ani basınç artışı ani genleşmeleri oluşturur. Bu sırada magmadaki uçucu bileşenler ani olarak magmadan uzaklaşır. Uçucuların çıkışını izleyen aşamadan sonra, kalan lavlar, atmosferle temas eder etmez hızla soğur. Böylelikle ponza oluşur. Volkan faaliyeti sonrasında genellikle volkanın krateri zamanla bir krater gölü şekline dönüşebilir.

Burada, ponza oluşumunu denetleyen faktörler:

- Püskürtme süresi.
- Ara süreler,
- Magmanın ısısı,
- Magmadaki erimiş gaz miktarı,
- Püsküren malzemenin soğuma zamanıdır.

Ponza parçaları, volkan bacalarının yakınından itibaren uzaklara doğru hava akımının da etkisiyle, eski yüzeyin şekline uygun olarak depolanarak ponza yataklarını oluşturur. Ponza yatakları zamanla akarsular tarafından taşınarak çeşitli havzalarda yeniden depolanabilir. Bu şekilde oluşan yataklar, % 1-3 oranında andezit, traki-andezit, bazalt, obsidiyen gibi volkanik kaya parçaları içerir. İkincil durumda oluşan ponza yataklarında, yabancı gereçlerin daha fazla olması mümkündür. Ponzanın oluşumundaki taşınma mekaniği, basitleştirilmiş olarak üç ana grupta ele alınabilmektedir. Bunlar:

1. Düşme (buluttan çökelme) ile yığılma,
2. Fırlatma ile yığılma,
3. Akma ile yığılma şeklindedir.

1. Düşme ile yığılma iyi bir değişim sergilemekte, tane büyüklükleri de dar aralıklarda kalmaktadır. Bu tür pomza oluşumunda tabaka kalınlıkları çok incedir. Birkaç santimetre ve/veya desimetre kadardır.

2. Fırlatma ile yığılma şeklinde meydana gelmiş ponza yataklarında ise, bazen düzgün ve yer yer birbiri içine itilmiş katmanlar ve arada bazaltik akıntılar yer alır. Patlama-çarpmanın etkisi ile yapıda parçalanma ve sıkışma görülür.
3. Akma ile yığılma şeklinde oluşan ponza yataklarında ise, genel olarak pasif bir yapı, katmanlarda yoğun ve ileri derecede bir ayrışma ve boyut sınıflandırması yok denilecek kadar az bir oluşum görülmektedir. Bu oluşumun en açık göstergesi ise, gang minerallerinin alttaki tabakalarda kalması, ponzanın ise serbest bir şekilde üst düzeylerde bulunmasıdır.

ÜRETİM YÖNTEMİ ve TEKNOLOJİSİ

Ponza ocaklarında üretim, **açık işletme yöntemleri** ile yapılmaktadır. Üretimde yükleyici Looderler kullanılmaktadır. Üretim alanlarının tarım yapılan arazileri kapsadığı bölgelerde, üst örtü tabakasının kepçe veya dozerler ile sıyrılarak bir yere yığılması ve ponza üretimini müteakip bu toprağın üretim alanlarına serilmesi şekliyle üretim yapılmakta böylece tarım arazileri korunmakta ve aynı alanda tarım yeniden yapılabilmektedir.

Açık işletme elde edilen ponza madeni, kamyonlar ile bims blok üretim prosesi için fabrikaya sevk edilir. Fabrikada uygun kırma-eleme sistemlerinde boyut küçültülerek sınıflandırılır ve bims blok agregası haline dönüştürülür. Ponza boyutlandırlmış ve sınıflandırılmış olarak ayrı ayrı silolara nakledilir. Bims blok üretim sistemi tamamen bilgisayar otomasyonlu robot teknolojisiyle donatılmış olan mekanize bir sistemle, silolarda toplanan bims agregası ve bağlayıcı olarak çimentonun su ile homojen olarak karıştırılması için miksere alınır (www.isparta.bel.tr).

Bims beton karışımı yüksek basınç ve vibrasyon altında kalıplara preslenir. Kalıp içerisinde istenen şekle giren bims beton paletler, elavatör ve taşıyıcı robot vasıtasıyla priz kazanmak üzere kamaralara yerleştirilir. Bimsblok istenilen dayanıma ulaştıktan sonra yine taşıyıcı ve istifleyici robot vasıtasıyla paletlemeye alınır. Paketlenen bims bloklar stok alanına sevk edilir (www.isparta.bel.tr).

İlk işletme aşaması olarak değerlendirilen, açık işletmeye dayalı ocaktan ham ponza elde edilmesi çok büyük yatırım gerektirmez. Ocağın konumu, nitelikleri, cevher zonunun şekli, dekapaj çalışması, pasanın ve kaldırılan örtü malzemesinin yerlerinin belirlenmesi aşamalarından sonra üretime kolaylıkla geçilebilir. En önemli sorun ponza içindeki volkanik kaya parçacıklarıdır. Havuzda yüzdürülen ponza, dibe çöken kaya parçalarından kolaylıkla ayrılabilmektedir.

Ülkemizde ponza üretimi, çok ilkel şekillerle yapılmaktadır. Bu arada, büyük üretim kayıpları olmakta ve arazilerin ilksel topoğrafyası bozulmaktadır. Her ne kadar tarım yapılan yerlerde üretimi izleyen evrelerde gerekli düzeltmeler yapılıyorsa da dağlık ve engebeli arazilerde bu işlem yapılamamaktadır. Ponza kalınlığı 7-10 m'ye varan işletmelerde büyük kot farklılıkları oluşmakta ve arazilerin kullanılma olanağı tamamen ortadan kalkmaktadır.

Tekstil sanayinde kullanılan ponzalar belirli çaplardaki (3-7 cm) eleklerden ve tanburlardan geçirilmekte bu sırada gerektiğinde yıkama da yapılabilmektedir. Belirli özelliklere göre sınıflandırılan ponzalar 50 kg'lık torbalara doldurularak sevk edilmektedir. Bu tür üretimlerde elek altı ponzalar ayrıca inşaat sektöründe kullanılan ponza niteliği kazanmaktadır. Ancak, ülkemizde üretimi ve ihracatı sürdürülen ponza taşı belirli ve düzenli bir yapıya kavuşturulamamıştır.

Üretim bazında diğer bir ana sorun ise ambalajlama çalışmalarıdır. Bilindiği üzere her sektörde ürün tanıtımı ve pazarlama ambalaj özellikleriyle çarpıcı bir noktaya gelebilmektedir. Nitekim dünya ticaretinde, her metada alıcının ilk dikkat ettiği özellik, albenisi olan standart bir ambalaj biçimidir. Kimi zaman ürün kalitesi bile ikinci plana düşebilmektedir.

KULLANIM ALANLARI

Ponza başlıca şu sektörlerde kullanılmaktadır (DPT, 1980; Karaman ve Kibici, 1999; http//ekutup.dpt.gov.tr/madencilsanayiha/oik491c2pdf).

- Tekstil
- Tarım
- Kimya
- İnşaat
- Diğer sanayi ve teknolojik alanlarda.

Tekstil sektörü

Ponza, ülkemizin endüstrisinde en önemli paya sahip olma konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında ponza, aranılan ve azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biri olmuştur. Yaygın olarak **kot taşlama** olarak bilinen bu işlemde ve kot kumaşların renklerinin açılması (ağartılması) ve kumaşın yumuşatılması ponza ile yapılmaktadır. Bu sektörde ponzanın belirli fizikokimyasal özellikleri taşıması aranır. Bu özellikler özetle aşağıda sunulmuştur:

- Ponza orta sertlikte olmalı ve kırılmadan ezilmelidir, Mineralojik yapısında ponzadan sert mineral olmamalıdır.
- Yabancı madde içermemeli, kimyasal yapısında içerdiği FeO, K_2O ve Na_2O miktarları istenilen limitlerde olmalıdır (kumaşı boyanmamalıdır). Kuru, yüksek gözenekli ve yuvarlatılmış olmalıdır, Kullanılan ponzanın kalitesi standart olmalıdır.
- Beyaz renkte ve suda belirli süre yüzme kabiliyetine sahip olmalıdır.
- Su emme miktarı, istenilen limitlerde olmalıdır.
- Kot taşlama işleminde 0,5 kg/giysi miktarında ponza tüketilmektedir.

Tarım sektörü

Ponza gelişmiş ülkelerin çoğunda tarımda kullanılmaktadır. Toprak örtüsünün biraz altında yastıklama yöntemi ile köklere yakın yerlere ponza serpilmektedir. Bünyesine aldığı suyu uzun süre tutarak sürekli nemli bir ortamın oluşmasını sağladığından ve kuraklığa çare olarak kısmî bir çözüm getirdiğinden ponza yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Günümüzde, su kaynaklarının yetersiz olması ve sulama suyunun da aşırı buharlaşmasından dolayı su kaybının önüne geçirebilmesi için, toprağın altında belirli bir derinlikte ve belirli bir kalınlıkta serilen ponza tabakası içerisinde (yastıklama), toprak altından su vererek, bitkilerin gereksinimi olan suyun doğrudan olarak köklere ulaşması sağlanmaktadır. Bu vesileyle, fidanlıklar, peyzaj alanları, golf sahaları, seralar, süs bitkilerinin yetiştirilmesi gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Şekil 3). Bu uygulamalarda, buharlaşmadan kaynaklanan su kaybı en aza düzeye indirilmektedir.

Toprağın su tutma özelliğinin iyileştirilmesi (hidrokültür) özellikle su sorunu olan bölgeler için gereklidir. Perlit, 760 ^oC-1200 ^oC arasındaki sıcaklıkta; kil ise, 12 ^oC'de genleştirilerek tarımda kullanılmaya uygun hidrokültür hammaddesi haline dönüştürülmektedir. Ponza ise, doğal halde bir hidrokültür hammaddesi olduğundan maliyeti, genleştirilmiş perlit ve kile oranla çok daha düşüktür. Öte yandan sıvı gübre kullanımı söz konusu olduğunda, ponza gübre kaybını minimuma indirdiği gibi yeraltı su kaynaklarının kirlenmesinin de önüne geçmektedir.

Kimya sanayi

Günümüzde ponza aşağıda sunulan kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Tarım ilaçları ve kibrit sanayinde taşıyıcı olarak,
- Gübre sanayinde gübrenin topaklaşmasının önlenmesinde,
- Diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak,
- Birçok sektörde absorban malzeme olarak,
- Özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı malzemesi olarak.



Şekil, 3. Ponzanın süs bitkilerinin yetiştirilmesi amacıyla kullanıldığı bir görüntü (www.sancakdar.com.tr).

İnşaat sanayi

Ülkemizde ve Dünya'da geniş anlamda inşaat sanayinde kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen ponzanın % 90'ı yurt içinde inşaatlarda kullanılmaktadır. Ponza, perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde kullanılır. Perlit gibi genleştirmek için enerji ve yatırım gerekmediğinden, inşaat sektöründeki kullanımı son yıllarda hızla artış göstermektedir. Bu artışın elbette somut nedenleri vardır. Bu nedenlerin başlıcaları şöyle sıralanabilir.

Ponza; normal kumun ve çakılın 1/3 ile 2/3'ü kadar yoğunluğa sahiptir. Aynı durum ponza ile yapılan betonlarda da görülür. Ponza betonun normal betondan hafif olması nedeni ile zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca zemin mekaniği açısından temele iletilen yük azalacağından yaklaşık % 17 civarında inşaat demirinden tasarruf sağlanması mümkündür.

Diğer kullanım alanları

Ponzanın ısı geçirgenlik kat sayısı normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağlamakta ve bu özelliğinden dolayı da büyük çapta ısı ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Örnek olarak TS-1114'e uygun hafif gözenekli gereçlerin (Türkiye'de üretilen ponzalar genelde TS-1114'e uygundur) birim hacim ağırlığı 800-900 kg/m^3 ve ısı iletkenliği hesap değeri 0.33-0.8 kcal/mh ^oC'dir. Bu örneklerde görülebileceği gibi ponzadan üretilen yapı elemanlarının ısı yalıtımı diğer malzemelerden üretilenden kat kat fazladır. Bunun en büyük nedeni gözenekli oluşudur.

- Çeşitli sanayi sektörlerinde aşındırıcı olarak

Oldukça hafif aşındırıcı olarak sınıflandırılan ponza gerek doğal gerek doğal olmayan madeni eşyaları ve yumuşak metalleri (gümüş gibi) cilalamakta da kullanılır.

- Diğer endüstriyel ve teknoloji alanlarında ponzanın kullanımı şöyledir.
- Kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayinde aşındırıcı,
- TV tüpleri ve elektronik devre ve ciplerin üretiminde hassas temizleme maddesi,
- Yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde katkı,
- Asfalt kaplamalarda (özellikle sıcak iklimli bölgelerde) yüzeye bitüm kusmayı engelleyici katkı maddesi,
- Karayollarında; buzlanmaları denetim altına almada,
- Dekoratif ve yalıtımlı, hafif tavan kaplama malzemelerinin üretiminde, gibi pek çok sektörde kullanım olanağı bulmaktadır.

Peeling amacıyla ponza taşının vücudumuzda en sık kullanıldığı bölge ayaklardır (Şekil 4). Bu nedenle ponza halk arasında topuk taşı olarak bilinir. Ponzayı topuk taşı olarak kullanırken ölü derinin dökülmesi için ponza taşını dairesel hareketlerle bölgenin üzerinde gezdirin. Eğer bölgenin yeterince tazelendiğini düşünüyorsanız, ponza taşıyla ovalamayı bırakabilirsiniz. Eğer ölü derilerden yeterince arınmadıysa, temizlendiğinden emin olana kadar dairesel hareketlere devam edebilirsiniz. Ancak ponza taşını cildinizi tahriş etmemek için derinize sertçe bastırmayın. Daha sonra cildinizi kurutup, bir nemlendirici sürmekte yarar vardır.



Şekil 4. Topuk taşı olarak kullanılan ponza (www.makaleler.com).

Günümüzde seramik malzemelerin sırlanmasında, refrakter malzeme, hafif izo-akustik sıva üretiminde biyo-teknoloji alanlarında absorban malzeme olarak ve su arıtım teknolojisi gibi pek çok alanda kullanıma ilişkin çalışmaların da sürdürüldüğü bilinmektedir.

ÇEVRE SORUNLARI

Son 20 yıl içerisinde teknolojinin ve çevre bilincinin birlikte gelişmesi ponza taşının kullanımını ve birçok sektöre yayılmasını sağlamıştır. Ponza taşının üretim aşaması ve pazarlama aşaması bazında ortaya çıkan sorunlar ve öneriler aşağıda irdelenmiştir (Yılmaz 2009 ve içindeki kaynaklar).

Üretim sorunları

Açık ocak işletme aşamasında, ocaktan ham ponza elde edilmesi sırasında özensiz bir çalışma düzeni egemendir. Bu tür işletmelerde görüntü ve gürültü kirliliği olağan kirlilik türleridir. Özellikle ponzanın üretim sürecinde işletme sahalarında gelişigüzel atılan katı atıklar çevrede **görüntü kirliliğine** yol

açmaktadır. Ocağın konumu, nitelikleri, cevher zonunun şekli, dekapaj çalışması, pasanın ve kaldırılan örtü malzemesinin yerlerinin belirlenmesi bilinçsiz olarak yapılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, zaman ve cevher kaybı da olmaktadır.

Ocaktan çıkarılan ponza, tüm aylarda ortalama % 30-35 civarında rutubet içermektedir. Yağışlı aylarda bu oran daha da yükselmektedir. Yine yağışlı aylarda ocak sahasında, ponza çamura bulanmakta, beyaz rengini görünüş olarak yitirmektedir. İşletme teknolojisinde, rutubetin giderilmesi, dış yüzeylerin temizlenmesi ve ocaktan pomza ile birlikte alınan volkanik çakılların ayıklanması konularına özen gösterilmelidir.

Standartlaşma konusunda, ilgili her üretici, kendi bazında bir ölçülendirme ve sınıflandırma çabası içindedir. Bu durumda, ithalatçılar bir kargaşaya düşmekte, taleplerde yer alan değerlendirme ve ürün türü özellikleri tartışmalı konulara çekilmektedir.

Üretim bazında dikkat edilmesi gereken diğer husus ise ambalajlamadır. Bilindiği üzere, her sektörde ürün tanıtımı ve pazarlama ambalaj özellikleriyle çarpıcı bir noktaya gelebilmektedir. Nitekim dünya ticaretinde, her meta için alıcının ilk dikkat ettiği özellik, albenisi olan standart bir ambalaj şeklidir. Kimi zaman ürünün kalitesi bile ikinci plana düşebilmektedir.

Ponza konusunda standart bir paketleme sistemi geliştirilmelidir. Kalitesi, şekli ve ağırlığı belirsiz, gelişigüzel bir ambalajlama yapılmamalıdır. Niteliksiz üretim, standart dışı çalışma ve kalitesiz ambalajlamadan sakınılmalıdır. Bu durumlara özen gösterilirse, ülkemizin ponza taşı üretimi ve ihracatı hakkındaki değerlendirmeler olumlu bir yönde seyir edecektir.

Öneriler

Üretim sorunları başlığı altında dile getirilmeye çalışılan bu sorunlara, akılcı ve acil çözümler getirilmelidir. Bu amaçla geliştirilebilecek öneriler şöyle sıralanabilir (Yılmaz, 2009):

1- İşletilmekte olan ve işletmeye açılacak olan ocaklarda, en uygun işletme teknikleri belirlenerek verimli çalışma sağlanmalı, böylece zaman, işgücü ve potansiyel ürün kaybı en alt düzeye indirilmelidir. Bu aşamaya gelebilmek için, zaman kaybetmeksizin ilgili kişi, kurum ve kuruluşlardan, bilimsel ve teknik yardım talebinde bulunulmalı, işletme projeleri sağlıklı olarak geliştirilmelidir.

2- Ocaktan sağlıklı yöntemlerle elde edilen ham ürün, işletme aşamasında, çağdaş bir üretim teknolojisiyle işlenmeli, gerekirse üretici firmalara uygun koşullarda finansman kredisi sağlanarak eldeki tesisler çağdaş bir düzeye getirilmelidir.

Ocak çıkışında ayırt edilemeyen volkanik çakıllar, diğer yabancı materyaller ve sınıflandırma haricindeki küçük ponza çakılları, uygun sistemler kurularak, ilk aşamada tamamen ayıklanmalı, taş yüzeyindeki bulaşıkları gidermek, temiz ve net bir dış görünüşün sağlanması için yıkama işleminin yapılması sağlanmalı ve kurutma mutlaka gerçekleştirilmelidir.

3- Ürünün standart hale gelebilmesi için, üretici firmalar iş birliğine gitmeli, ilgili kuruluşlardan ve üniversitelerden bu aşamada da bilimsel ve teknik yardım sağlanmalıdır. Sorun nitelikli bir ürün sunmak olduğu için, bu ürünün kullanım alanlarındaki talep özellikleri özenle araştırılmalı, sistem alıcının isteği doğrultusunda yerleştirilmelidir. Bu sayede, alıcı ile satıcı arasındaki nitelik ve kalite tartışmaları kendiliğinden sona erecektir. Standart ve kaliteli ürün, yine alıcının istekleri doğrultusunda, sağlıklı ve düzenli bir ambalaj sistemiyle cazip hale getirilecektir.

Sonuç olarak, ithalatçı hangi ihracatçı ile iş birliği yaparsa yapsın, aynı isim altında aynı ürünü bulacak ve tercih hakkını daima daha da kaliteli ürün verme çabasındaki üreticiden yana koyacaktır. Bu doğal rekabet ortamında ayakta kalabilme savaşı üretim bazında kalite artışını beraberinde getirecektir.

Yukarıda sunulan öneriler, gerek üretim süreçleri gerekse kullanım evrelerinde uygulanabilir projelerde ÇED yönetmeliği (2022)'nde öngörülen planlama çerçevesinde yapılırsa, ortaya çıkması olası çevresel sorunlar da denetlenebilir.

SONUÇLAR

Ülkemizde üretim ve pazarlama aşamalarındaki sorunların, kısa zamanda ve gerçekçi yöntemlerle çözülmesiyle, ponza taşını gerek kalite gerek tanıtım ve gerekse pazarlama açılarından diğer ülkelerle rekabet edebilen bir düzeye çıkarmak, böylece ülke ekonomisine katkısını belli bir düzeye getirmek mümkündür.

İnşaat sanayinin hammadde girdisi olan ponzalar genellikle çok büyük üretim kayıpları ile çalışmakta, çevre konusunda büyük arazinin bozulmasına neden olmaktadır. Tarım arazilerinde yapılan üretimlerde araziler yeniden düzeltilerek tarıma elverişli hale getirilmektedir. Ancak ponza kalınlığı ve üst örtü tabakası çok yüksek olan (3-5 m) engebeli ocaklarda bu olanak pek bulunmamakta, işletme sahalarında yer alan çirkin yapılar çevrede görüntü kirliliğine yol açmaktadır.

Ponzanın Türkiye inşaat sektörünün yanı sıra tüm yurtta kullanımının özendirilmesi, toplu konut projelerinin yapılmasında, ponzadan üretilen briketlerin kullanımının sağlanması gerekir. Özellikle ısı ve ses yalıtımındaki özelliğinden dolayı tercih edilmesinin sağlanmasında bir kamu kurumunun öncülük etmesi önerilebilir. Bu sayede inşaat sektöründe kullanılan ponza üretimi daha sağlıklı yapılabilir.

Türkiye'nin ponza rezervleri göz önüne alındığında büyük bir potansiyelin bulunduğu görülmektedir. Bu potansiyelin yurtiçi ve yurtdışı tüketim alanlarına sunulması için devlet politikalarında buna uygun yaklaşımlar gösterilmelidir. İnşaat sektöründe özellikle toplu konutlarda bu tür malzemenin kullanımı teşvik edilmelidir.

İhracatta desteklemeler ve teşvikler getirilmeli, Türkiye ponzalarının Avrupa dışında da Dünya ülkelerine ihracatının arttırılması bu miktarın yıllık 500.000 ton seviyesine çıkartılması için ihracat koşullarında yeni politikalar geliştirilmelidir. Fiyatların düşmesi, piyasanın bozulmasında etkin olan düzensiz ve kalitesiz üretimlerin önüne geçilmeli ve ruhsat sahibi olmayan kişilerin kaçak üretim ve satışları engellenmelidir.

İhracatta ulusal firmaların standart üretime geçmesinin sağlanması, gerekirse bunu izleyen bir denetim mekanizması oluşturulmalıdır. İhraç fiyatlarının düşmesi ve pazarların daralması halinde üretim maliyetlerinin düşürülmesi için maden üreticilerine teşvikler uygulanmalıdır (Yılmaz, 2009).

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
DPT, 1980, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı yayın no. 2434, Özel İhtisas Komisyonu, Ankara, 491s. http//ekutup.dpt.gov.tr/madencilsanayiha/oik491c2pdf
http://www.isolaponza.it/
https://tr.wikipedia.org/wiki/Ponza.
Karaman, E. ve Kibici, Y., !999, Temel Jeoloji Prensipleri: Devran Matbaacılık, Necatibey Caddesi No: 31/D, 06440, Sıhhiye, Ankara, 361s.
TMİB, 1988, Ponza Taşı Semineri: Türkiye Maden İhracatçıları Birliği, İstanbul.
www.makaleler.com www.sancakdar.com.tr
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

3. 8, DİYATOMİT

GENEL BİLGİLER

Diyatomit olarak kullanılan hammadde, Almanca "Kieselgur", veya İngilizce "Diatomite" olarak adlandırılan sanayi hammaddesi, algler sınıfından olan diyatomelerin silisli kabuklarının birikip pekişmesiyle oluşmuş organik bir çökel kayadır. Diyatome olarak bilinen algler, içinde yaşadığı çevre suyundan sağladığı silisten yapılmış kabuk ile kavkı içinde yerleşmiş çok küçük bir protoplazmadan oluşur.

Geniş ve sığ havzalar, çok miktarda suda erimiş silis ve temiz sular, diyatomelerin gelişmesini sağlayan ve hızlandıran faktörlerdir. Sayıları 16.000'e ulaşan farklı diyatome türleri tatlı sularda, denizlerde veya hafif tuzlu sularda gelişmektedirler. Ölen diyatomelerin dibe çöken kabukları birikerek diyatomit yataklarını oluşturmaktadır. Çok aktif diyatome kolonileri yılda birkaç milimetre kalınlık yaratacak bir çökelme hızına ulaşabilmektedirler. Diyatomeler ilk defa 65-135 milyon yıl önce Kretase döneminde çok büyük oranlara ulaşmışlardır. Bugün ticari değeri olan diyatomit yataklarının çoğu ise Miyosen döneminde (7-27 milyon yıl önce) oluşmuştur. Diyatomeler bugün de denizlerde ve göllerde yaşamlarını sürdürmektedirler.

Başta süzme ve dolgu malzemesi olarak endüstriyel kullanım alanlarının vazgeçilmez hammaddesi olan diyatomitten yararlanma çok eski tarihlerden beri bilinmektedir. Bizanslıların Ayasofya'nın yapımında hafif olduğu için diyatomit tuğlası kullandıkları bilinmektedir. 17. yüzyılda Avrupa'da süregelen uzun iç savaşlar sırasında diyatomit una karıştırılmıştır. Diyatomitin eklenmesiyle yapılan ekmeğin lezzetli, ancak çiğnenmesi ve hazmı güç olduğu bildirilmektedir. Diyatomitin asıl endüstriyel kullanımı 19. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. 1863'te Kuzey Almanya'daki diyatomit yatakları ilk kez işletilmiştir.

Türkiye'de diyatomit, 'Moskof Toprağı' adı altında çok eskilerden beri bilinmekte, badana işlerinde ve tebeşir olarak kullanılmaktadır. Dünya'da ve Türkiye'de (özellikle MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1940'lardan bu yana) çeşitli dönemlerde diyatomit araştırmaları yapılmıştır (Bircan, 1968; Açıkalın, 1991). Şekil 1'deki kırmızı küçük noktalar ülkemizde belirlenen diyatomit yataklarını temsil etmektedir.



Şekil 1. Türkiye' de önemli diyatomit yatakları (www.mta.gov.tr; www.maden.org.tr/ ve http://jeolojimuhendisleri.net/dogal-nanomateryal-diyatomit/).

Türkiye'de çeşitli bölgelerde Neojen yaşta, volkanitlerle ardalamalı gölsel oluşuklardan yapılı istiflerde diyatomit yatakları belirlenmiştir. Belirlenen rezervler, oluşum ortamının yapısı ve koşullarına bağlı olarak, genellikle kil, volkanik kül, kum ve organik kalıntılar içerirler (Açıkalın, 1991; Yıldız, 1997).

ÖZELLİKLERİ

Diyatomiti oluşturan diyatome kavkısı, amorf silis-opaldan ($SiO_2.nH_2O$) yapılıdır. Kaya, bunun yanı sıra değişebilen miktarlarda su, organik materyal ve başta alüminyum ve kalsiyum olmak üzere değişik elementleri içerir. Bir diyatomit yatağının işletilebilmesi için % 80-90 SiO_2 içermesi gerekmektedir. Diyatomit katmanları kum, kil ve volkanik killerle ardışıklı olabilirler. Şekil 2'de diyatomit katmanlarını da içeren bir istifin arazide görünümü sunulmuştur. Çeşitli mineraller, diyatomit katmanlarında yer alabilir. Yine bazı silisli oluşumlar diyatomit yatağında gözlenebilir.



Şekil 2. Diyatomitin arazide görünümü (http://jeolojimuhendisleri.net/dogal-nanomateryal-diyatomit/).

Diyatomitin mikroskobik incelemesi de önemlidir. Diyatomelerin büyüklüğü, şekli ve kavkıların tam veya kırıklı oluşu, kırıntılı minerallerin varlığı gerek ortam gerekse kullanım alanı açısından bazı ön bilgiler sağlar. Uzun kavkıların hızlı süzdüğü yuvarlak diyatome formlarının ise izolasyon ve parlatıcı maddesi olarak daha verimli olduğu kanısı yaygındır. Tane boyları bazen çeşitli bileşenlerin yüzdesi olarak, bazen de belirli bir elek aralığından (Örneğin 150 veya 325 mesh) büyük tanelerin yüzdesi şeklinde verilir.

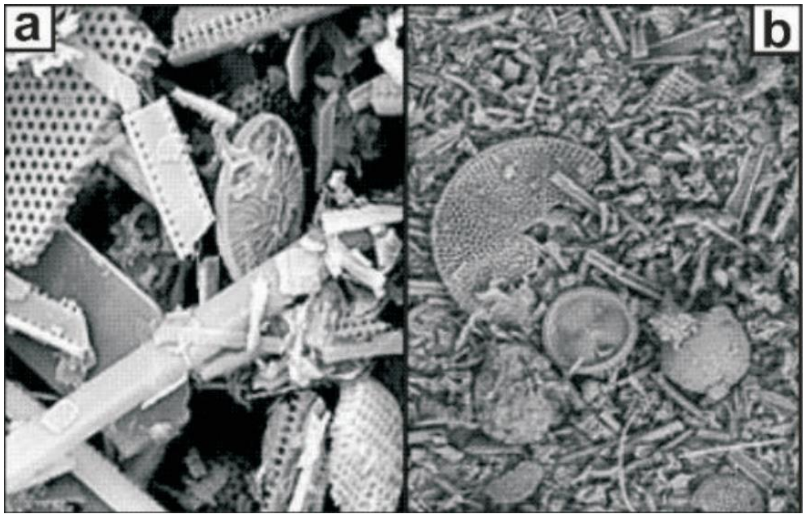
Düşük düzeyde diyajenez geçirmiş diyatomlu çamurlar ekonomik açıdan önem kazanmaktadır. Hafif diyajenetik ortamda diyatom kavkıları kırılmaz. Metamorfizma ya da kimyasal bozuşma geçiren diyatomlar ekonomik niteliklerini yitirir. Örneğin, metamorfizma etkili olduğu zaman, diyatomit opal, çört ya da porselenite bile dönüşebilir (http://jeolojimuhendisleri.net/dogal-nanomateryal-diyatomit/).

Fiziksel özellikler

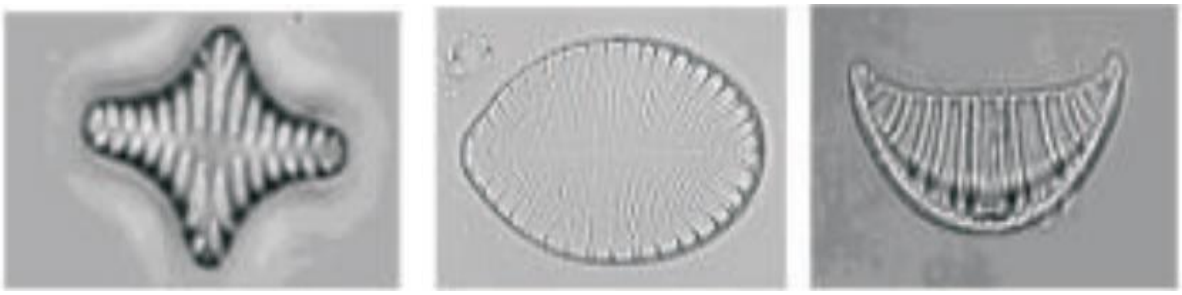
Genellikle gevşek yapılı ve hafif olup rengi beyazdan açık bej, gri ve koyu kahverengiye kadar değişebilir. Diyatomitin en önemli özellikleri diyatome kavkısından aldığı yüksek gözeneklilik ve geçirgenlik ile düşük özgül ağırlıktır. Diyatomit ağırlığının üç katına kadar su emebilir. Kuru durumda, özgül ağırlığı 0.15-40 g/cm^3 arasında değişir. Mohs sertlik cetveline göre, diyatome kavkısının sertliği 4.5-6 olmakla birlikte, diyatomitin sertliği 1.5'dan fazla değildir.

Çoğunlukla gevşek bir yapıdadır. Elde un gibi dağılır, dişler arasında kolaylıkla ses çıkararak kırılır. Genellikle açık renklerde olur. Tane boyu dağılımı, kayayı oluşturan diyatomitlerin türüne ve boyuna kavkıların tam veya kırıklı oluşuna, kil gibi katkıların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir.

Diyatomların taramalı elektron mikroskoptaki görüntüleri Şekil 3'de; yalın biçimleri Şekil 4'de görülmektedir. Diyatomların şekilleri çubuk ve daire biçiminde ya da bulundukları ve geliştikleri yere göre, yıldız, elips, yarım ay gibi değişik şekillerde de bulunabilirler.



Şekil 3. Diyatomların taramalı elektron mikroskopta (SEM) çekilmiş görüntüleri. a: X5000, b: X2500. (http://jeolojimuhendisleri.net/dogal-nanomateryal-diyatomit/).



Şekil 4. Farklı diyatom şekilleri (http://jeolojimuhendisleri.net/dogal-nanomateryal-diyatomit/).

Kökeni organik çökel kayatürü olan diyatomit, HF dışında asitlerin çoğundan etkilenmez. Isı iletkenliği ise düşüktür.

Kimyasal özellikler

Kimyasal bileşim diyatomitin ekonomikliği için önemli temel bir parametredir. Diyatomitte çoğunlukla rastlanan alüminyum genellikle kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Demir ise, diyatomitlere eşlik eden piritten türemektedir. Karbonatlı türlerde kalsiyum yüksektir. Nem içeriği 105 ^{o}C'de ağırlığının sabitleşmesine kadar kurutularak belirlenir. Organik madde oranı 550 ^{o}C'de, ateşte toplam kayıp ise, 1000-1050 ^{o}C'de fırınlanarak saptanır.

Kimyasal analiz diyatomit için yapılan testlerin en önemlisidir. SiO_2 yanı sıra $A1_2O_3$, Fe_2O_3, Na_2O, K_2O, CaO, MgO, TiO_2, P_2O_5 görülmektedir. Diyatomit analizlerinde son yıllar X-Ray Floresans yöntemi özellikle kullanılmaktadır. Pudra, süzücü ve katalizör olarak kullanılacak diyatomitlerde ayrıca iz / eser elementlerin belirlenmesi önem kazanır. Diyatomitlerin bileşiminde yer alan önemli iz elementler Mn, Ni, V, Cr, Pb, Cu, F ve B' dır.

Organik maddenin diyatomite renk vermesi önemlidir. Bazı diyatomitlerde koyu yeşil, gri hatta siyah rengin olması olağandır. Çok az organik madde içeren diyatomitlerde renk beyaz ve açık gridir.

Ticari değere sahip diyatomitin % 86-94'ünü SiO_2, geri kalan kısmını ise alüminyum, demir ve kilden gelen alkaliler oluşturur. Bazı diyatomit örneklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Bazı diyatomit örneklerinin kimyasal bileşimleri (DPT, 2000).

Bileşim %	Basalt-Nevada	Afyon-Tinaztepe (Türkiye)
SiO_2	83.13	84.15
Al_2O_3	4.60 2.00	4.50 3.36
Fe_2O_3	2.50 0.64	1.07 1.03
CaO	1.60	0.47
MgO	- 0.23	0.44
Na_2O	5.30	- 4.92
K_2O		
$V_2O_5 + TiO_2$		
Kızdırma kaybı		

Diyatomitin absorpsiyon potansiyeli yüksektir. Diyatomit, ağırlığının üç katı su emebilir. En önemli özelliklerinden biri de % 85-90'lık bir gözeneklilik sağlayan bir yapıda olmasıdır. Isı iletkenligi 100-300 ^oC de 0,08 $KCal/m^2.^oC.h.$, 800 ^oC ve üstünde ise 0,11 $Kcal/m^2.^oC.h$ düzeyindedir. Ergime noktası bileşimine bağlı olarak 1000-1590 ^oC arasında değişir. Diyatomit birçok kimyasal maddeye karşı dayanıklı olup yalnızca yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan ve asit olarak da sadece HF (hidroflorik) asitten etkilenir.

Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. diyatomit fabrikasında üretilen çeşitli ürünlerin bileşimi ise Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. diyatomit fabrikası ürünlerinin özellikleri (DPT, 2000).

		Flaks-kalsine			Kalsine
AFT.5	Doğal	No.2	No.3	No.4	No.2
SiO_2	87,30	89,91	92,75	93,47	92,68
Fe_2O_3	1,95	1,72	1,39	1,10	1,83
Al_2O_3	3,23	2,40	1,66	1,13	2,60
CaO	1,09	1,02	0,76	0,66	0,66
MgO	0,45	0,30	0,24	0,20	0,44
Na_2O	0,47	3,49	2,45	2,13	0,89
K_2O	0,44	2,26	0,22	0,20	0,34
Kızdırma kaybı	4,43	0,50	0,50	0,50	050
Renk	Kirli beyaz	Beyaz	Beyaz	Beyaz	Pembe
Gevşek Ağırlık (g/l)	107,6	100,00	90,00	80,00	95,00
Ph (20 ^0C)	4,49	10,0 20	10,0	10,0 7	7,0
Ortalama çap (mikron)		0,60	10	1.15	15
Spesifik yüzey			0,90		0,65

Çizelge 2'de görüldüğü gibi ham diyatomitin çeşitli şekillerde işlenmesiyle elde edilen diyatomit ürünleri **doğal, kalsine, flaks-kalsine** olmak üzere başlıca üç gruba ayrılır. Bunlar da kendi aralarında tane boyu dağılımları, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yeniden sınıflandırılırlar. Ham diyatomitin sadece kurutulması ve içindeki yabancı maddelerin ayrılmasıyla doğal ürün elde edilir. Bu ara ürünün döner fırında 600-1000 ^{o}C de kalsinasyona tabi tutulmasıyla kalsine ve kalsinasyon sırasında flaks maddesi olarak eriyebilen alkali bir tuzun eklenmesi ile de flaks-kalsine ürünler elde edilir.

Türkiye'de diyatomit sektöründe üretimin yeni olması ve üretim yapan tek fabrikanın (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş.-diyatomit fabrikası) bulunması nedeniyle diyatomite dair değerlendirmeler söz konusu fabrika özelinde yapılmıştır.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Diyatomeler Jura'dan günümüze değin yaşamlarını sürdüren ve binlerce tür içeren mikroskobik bir alg (su yosunu) grubudur. Ancak asıl gelişmeleri Neojen'de olduğu için bu döneme ait yataklar yaygındır. Diyatomit yataklarının oluşumunu sağlayan diyatomlar günümüzde de yaşamlarını sürdürmektedirler. Fakat tür sayıları eskiye göre biraz daha azalmıştır. Diyatome kavkısı iki bölümden yapılı olup arada canlı hücre yer alır. Silisli algler olarak isimlendirilen diyatomeler, başlıca iki tip olarak büyük yayılım gösterirler. Centricae, yuvarlak veya diskoyit biçimli, ışınsal simetrilidir. Pennatae ise, uzunca kavkılı olurlar. Diyatome kavkıları 2-200 mikron boyunda, çok ince gözenekli ve mikroskopta ilginç görüntüleri ile son derece dikkat çekicidir.

Diyatomeler, ekolojik yönden son derece önemli organizmalardır. Denizel veya karasal ortamda, tatlı veya tuzlu suda, nemli kaya yüzeylerinde bile yaşayabilen bu canlılar, ortamda tuzluluk, PH, oksijen, sıcaklık, kirlilik gibi birçok etkene bağlı olarak farklı yayılım özellikleri gösterirler. Denizel ortamlarda oluşan türler iri ve (denizin dalgalarından koruyabilen) sert kavkılara sahiptirler. Tatlı su ortamında yaşayan bentonik tipler (Syndra, Fragilaria, Naviculav, Epithemia) ince kavkılı, plankton formları (Melosıra, Cyclotella, Stephanodiscus) ise küçük ve yuvarlak kavkılıdır.

Diyatomeler suda erimiş durumda bulunan silisin çok önemli bir tüketicisidirler. Fotosentez yapmak zorunda oldukları için suyun üst düzeyine yakın bölümlerinde yaşamlarını sürdürürler. Diyatomelerin suda gelişmesi için ortamda silis doygunluğuna gereksinim yoktur. Ancak suda erimiş silisin artması diyatomelerin daha yaygınlaşmasına, hızla üremelerine ve organizmanın ölümünden sonra kavkının çözülmeyerek dipte toplanmasına ve kökeni organik olan çökel kayaları oluşturmasına yol açar.

Diyatomelerin gelişmesine neden olan silisin suda artması başlıca iki yoldan gelişebilir. Öncelikle volkanizma sırasındaki veya sonrasındaki termal etkinlik ile suda erimiş silis sıcaklıkla doğru orantı olarak 400 ppm'e kadar çıkabilir. Bu şekilde gelişmiş yataklarda diyatomit içinde silis yumruları veya opal katmanlar oluşur. Ayrıca gelişen istifte tüf ve tüfit ara katkıları da boldur. İkinci olarak silis, ortamda silikat ayrışımı sonucunda açığa çıkarak artabilir. Ayrışma sonucu, tüf ve tüfitlerin plajiyoklasları ile bazı volkanik camlar ikincil olarak silisi daha kolay açığa çıkarabilirler. Bu durumda özellikle montmorillonit türü kil mineralleri de yaygın olarak gelişir. Her iki şekilde de diyatomit yatakları ile silisin kökeni olan volkanizma arasındaki ilişki kesinlikle belirmektedir. Diyatomelerin oluştuğu dört ayrı çeşit diyatomeli çökellerin oluşumu söz konusudur. Bunlar,

- Denizel diyatome çamurları
- Bataklık çökelleri,
- Gölsel oluşuklar,
- Volkanizma ile ilişkili gölsel ve denizel çökellerdir.

Günümüzde işletilen diyatomit yatakları ikinci türde olanlardır. Ancak Atlas ve Pasifik okyanuslarının güney kesimlerinde yaygın olan diyatomeli çamurlar gelecekte çok büyük önem kazanabilir. Tatlı su kökenli diyatomit ise Orta Avrupa, Türkiye, Avustralya ve daha pek çok yerde yayılım gösterir.

Diyatomit oluşumu için ortamda silis fazlalığının yanı sıra önemli diğer bazı koşullar da gereklidir. Geniş sığ basenler, fotosentezi engellemeyen derinlikler diyatomelerin gelişmesi yönüyle önemli ortamlardır. Kırıntılı çökelme özellikle planktonların denizde veya göllerde gelişmesini sağlar. Ayrıca dip çökellerinde organik madde bulunması zehirli maddelerin olmaması, karbonatın çok az oluşu, erimiş tuzların varlığı diyatomelerin gelişmesini sağlayan diğer önemli faktörlerdir.

Çok büyük boyutlarda üreyebilen bu organizmaların çökelme hızı yüksektir. Bazı araştırmacılar, Kuzey Almanya diyatomitlerinin yıllık çökelmesinin 0.5-5.0 mm, denizel diyatome çamurunda da 4.0 mm olduğunu kabul etmektedirler.

ÜRETİM YÖNTEMİ ve TEKNOLOJİSİ

Dünyada diyatomit yatakları genel olarak üç şekilde işletilmektedir. Bunlar **açık işletme, yeraltı** (ya da **galeri)** ve **sualtı işletme** yöntemleridir. Yeraltı ve sualtı yöntemleri, çok derinde ve oluşum yeri henüz kurumamış genç damarlara ulaşmak için kullanılmaktadır. Genelde diyatomit yatakları yeryüzüne yakın olduğundan açık işletme yöntemi yaygın olarak uygulanmaktadır. Kompakt diyatomit yataklarının işletilmesinde ekskavatörler kullanılmaktadır. Yeraltı işletme yöntemleri olarak emme (vakumlama) veya oda-topuk teknikleri de kullanılır.

Ancak, Dünya'da ve yurdumuzda en yaygın olarak uygulanan yöntem, açık işletmeciliktir. Açık işletmecilikte önce damarın üst örtü tabakası açılmakta sonra madenin yumuşak karakterli olması nedeniyle, herhangi bir patlatma işlemine gerek kalmaksızın doğrudan olarak buldozer ve ekskavatörlerle kazma işi yapılmaktadır.

Genel olarak diyatomit üretim teknolojisi şematik olarak aşağıda sunulmuştur (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Ham Diyatomit **=>** Çekiçli değirmen (Parçalama) **=>** 1.Basamak kurutma (Öğütme) **=>** 2.Basamak Kurutma (Öğütme) **=>** 3.Basamak Kurutma (Öğütme) **=>** Ön Separatörler (Yabancı mad. ayr.) **=>** Siklonlar (Sınıflandırma) **=>** Doğal toz **=>** Flaks katkısı **=>** Döner fırın (Kalsinasyon) **=>** Soğutma ve Öğütme **=>** Ayırıcılar (kum ve sinterlesmis maddeleri ayırma) **=>** Siklonlar (Ürün sınıflandırma) **=>** Torbalı toz filtresi (Ürünler) **=>** Havaya atık

Yani kazılan diyatomit istif sahasına taşınmakta, burada eğer damarlar arasında renk, yoğunluk, rutubet, saflık ve filtrasyon özellikleri bakımından farklılıklar var ise bu farklılıklar da gözetilip diyatomit gruplandırılır. Kurak ve güneşli geçen mevsimler, çıkarılan maddenin % 60'a kadar çıkabilen rutubetinin güneşte kurutularak düşürülmesi için büyük fırsatlardır. Bu suretle madenin rutubeti % 20'ye kadar düşebilir.

Doğal, ham diyatomitin sadece kurutulması ve içindeki yabancı maddelerin kaba olarak ayrılmasıyla elde edilir. Kalsine diatomit ise diyatomitin döner fırınlarda 600-1000 ^{o}C'de kalsinasyona tabi tutulması ile üretilir. Bundan sonra sıra diyatomitin işlenmesine gelmektedir.

Öğütme ve işleme süreci boyunca diyatome kavkılarının şekil ve yapılarının bozulmadan korunması için özen gösterilmelidir. Çünkü diyatomiti, silisin diğer şekillerinden ayıran ve özel bir yer sağlayan biricik özellik budur.

Gereçlerin boyutlarındaki ilk ufalama işleminden sonra parçalanmış diyatomitin kolonlarda sıcak havayla taşınarak kurutulmaktadır. Bu taşıma süresince gerek parçacıkların çarpışmaları gerekse içinden geçtikleri kanatlı-paletli fan ve firlatıcıların darbeleri ile birbirlerine yapışmış diyatome kavkılarının ayrılmaları sağlanır. Genellikle iki veya üç aşamadan meydana gelen kurutma işlemi uygulanır. Bu işlemin sonunda pratik olarak diyatomitin tüm rutubeti alınmış olur. Burada sisteme yerleştirilmiş siklon ve ayırıcılar (seperatörler) vasıtasıyla ham malzeme içinde bulunan ve uygulanan kurutma-ufalama işleme sırasında serbest kalan kum, kil gibi kirleticilerle kırıntılı parçacıklar da seçilerek sistemden dışarıya atılır. Bu evrede elde edilen malzemeye doğal ürün adı verilir. Bundan sonra döner fırında kalsinasyon işlemi yapılmaktadır.

Kalsinasyon, ham maddenin özelliğine ve üretim şekline göre 600-1000 ^{o}C arasındaki sıcaklıklarda yapılır. Bu işlemin amacı tane boyu dağılımının daha ileri düzeyde yapılması ve ıslah edilmesidir. Kalsinasyon işlemiyle organik artıklar da yakılarak uzaklaştırılırlar. Bu suretle kavkıların gözeneklerinin açılması sağlanır. Tanecikler büzüşerek sertleşir ve kırıntılar bir araya gelerek kaynaşırlar. Döner fırından fındık boyutunda topaklanmış olarak çıkan malzeme önce soğutulur sonra darbeli kırıcılarda ufalanarak rafinasyon kısmına alınır.

Burada ilk olarak ayırıcılarda yabancı ve sinterleşmiş tanecikler tekrar ayıklandıktan sonra kademeli olarak sınıflandırma siklonlarından geçen aktifleştirilmiş diyatomit, tane boyu dağılımlarına göre sınıflandırılarak ürün halinde paketlenir. Proses sürecinin sonunda torbalı toz filtresinden geçen taşıyıcı hava en ince taneciklerden meydana gelen son yükünü de torbalarda bırakarak atmosfere atılır. Bu şekilde elde edilen ürün, içerdiği demirin kalsinasyonda oksidasyona uğraması nedeniyle pembe renkli olup "kalsine diyatomit" diye adlandırılır. Kuru yoğunluğu 130 kg/m^3 olup, doğal ürüne göre daha fazla filtrasyon özelliklerine sahiptir.

Eğer elde edilecek ürünün daha fazla filtrasyon hızı sağlaması isteniyorsa kalsinasyondan önce % 3-8 oranında soda ($NaCO_3$) veya tuz (NaCl) gibi maddeler eklenerek beyaz renkli ürünler elde edilir. Bu maddelerinin etkisi ile demir oksitler demir klorür halinde ortamdan uzaklaştırılır. Tanecik ve kırıntıların gruplaşıp kaynaşarak yeni birimleri oluşturma oranı artırılır. Bazı minerallerin de alüminyum oksit halinde ayırıcılarda kolayca ayrılmaları sağlanır. Bu işlem "Flaks-kalsinasyon" işlemi olarak tanınmaktadır. Fırın sıcaklığının, flaks maddesinin oranının, kalsinasyon sıcaklık süresinin denetimli olarak değiştirilmesiyle edilecek ürünün boyu, dağılımı istenilen düzeyde ayarlanabilir. Bu suretle değişik filtrasyon özelliklerine sahip filtre yardımcı malzemeleri üretilebilir.

KULLANIM ALANLARI

Diyatomit ürünleri sanayide birçok işlemlerde ara ve yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları önem sırasına göre şöyle sıralanabilir (Mete, 1982; Karaman ve Kibici, 1999; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar:

- Süzme (Filtrasyon) yardımcı malzemesi,
- Dolgu,
- İzolasyon malzemesi (ısı, ses, elektrik),
- Absorbent,
- Aşındırıcı ve yüzey temizleyici,
- Katalizör taşıyıcı,
- Hafif yapı malzemesi, refrakter imalatı,
- Birçok kimyasal maddelerin üretiminde silis kaynağı, - Gübrelerde taşıyıcı ve topaklanmayı önleyici olarak.

Diyatomitin kullanımı çok geniş bir alana yayılmaktadır. Bir endüstri kolunun temel hammaddesi konumunda olmaması, birçok ülkede bulunması ve yerine kullanılabilecek başka hammaddelerin bulunması bir ölçüde diyatomitin önemini azaltmaktadır. Ancak son 20 yılda diyatomit kullanımının süzme işlemleri alanında yoğunlaştığı görülmektedir.

Süzme (filtrasyon), diyatomitin en yaygın kullanım alanıdır. Diyatomitin filtrasyonda kullanıldığı alanlar, kimya, metalurji, gıda, petrol sanayi, kuru temizleme ve diğer sanayi sahalarıdır. Ayrıca filtre yardımcısı olarak şeker rafinerilerinde, biyolojik araştırmalarda, antibiyotiklerin üretiminde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Diyatomit, nötr ya da asitli sıvılar için son derece etkili bir filtre ortamı ve filtre işlemine katkı sağlamaktadır (Borat, 1992).

Süzücü olarak diyatomit pudra ve preparat olarak, bazen de sıvılara karıştırılarak kullanılır. Bira, şeker şurubu, içme suyu, alkollü içkiler, meyve suları, yüzme havuzu suları, petrokimya ürünleri, antibiyotikler ve diğer ilaç hammaddelerinin süzme işlemlerinde de diyatomit kullanılır. İstenen süzme hızları kullanım alnına göre değişkendir.

Dolgu maddesi olarak diyatomit boya, kâğıt, lastik, plastik, kibrit, cila, temizlik malzemesi, ilaç ve kozmetik sanayilerinde kullanılır. Bu sektörlerde kullanılacak olan diyatomitte beyazlık derecesi, tane boyu, fazla miktarda gözeneklilik önemlidir.

Diyatomit, yüksek derecede gözenekliliği sahip olmasından dolayı**, ses ve ısıya karşı iyi izolatör** olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle döşeme ve kaplamalarda kireç, çimento ve asbest tozu ile karıştırılarak kullanılır. Sıcak buhar ve gaz borularında diyatomit sıvası, yüksek fırının dış kaplamasında da diyatomit tuğlasından yararlanılmaktadır. Yapı malzemesi olarak çimento, harç, briket veya tuğlaya katılır.

Hırka (Kayseri) diyatomitinin % 3-7 oranında brikete katılması sonucu oluşan üründe, basınç dayanımının %30'a kadar arttığı MTA Genel Müdürlüğü Teknoloji Dairesi laboratuarında yapılan deneylerle saptanmıştır. Özellikle saf olmayan diyatomitlerden bu alanda yararlanma olanağı vardır. Hafif **aşındırıcı** olarak diyatomit otomobil cilalarında, deterjanlarda, leke emicilerde kullanılmaktadır.
Yüksek emme özelliği diyatomite asitlerin taşınmasında, yangın söndürücülerde, dezenfeksiyon maddelerinde ve renkli fotoğrafçılıkta kullanılma olanağı sağlamıştır.

Katalizör ve katalizör taşıyıcısı olarak diyatomit çok önemlidir. Bu alanda sülfirik asit yapımında, polimerizasyonda, metal oksit, asit-baz kontaklarında, margarin sanayinde yağ sertleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Gübrelerin kalıplanmasını önleyici bir faktör olarak diyatomitten yararlanılır. Silis kaynağı olarak kalsiyum silikatların yapımında da kullanılır. Ayrıca sondaj çamurunda, hayvan yemlerinde, emaye üretiminde besin maddesi taşımacılığında ve diğer birçok endüstri kolunda aranılan bir hammaddedir. Son yıllarda özellikle perlit süzücü olarak diyatomitin yerine kullanılmaya başlamıştır. Dolgu malzemesi alanında da diyatomit talk, kalsine kil, kireçtaşı ve vermikulitin önemi artmaktadır. Bu nedenle, diğer hammaddelerle kulanım alanında rekabet etmek zorundadır.

Ayrıca, diyatomitin izolasyon tuğlası olarak kullanılabilirliliği değerlendirilmiştir (Yıldız, 1997). Bununla birlikte Türkiye'de diyatomit, çok geniş bir kullanım alanına yayılmış değildir. Ancak, Keçiborlu tesislerinde de kükürt üretiminde de diyatomitten dolgu ve granülasyon maddesi olarak oldukça önemli boyutlarda yararlanılmak üzere AR-GE çalışmaları yapılmaktadır.

ÇEVRE SORUNLARI VE DENETİMİ

Diyatomitin ocak işletmesi, cevher zenginleştirme ve kullanıma sunulması evrelerinde, denetlenemeyen çevre sorunları ortaya çıkmamaktadır. İlk aşamada, madenin çıkarıldığı yerde açılan çukurlar ve maden çıkarıldıktan sonra kalan boşluklar sonradan doldurulabilmekte ve ağaçlandırılabilmektedir. Zaten, bazen tepecikler şeklinde olan cevher alındıktan sonra kalan düzlüklerin sadece ıslahı ve ağaçlandırılması yeterli olmaktadır. Ham diyatomitin ise çevre sağlığı açısından hiçbir zararlı etkisi yoktur.

Kalsinasyon işlemlerinin yapıldığı fabrikasyon evresinde ise su buharı, ince diyatomit tozu ve kullanılan yakıta göre yanma gazları ortaya çıkmaktadır. Atmosfere atılan hava ile karışık durumda olan ince tozlar ve yanma gazları ıslak-toz tutucu cihazlarından geçirilerek tutulabilir ve durulma havuzunda çökeltilerek çevreye zararsız hale getirilebilir. Diyatomit tozu yapışıcı ve kalıcı değildir. Rüzgâr ve yağmurun etkisiyle diyatomit kolayca temizlenebilmekte ve toprağa karışarak doğal haline dönmektedir.

Kullanılan yakıtın türü ürün kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kullanıldığında işletmede büyük kolaylıklar sağlanmakta, ancak maliyeti artırmaktadır. Kömür gibi fosil yakıtlar kullanıldığında yakıtın tam ve verimli olarak yakılmasında ve artıklarının sistemden uzaklaştırılmasında bazı zorluklarla karşılaşılmaktadır (Yılmaz, 2009).

Diyatomitin ocak işletmesi, cevher zenginleştirme ve kullanıma sunulması evrelerinde, ortaya çıkması olası sorunlar için, ÇED Yönetmeliği (2022) ölçütleri gözetilerek gerekli önlemler alınmalıdır.

SONUÇLAR

Günümüzdeki koşullarda, diyatomitin üretimi ve tüketimi konusunda önemli bir gelişme beklenmemektedir. Öncelikle kullanım alanları ile ilgili sanayide pilot düzeyde araştırmalar ve ihracat olanaklarının araştırılması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Türkiye Dünya diyatomit üretiminde yerini almalıdır (Yılmaz, 2009). Doğal kaynak potansiyelimiz ve yurtiçi/yurtdışı pazarların durumu buna olanak vermektedir. Dolayısıyla Diyatomit üretiminin artırılması için gerekli çaba gösterilmelidir.

Diyatomitin steril ve sağlığa zararsız olması, yurdumuzda bol bulunması ve ayrıca süzmede büyük kolaylıklar sağlaması yanında dünya standartlarında berraklık ve süzme kalitesi sağlaması nedenleriyle, özellikle gıda (meşrubat, bira, sıvı yağlar, şarap, sirke vd.) sanayinde, teknoloji ve kullanımının desteklenmesi yararlı olacaktır. Özellikle Avrupa'da kaliteli ve işletilmeye elverişli kaynakları giderek azalan ve yurdumuzda oldukça bol ve kaliteli rezervleri bulunan diyatomitin gereği gibi değerlendirilebilmesi için üretimden tüketime kadar her evrede gerekli ilgi ve desteğin sağlanması, özellikle pazarlama ve ihracat olanaklarının araştırılarak artırılması gerekmektedir.

Ülkemizdeki mevcut ve olası diyatomit rezervlerinin de araştırılması, nicelik ve nitelik bakımından gerekli değerlendirmelerin bir an önce yapılarak rezerv potansiyelimizin güvenilir rakamlarla ortaya konulması tutarlı üretim programlarının yapılabilmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve kalitenin daha da yükseltilebilmesi açısından önemlidir. Sonuç olarak, özel sektörde (www.akminmadencilik.com) ve kamusal alanda diyatomite dair çabalar (www/7.BYKP/ekutup96/0480/diatomit/diatomit.html) devam etmelidir.

KAYNAKLAR

Açıkalın, N., 1991, Türkiye'de ve Dünya'da diyatomit. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 30s.

Bircan, A., 1968. Türkiye diyatomit envanteri. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayın No: 138, Ankara, s. 1-28.

Borat,M., 1992. Türkiye diyatomitlerinin özellikleri ve filtrasyon karakteristikleri. İTÜ, Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, İstanbul, 115 s.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik özel ihtisas komisyonu, endüstriyel hammaddeleri alt komisyonu, Genel endüstri mineralleri, Cilt 4, Bentonit-Barit-DiyatomitAşındırıcılar çalışma grubu raporu, Ankara, 68 s.

http://jeolojimuhendisleri.net/dogal-nanomateryal-diyatomit/

Karaman, E. ve Kibici, Y., !999, Temel Jeoloji Prensipleri: Devran Matbaacılık, Necatibey Caddesi No: 31/D, 06440, Sıhhiye, Ankara, 361s.

Mete, Z., 1982. Kimi Batı Anadolu diyatomit yataklarının özelliklerinin incelenmesi ve kullanım alanlarının araştırılması. Doçentlik Tezi, E.Ü. Kimya Fak. Kimya Müh. Böl s: 84- 90, İzmir.

www.akminmadencilik.com

www/7.BYKP/ekutup96/0480/diatomit/diatomit.html www.maden.org.tr/
www.mta.gov.tr/
Yıldız, A., 1997. Seydiler (Afyon) Diyatomit Cevherinin Jeolojisi ve İzolasyon Tuğlası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, AKÜ Fen Bil.Enst. Afyonkarahisar, 128s. Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

Bölüm 4, ENERJİ HAMMADDELERİ

GENEL BİLGİLER

Enerji, iş yapabilme yeteneğidir. İnsanlar, önceleri işlerini görebilmek amacıyla kendi yeteneklerini ya da hayvanların iş yapabilme niteliklerini kullanarak enerji gereksinimini karşılıyorlardı. Daha sonraları odun ve tezek uzun bir zaman diliminde birer enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. 1850'lerde sanayi devrimi ile birlikte odunun yani biyokütlenin yerini kömür almıştır. 1950'ler de ise petrolün egemen bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir.

Bilim ve teknolojinin gelişmesine koşut olarak, insanlar barınmak, eğlenmek ve diğer tüm gereksinimlerini karşılamak üzere çeşitli enerji kaynaklarına yöneldiler. Günümüzde enerji, tüm üretim süreçlerinde kullanılması zorunlu olan kaynaklardan biridir. Dolayısıyla enerji kaynakları da giderek çeşitlendiler. Bu kaynakları sınıflandırarak (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar) sunmakta yarar



eksel) ya da yenilenebilir-tükenmez (Şekil 1).

görülmektedir.

Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (http://www.slideshare.net/)

YENİLENEMEYEN ENERJİ KAYNAKLARI

Bu enerji kaynakları iki gruba ayrılabilirler:

1- Fosil yakıtlar: Kömür, bitümlü şeyl, petrol ve doğal gaz (ayrıca biyogaz, odun, tezek gibi koşullar uygun olduğunda kısmen yenilenenler).

2- Nükleer enerji hammaddeleri olan kaynaklar (uranyum, toryum ve diğer radyoaktif elementler).

1-Fosil yakıtlar; kömür, petrol ya da doğal gazın işlenmesinden sonra hizmete sunulmaktadır. Fosil yakıtlar, gerçek anlamda ancak birkaç yüzyıldan bu yana kullanıla gelen katı, sıvı ve gaz yakıtları oluşturur. Çok büyük ölçülere varan tüketimi sonucu, bu kaynakların tükenme tehlikesi ortaya çıkmıştır.

Kömür; siyah renkli, bitkisel kaynaklı, içinde yüksek oranda C bulunan katı bir çökel kayatürü ve enerji kaynağıdır. Bitümlü şeyl ise kömürlü katmanların kısmen de olsa ileri diyajeneze uğramasıyla oluşan bir kaynaktır.

Petrol; çok koyu renkli, kendine özgü kokusu olan, yoğunluğu 0.8-0.95 g/cm^3 arasında değişen ve hidrokarbonlardan oluşan yani kökeni organik olan rafine edilmemiş doğal bir yağdır.

Doğal gaz; % 90-99 arasında metan, biraz azot (% 1-3) ve bazen etan, CO_2, kükürtlü hidrojen ve helyumdan oluşan bir karışımdır. Isı değeri 9000-12000 cal/m^3'dir.

Doğal gaz nemli (yani bileşiminde asılı halde sıvı hidrokarbon bulunan) ya da kuru olabilir. Nemli gazdan doğal gazolin elde edilir. En ucuz ve en kolay iletilebilen enerji kaynağıdır. Kuru doğal gaz sıkıştırılabilir ve yoğunlaşma korkusu olmadan boru hatlarıyla taşınabilir.

Biyogaz; hayvan ve insan dışkıları ile tarımsal atıklar gibi organik artık maddelerin oksijensiz bir ortamda bozunmasıyla oluşan bir gaz karışımıdır.

Bitki örtüsünün aşırı bolluğu ile yerkabuğundaki dönüşümlerin sonucu olarak (eğreltiler, ağaçlar gibi) hidrokarbonlu oluşuklar çok derin yerlerde jeolojik zamanlar boyunca zenginleşmiştir. Bu oluşuklar, sıcaklığın, basıncın ve mikroorganizmaların güdümünde içerdikleri hidrojen ile oksijenin büyük bir bölümünü zamanla yitirmiş ve böylece karbon katmanları, yani taşkömürü ve linyit oluşmuştur. Günümüzde işletilen katı yakıtlar işte bu oluşuklardır.

Diğer organik artıklar, değişime uğrayarak kısmen de petrol ve doğal gaz'a dönüşmüştür. Kimi kayaların içinde, ince hidrokarbon damlacıkları oluşmuş ve bunlar basınç altında göç ederek, gözenekli ya da çatlaklı kayalarda yoğunlaşmıştır. Böylece oluşan sıvı ya da gaz hidrokarbonlar geçirimsiz bir katmana rastlayarak durdurulunca petrol içeren cepler ve yataklar ortaya çıkmıştır. Petrol ve doğal gaz rezervleri Yer yüzeyinde eşit dağılmamıştır. Bu rezervlerin, çok az sayıda ülkede yoğunlaştığı görülmektedir. İnsanın ve sanayinin artan gereksinimleri ile kaynakların sınırlı olması bir araya gelince enerji bunalımı gündeme gelmiştir. İki yüzyıl içinde, dünya petrol rezervleri büyük olasılıkla tükenecektir.

2-Nükleer enerji hammaddeleri; uranyum, toryum gibi radyoaktif elementlerin parçalanmasıyla açığa çıkan enerjinin temel kaynaklarıdır.

Nükleer enerji, kökeni Güneş olmayan tek enerji türüdür. Kütle-enerji eşdeğerlik bağıntısıyla ($E=mc^2$), kimi hafif elementlerin çekirdekleri düzeyindeki birleşme ya da kimi ağır elementlerin çekirdekleri düzeyindeki parçalanma işlemleri sonucu 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.

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynakları üç gruba ayrılırlar:

1- Jeotermal enerji
2- Güneş enerjisi
3- Su + dalga + hidrolik ve med-cezir (gel-git) enerjileri

1-Jeotermal enerji; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısınını oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla ergimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir.

Düşük ve orta sıcaklığa sahip sahalar, bugünkü teknolojik ve ekonomik koşular altında başta ısıtma amacıyla (sera, bina, tarımsal kullanımlar) olmak üzere, sanayide (yiyeceklerin kurutulması, kerestecilik, kâğıt ve dokuma işlerinde, dericilikte, soğutma tesislerinde) ve kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su gibi) kullanılmaktadır.

2-Güneş enerjisi; güneş ışınlarının, çeşitli toplayıcılar yardımıyla yoğunlaştırılıp ısıya dönüştürülmesiyle elde edilen enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin üstünlükleri: 1- Tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. 2- Temiz enerjidir. Gaz, duman, toz, karbon gibi zararlı atık maddeleri yoktur. 3- Herkesin yararlanması mümkündür, 4- Ulaşım sorunu yoktur. Herhangi bir taşımacılık gerektirmez. 5- Teknolojisi basittir ve bu enerji kaynağının sağlayacağı yararlara ulaşmak kolaydır.

Güneş'ten gelen ışık (ya da ışıma) enerjisi, günümüzde var olan hemen tüm enerji biçimlerinin kökenini oluşturur. Odun ve besinler doğrudan Güneş enerjisinden kaynaklanır. Kaynağı Güneş olan fosil yakıtlar da çok uzun süreli bir enerji depolanmasından doğar. Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlar milyonlarca yıl önce yaşamış organizmaların dönüşüm ürünleridir.

Güneş'in yeryüzünde, biri termodinamik ve ısıl, diğeri foto biyolojik (fotosentez) olmak üzere iki temel işlevi vardır. Güneş enerjisi, bitkisel ve hayvansal yaşamın biyokimyasal tepkimeleri için sıcaklık ve ışık koşullarını sağlayan biricik kaynaktır.

3-Su, deniz dalga, gel-git (med-cezir), hidrolik ve rüzgâr türü enerjiler; birbiriyle ilişkili, ancak suyun enerji kullanımına uygun süreçlerden geçirilmesiyle ulaşılabilen enerji kaynaklarıdır.

Deniz dalga enerjisinin kullanımı henüz deneme evresini geçirmektedir. Bu enerji deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve gel-git (med-cezir) enerjisi olarak da tanımlanabilmektedir. Bu enerjiyi denetim altına almak güçtür. Okyanus suyu kalitesini olumsuz olarak etkileyen en önemli faktör, okyanus termal enerji döngü santrallerinin sahip olduğu potansiyel tehlikedir. Bazı santraller oldukça büyük hacimlerde deniz suyu alınması ve başlatılmasını gerektirir. Bu santrallerle okyanusun hem yüzeyinden hem de derinliklerinden her bir MW elektrik çıkışı için her bir saniyede yaklaşık 4 m^3 su yer değiştirmektedir. Bu su kütlesi yaklaşık 100 ve 200 m arasındaki bir derinliğe deşarj edilmektedir. Bu devasa debiler, santral yakınlarındaki okyanus termal yapısını bozar. Ayrıca okyanusun tuzluluk derecesini ve büyük miktarlardaki çözünmüş gazları, basıncı, besinleri, karbonatları ve bulanıklığı değiştirir (Yılmaz, 2009; Özsayın, 2013).

Gelgit enerjisi, gelgit olaylarından kaynaklanan çok büyük su kütlelerinin düzenli salınımlarına dayanır. Bu enerji ancak, rezonans olaylarının yüksek ve alçak sular arasındaki yükselti farkını güçlendirdiği belli bölgelerde işletilebilir. Ayrıca, denizlerdeki değişikliklerin büyüklükleri çevresel etki açısından dikkate alınması gereken oldukça önemli ölçütlerdir. Bununla beraber sudaki canlı hayata ve kıyı-sahil şeridine olumsuz etkileri olur. Denizcilik ve kıyı turizmi yapan yörelerde bu daha belirgin olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, dalgalardan ileri gelen çevresel etkileri her bölgeye özgü farklılıklarına ve büyük ölçüde yerel coğrafi yapılarına bağlı olduğu belirlenmiştir (Yılmaz, 2009; Özsayın, 2013).

Örneğin Rance'de kurulan gel-git enerji santralı bu alandaki ilk işletmedir. La Rance üzerindeki baraj yüzünden o bölgedeki yerel gel-git dalgaları çok düşük oranda etkilenmiştir. Bu baraj Fundy Körfezi'ndeki dalgalara dayalı enerji üretim tesisi olarak yerel gel-git dalgalarını 15 cm alçaltmıştır. Dalga değişimlerinin inanılmayacak kadar karmaşık etkileri ortaya çıkmıştır. La Rance Barajı Fundy Körfezi'ndeki suların karışmasını potansiyel olarak artırmıştır. Bu durum da kızıl dalga organizmalarının çoğalmasına neden olmuştur. Organizmaların etkisi, deniz kabuklularını felç etmek suretiyle ölümlerine neden olması

şeklinde görülür. Böylelikle doğal dengeyi bozan sonuçlar silsilesi birbirini izlemektedir (Akkaya ve diğerleri, 2002).

Hidrolik enerji yenilenebilir önemli bir enerji biçimidir. Eskiden su değirmenlerinde kullanılan bu enerji kaynağından, günümüzde (baraj ve akarsu tipi) hidroelektrik santrallarda yararlanılan bir kaynaktır. Hidrolik enerji ya da "beyaz kömür" de Güneş'e dayanır. Güneş ışıması, denizlerin ve göllerin suyunu buharlaştırarak bulutları oluşturur. Bunlar, dağlara kar ya da yağmur biçiminde düşüp su döngüsünün sürekliliğini sağlar. Dağ göllerinde (doğal ya da yapay) biriken suyun potansiyel enerjisi, türbinlerde mekanik enerjiye dönüştürülerek hidrolik enerji olarak elektrik enerjisi üretiminde (alternatörler) kullanılır.

Yenilenebilir enerji kaynakları çok çeşitli olup, bunların çevre üzerindeki etkileri büyük ölçüde denetlenebilir. Sonuç olarak, yenilenebilir enerjiler, yalnızca daha temiz ve sağlıklı bir gelecek için değil, daha güvenli bir dünya hedefi için de olsa üretilip kullanılmalıdır.

ANAHTAR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ VE ENERJİ KRİTİK ELEMENTLER

Yirminci yüzyılda, özellikle nükleer enerji teknolojilerinin gelişmesi ile ortaya çıkan 'Anahtar Enerji teknolojileri' tanımı ekonomik değer taşıyan ve hızla gelişen enerji teknolojilerini kapsamakta ve bu tanım da hızla güncellenmektedir (Vesilind ve diğerleri, 2012). Bu bağlamda;

1-Yenilenebilir enerji teknolojileri (Güneş pilleri, rüzgâr tribünleri gibi),
2-Enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknolojiler (Melez ve elektrikli arabalar, LED aydınlatma, fiber optik kablolar, yakıt pilleri gibi),
3-Elektroniğe dair teknolojiler (Mikro işlem sistemleri, düz ekranlar, cep telefonları gibi), 4-Uçak-uzay sanayinde kullanılmaya uygun hafif alaşım teknolojileri günümüzün ve geleceğin 'Anahtar Enerji teknolojileri' olarak sınıflandırılmaktadır.

'Enerji Kritik Element' terimi ise enerji ile ilgili bir ya da birden çok yeni teknolojilerde kullanılan elementleri tanımlamaktadır. Bu elementlerden Galyum (Ga), Germanyum (Ge), İndiyum (In), Selenyum (Se), Telleryum (Te) ve Gümüş (Ag) fotovoltaik güneş pillerinde; Yitriyum (Y), enerji etkin floresan aydınlatmada, Lityum (Li) ve Lantan (La) enerji verimi yüksek pil yapımında kullanılmaktadır.

Nadir toprak elementleri ise kalıcı mıknatıs yapılarak, rüzgâr tribünlerinin ve elektrikli melez taşıtların üretiminde kullanılabilen yüksek güçte motorlar ve jeneratörler üretilebilmektedir.

Platin grubu elementlerden Platin (Pt), Palladyum (Pd) yakıt pillerinde katalizör olarak kullanılmaları sayesinde taşıtlarda petrol ve petrol türevlerinde bağımlılığı ortadan kaldıran ilerlemeler başlamıştır.

Oda sıcaklığında gaz halında bulunan Helyum (He) havadan hafif, kimyasal tepkimeye girmeyen bir elementtir. Sanayide havanın kademeli olarak damıtılması ile elde edilen sıvı Helyumun sıcaklığı 269 ^{o}C'dir. He anahtar enerji teknolojilerinde soğutucu sıvı olarak, özellikle süper iletken olarak tanınan malzemelerin süper iletken özelliklerini ortaya koyabilmeleri için gereken sıcaklığa erişilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Vesilind ve diğerleri, 2012).

ENERJİ BİRİMLERİ VE VERİMLİLİK

Enerjinin uluslararası kabul gören ölçü birimi joule'dür. Enerjiye dair diğer çok kullanılan birimler ise kalori ve kilowatt saattir (kWh). Bunlardan kalori doğa bilimlerinde, kWh ise mühendislik çalışmalarında kullanılır. Kalori, 1 gram suyun sıcaklığını 1 ^{o}C artırmak için gereken enerji miktarıdır.

Bir enerji formu başka bir enerji formuna dönüştürülebilir. Enerji eşdeğerliğine bağlı olarak aritmetik enerji eşdeğeri ve dönüşüm enerji eşdeğeri gibi kavramlar da tanımlanmıştır (Vesilind ve diğerleri, 2012). Aritmetik eşdeğeri basitçe enerji esaslı olarak hesaplanırken, dönüşüm eşdeğerliği, dönüşüm sırasında oluşan enerji kaybı da gözetilir. Termodinamik yasalarına göre bir sisteme giren enerji sistemden çıkan enerjiye denk olması gerekir. Ancak sistemden çıkan enerji iki kategoriye ayrılır: Yararlı

(ya da kullanılabilen) enerji ve atık enerji. Buna göre: Verimlilik (%) = Sistemden çıkan yararlı enerji/Sisteme giren toplam enerji x 100' den hesap edilebilir (Özsayın, 2013).

Tüm ülkeler için geçerli olan en önemli husus enerjinin verimli kullanılmasıdır. Günümüzde, ülkelerin gelişmişliği, artık enerjinin verimli kullanılması ile ölçülmektedir. Enerjinin verimli kullanılması konusunda Ar-Ge çalışmaları ve eğitim önemli bir yere sahiptir.

TÜRKİYE'NİN ENERJİ KAYNAKLARI AÇISINDAN GENEL DURUMU

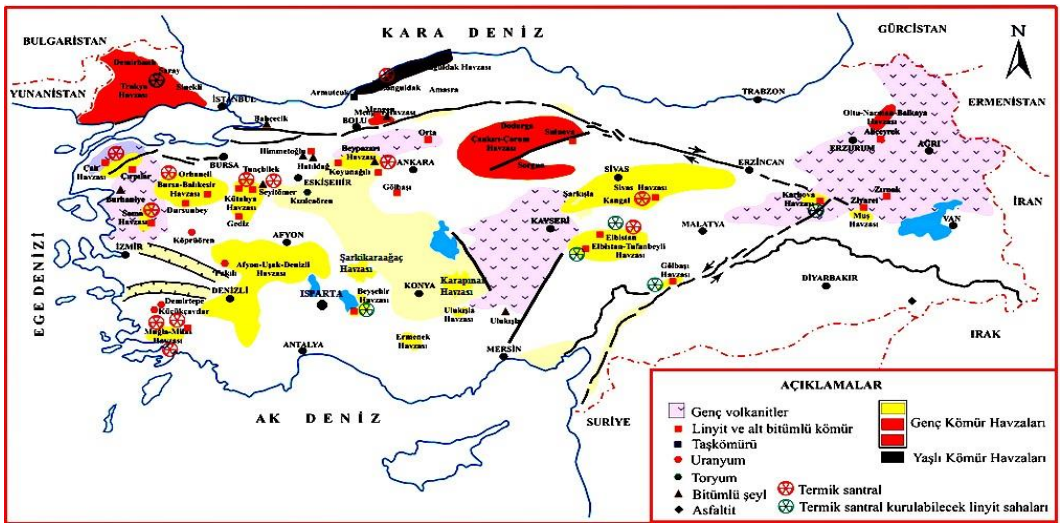
Ülkemizin enerji kaynakları açısından durumu yıllara göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, 2013 yılı verilerine göre, ülkemizdeki 120 milyon TEB olan yıllık tüketimin, ancak 32 milyon TEB'lik bölümü ülkenin kendi öz kaynakları ile karşılanmaktadır. Yani ülkemizin dışa bağımlılığı % 72 düzeyinde olup, yılda 60 milyar dolara yakın bir kaynak sürekli olarak yurt dışına aktarılmaktadır (Akkuş ve Alan, 2017). Bu da bizim gibi ülkeler için, enerji kullanırken tasarruf edilmesinin, dolayısıyla enerji güvenliğinin önemini ortaya koymaktadır.

Enerji güvenliği

Enerji güvenliği, enerjinin; yeterli, ödenebilir, güvenilir, zamanında, temiz ve çeşitlendirilmiş kaynaklardan, olabildiğince yerli kaynaklardan ve kesintisiz ve kaliteli olarak arzıdır (Pamir, 2022). Ancak bu hususlardan birinin, ya da birkaçının sağlanamaması halinde, "enerji güvenliğiniz yok" anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, enerji, ülkelerin önemli yaşamsal gereksinimlerinin başında gelir. Bu bağlamda enerji güvenliği, ekonomik güvenliğimizin ve ulusal güvenliğimizin temel taşıdır (Pamir, 2022). Dolayısıyla mevcut kaynakların dağılımı, kurulu güç ve bağımlılık durumunun değerlendirilmesinde yarar vardır.

Mevcut kaynakların ülkedeki dağılımı ve kurulu gücün durumu

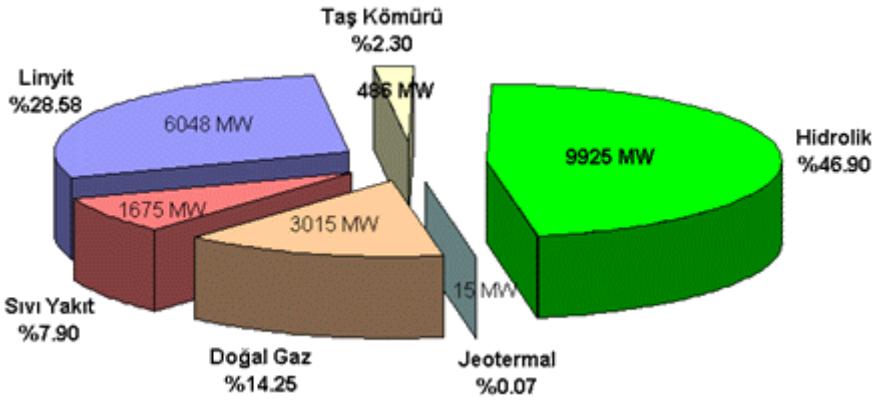
Ülkemizde önemli olan enerji kaynaklarının dağılımı Şekil 2'de görülmektedir. Özellikle kömürün kayda değer bir kaynak olarak genç jeolojik havzalarda yer aldığı belirtilebilir. Termik santrallerin kömür yataklarına yakın yerlerde kurulması doğru bir tercihtir. Ancak kömürün çevresel etkileri konusunda son yıllarda ciddiye alınabilir eleştiriler devam etmektedir. Dolayısıyla kömürün kullanımı ve diğer enerji formlara dönüştürülmesi hususunda kapsamlı ARGE çalışmalarına gereksinim vardır.



Şekil 2. Türkiye'nin bazı önemli enerji kaynakları (www.mta.gov.tr).

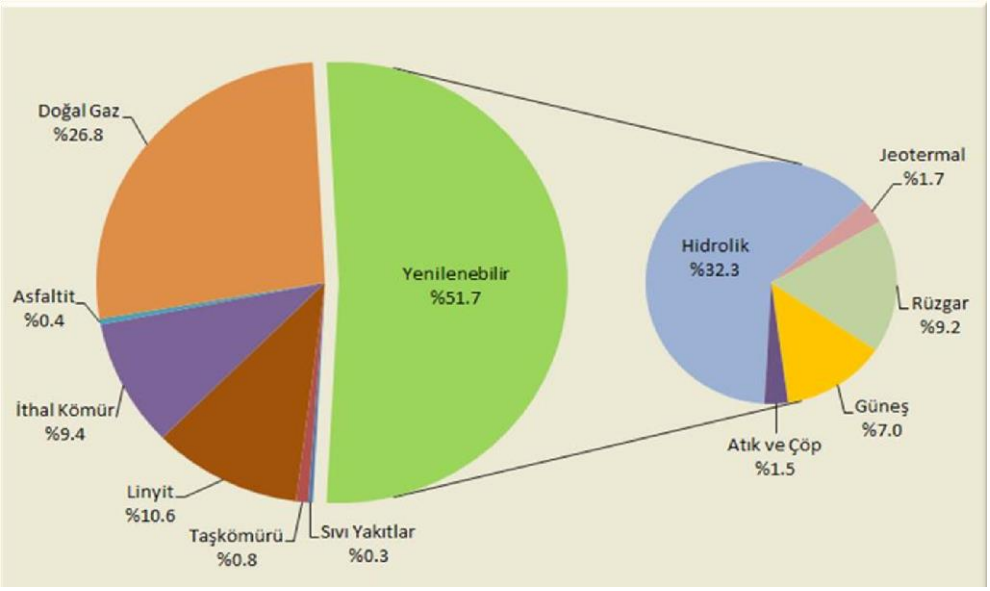
Ülkemizde var olan enerji kaynaklarının türleri ve oranları Şekil 3'de görülmektedir. Ancak, Tüketilen enerjinin yaklaşık dörtte üçü (% 75) ithal edilmektedir. Geriye kalan dörtte birinin sadece %

20'si yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Evleri ısıtmakta ve mutfaklarda kullanılan doğal gazın tümü ithal edilmekte; ithal edilen doğal gazın % 60'ı Rusya'dan, %40'ı İran'dan gelmektedir. Petrol de aynı şekilde ithal edilmekte; tüketilen petrolün sadece % 7'si ülke içindeki kaynaklardan elde edilmektedir.



Şekil 3. Türkiye' de kurulu gücün yakıt türlerine göre oranları (http://www.angelfire.com/).

Elektrik üretimi ve JES'ler bağlamında ise 2020 sonu itibarıyla, TEİAŞ verilerine göre ülkemizin kurulu gücü 95.890,6 MW'a ulaşmıştır (TMMOB, 2021). 2020 yılı sonu kurulu gücün elektrik üretimi açısından kaynaklara göre oranları Şekil 4'de görülmektedir. Yani, elektrik enerjisinin üretimi açısından yenilenebilir kaynakların oranı kayda değer bir düzeydedir.



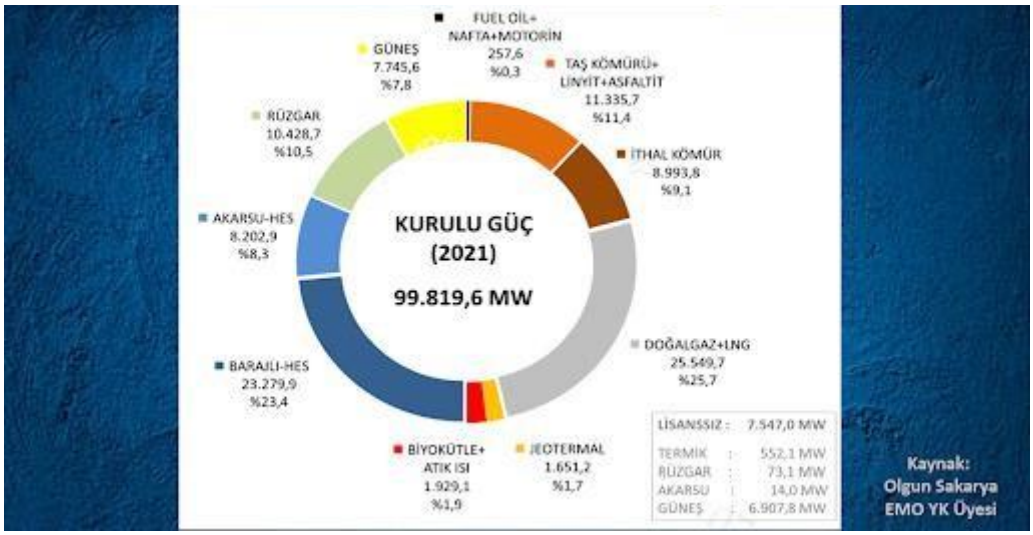
Şekil 4. 31.12. 2020 sonu itibarıyla kurulu gücün kullanılan kaynaklara göre oranları (TMMOB, 2021; https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/TegNisan2021Sunumu_0.pdf).

Öte yandan günümüzdeki verilere göre yenilenebilir enerji kapasitesi en fazla olan 18 ülke sıralanmış bulunmaktadır (https://shiftdelete.net/turkiye-yenilenebilir-enerji-kapasitesi-belli-oldu; 08 Mayıs 2022). Listede ilk sırada Çin olurken, Türkiye'nin 13. sırada yer almaktadır. 759 GW (Gigawatt) yenilenebilir enerji kapasitesine sahip olan Çin, listenin birincisi konumundadır. Ardından 265 GW kapasite ile ABD gelmektedir. Avrupa'nın en büyük yenilenebilir enerji kapasitesine sahip Almanya ise, 125 GW kapasite ile listenin beşinci sırasında bulunmaktadır. Türkiye ise, 45 GW kapasite ile İngiltere'nin hemen arkasında yer almaktadır. Yani, Türkiye yenilenebilir enerji kapasitesi konusunda umut vaat eden bir gelişme göstermektedir.

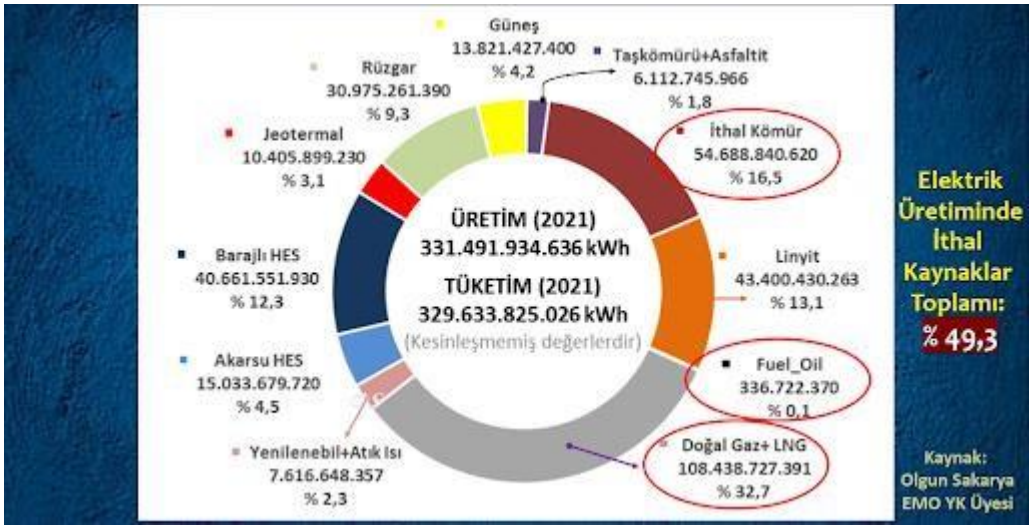
Ancak, ülke özelinde enerji alanında da kamu-özel sektör ilişkileri bir düzen içinde geliştirilmelidir. Örneğin, elektrik üretimi gerekçesi ile özel şirketlere kamudan değişik mekanizmalarla kaynaklar aktarılmaktadır. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimini Destekleme Mekanizması (YEKDEM) fonları ile kamu kaynaklarından özel elektrik şirketleri desteklenirken, kamu yararının gözetilmesinde yarar vardır. Yani, kamu-özel sektör ilişkileri çerçevesinde, sabit fiyatla alım garantilerinde hangi ölçütlerin kullanıldığı ve şeffaflık son derece önemlidir.

Türkiye'nin elektrik kurulu gücü ve üretimi

2021 yılı sonunda, Türkiye elektrik kurulu gücü 99,820 MW'tır. Kurulu güçte en büyük payı doğal gaz (% 25,7) ve barajlı HES'ler (%23,4) oluşturmaktadır (Şekil 5). Elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynakları bakımından dışa bağımlılık oranımız 2021'de % 49,3 olmuştur (Şekil 6).



Şekil 5. Elektrik enerjisinde kurulu güç (MW) (Pamir, 2022'den).

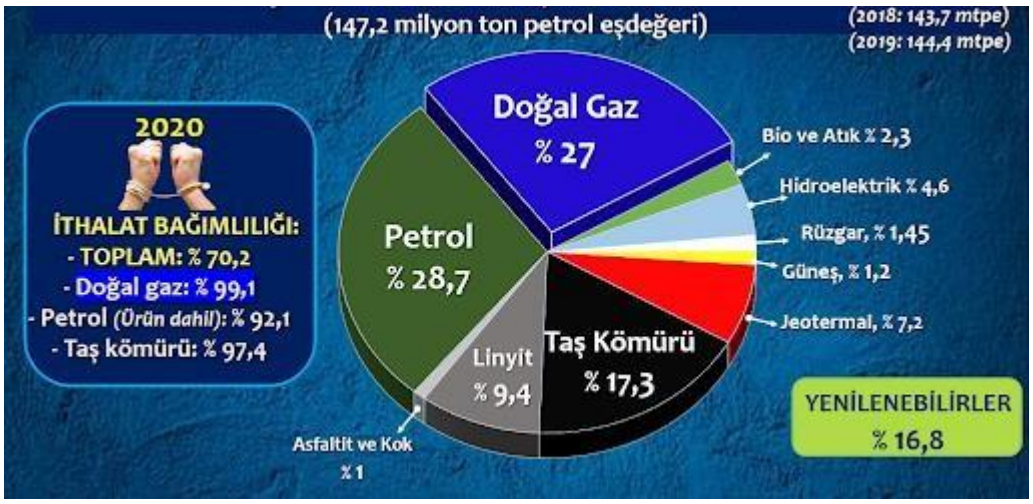


Şekil 6. Elektrik enerjisi üretiminde kaynaklara göre dağılım, 2021 (Pamir, 2022^den)

Elektrik üretiminde 2000'den bugüne, santrallar büyük oranda özelleştirilmiştir. 2000 yılı elektrik üretiminde kamunun payı % 75,1 (özel sektör: % 24,9) iken, 2021 sonunda kamunun payı % 16,1'e gerilemiştir (özel sektör: % 83,9). Bir yandan yarı yarıya dış kaynaklara, diğer yandan özel sektörün kâr hırsına teslim edilmiş bir "piyasa" yapısında, dalga dalga gelen zamların "kaçınılmaz" olduğunu kavramak gerekir (Pamir, 2022).

Dışa bağımlılık durumu

Aslında, Şekil 3'deki veriler, özü itibarıyla, ülkemizin enerji açısından dışa bağımlılığını açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerjilere yönelik ciddi bir çabanın olmadığı belirtilebilir. Sonuç olarak tüm veriler ülkemizin enerji kaynakları açısından kapsamlı bir planlamaya gereksinimi olduğunu göstermektedir. Ülkemizde mevcut enerji tüketimi, ağırlıklı olarak (% 83,2) dışa bağımlı olduğumuz fosil kaynaklarla karşılanmaktadır. Hidroelektrik dahil, yenilenebilir enerji kaynaklarının, birincil enerji tüketimindeki payı ise % 16,8'dir (Şekil 7).



Şekil 7. Türkiye Birincil Enerji Tüketimi, 2020 (Enerji ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı verileri, Pamir 2022'den).

2020 sonu verilerine göre Türkiye, birincil enerji tüketiminde % 70,2 oranında dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Enerji tüketiminde % 28,7 payı olan petroldeki bağımlılığımız %92; %27 payı olan doğal gazdaki bağımlılığımız %99; %17,3 oranında payı olan taş kömüründeki bağımlılık oranımız ise % 97'dir. Yenilenebilir kaynakların, kullanılabilir enerjiye döngüsünde kullanılan ekipmanın büyük oranda ithal ediliyor olması da enerjide dışa bağımlılığımızdaki bir diğer sorundur. En çok bağımlı olduğumuz ülke ise Rusya Federasyonu'dur.

Öte yandan, 2021'e kadar spot piyasa fiyatları, küresel gaz piyasalarında gaz arzı fazlalığına bağlı olarak, oldukça düşük bir seyir izlemekte idi. Ancak, 2020'deki Covid-19 salgınındaki ilk şokun ve "kapanmanın" ardından, 2021'de hızlı bir "açılım" yaşandı. Buna bağlı olarak, tüm enerji kaynaklarına olan talep artınca, spot piyasa da yükseldi. Buna bağlı olarak, ülkenin ödeme dengelerinde, doğru planlama ve zamanlama yapılamadığı için, spot alımların son yıllarda toplam alımlarda ciddi oranda artan miktarı, doğal gaz faturamızı da olağanüstü yükselmesine neden oldu.

SONUÇ

Önümüzdeki 50 yıl içinde fosil yakıtların değerini yitireceği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim açıkça görülmektedir. Gelecekte küresel ticaret, ürünlerin üretimi sırasında kullanılan enerjinin küresel iklime etkisi göz önüne alınarak yapılacaktır. Bu nedenle, **Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat (European Green Deal)** ile yeni bir ekonomi stratejisine çağrı yapmaktadır. Buna göre 2030 yılına kadar %50, 2050 yılına kadar ise sıfır karbon salınımını hedeflenmektedir. Yani, ülkeler arası rekabet, yeşil enerji ile üretilmiş ürünlerden yana olacaktır. Dolayısıyla, ülkemizde yenilenebilir enerji üretimi konularında atılmakta olan adımların toplumsal olarak desteklemekte yarar vardır. Ancak, yenilenebilir kaynakların da üretim süreçlerinde çevreye bazı olumsuz etkilerin olabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Enerji sektöründe ve enerji güvenliğindeki temel sorunların başında, dışa bağımlılık gelmektedir. Oysa Türkiye'de, daha bağımsız ve sürdürülebilir bir enerji geleceğinin oluşumu için gerekli olan yerli ve özellikle yenilenebilir kaynak potansiyeli açısından yetersizlik söz konusu değildir. Dolayısıyla, enerji politikalarının ekonomi, güvenlik, uluslararası ilişkiler, sanayi, çevre, tarım, ulaştırma ve eğitim politikalarıyla bütünleşik olarak planlanması ve yürütülmesi, öncelikli hedef olmalıdır. Enerji politikası, diğer birçok sektör politikası ile olduğu gibi, dış politika ile de bütünleşik biçimde planlanmalıdır (Şekil 8).



Şekil 8. Enerji politikasının çok boyutlu ve bütünleşik (entegre) yapısı (Pamir, 2022'den).

Üretim yöntemi ve kullanılacak enerji kaynağı ne denli "çevre dostu" olursa olsun, elektrik üretme gerekçesi; santral çevresinde yaşayan insanların istekleri dışında onların yaşamsal haklarının sınırlanmasını, ortadan kaldırılmasını haklı kılamaz. Yöre halkının onayı alınırken, elde edilecek üretimin,

yöre insanına doğrudan katkısını sağlayacak yaklaşımların öne çıkarılması zorunludur. "ÇED'e gerek yoktur" türü uygulamalara son verilmeli; Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED)'in yanı sıra, çevresel sosyal etki (ÇSE) ve turizm etki değerlendirmesi (TED) gibi kapsamlı çalışmalar sonrasında nihai yatırım kararı verilmelidir.

Sonuç olarak, kültür ve tabiat varlıklarını koruyan, çevresel ve sosyal etkileri itibarıyla sorunları çözen, bireysel ve toplumsal haklara karşı saygılı, iş güvencesinden yoksun çalışma koşullarından arınmış, toplumsal yararı gözeten ve yeniden etkin kamu varlığını öngören bir anlayışın gözetilmesinde yarar vardır. Ülkenin, yaşanmakta olan küresel salgın dönemimde de böylesi bir anlayışa ihtiyacı olduğu açıktır. Çünkü küresel salgınlar, zengini ve fakiri birbirinden ayırmamaktadır.

Enerjiye yönelik planlamalarda, günümüzde egemen olan liberal sistemin işleyişi esas alınarak kamu yararına kapsamlı çözümler oluşturulamamaktadır. Böylesi liberal sistemleri ayakta tutmak için oluşturulan yeşil enerji, sürdürülebilirlik gibi kavramların da akılcı bir çözüm getiremeyeceği düşünülmektedir. Öte yandan, toplumsal çıkarların korunması ve geliştirilmesi için önerilen 'Demokratik Enerji Programı'nın, "Başka Bir Yeşil, Başka Bir Enerji" için görüş, değerlendirme ve önerilere kulak verilmelidir. Böylesi bir planlamada çevre, ekoloji, enerji ve ekonomi arasında bir denge gözetilerek şeffaf ve yeni bir sistemin oluşturulması mümkündür.

Öte yandan, emperyal ülkelerin, enerji kaynakları üzerinde denetim kurma çabaları yeterince bilinmektedir. Dolayısıyla, ülkemizin olabildiğince enerji kaynakları açısından dışa bağımlı halini de gözden geçirmek zorundadır. Coğrafik olarak ülkemiz, dünyanın en önemli enerji kaynaklarına erişimi için önemli bir konumdadır. Türkiye, enerji geçiş yollarının güvenliği ve enerji için en uygun ve ucuz taşıma güzergâhının seçilmesi konularında stratejik bir üstünlüğe sahiptir. Geleceğe yönelik planlamada, ülkemiz söz konusu bu avantajlardan yararlanmalıdır. Ayrıca, ülkenin geleceğine yönelik enerji gereksinimi başta olmak üzere, konuya dair gelişmeleri yakından izleyen ulusal ve uluslararası bağlantıları olan kapsamlı kurumsal bir yapının oluşturulması zorunludur.

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında ilk sıralarda yer alan Norveç, Türkiye'nin sahip olduğu potansiyeli kullanabilmesi açısından iyi bir örnek oluşturmaktadır. Norveç, petrol ve doğal gaz kaynakları ve aynı zamanda bunların ihracatında dünyanın ilk on ülkesi içerisinde yer almasına karşın, ülke içinde kullandığı enerjinin % 99'unu hidrolik enerjiden karşılamaktadır. Türkiye de kömür kaynakları bakımından zengin bir bölgede yer almasına karşın Norveç gibi kapasitesini yenilenebilir enerjilerden yana kullanmalıdır (Sav, 2022).

KAYNAKLAR

Akkaya, A. V., Akkaya, K. E. ve Dağdaş, A., 2002, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt I, Su Vakfı Yayınları, 16-18.

Akkuş, İ. ve Alan, H., 2016, Türkiye' nin jeotermal kaynakları, projeksiyonlar, sorunlar ve öneriler Raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, No 123, Ankara, 76s.

http://www.angelfire.com/
http://www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?KEYWORD_ID=4103 http://www.slideshare.net/
https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/TegNisan2021Sunumu_0.pdf

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.

Pamir, N., 2022. Türkiye ve enerji güvenliği (https://haber.sol.org.tr/haber/turkiye-ve-enerji-guvenligi341857; Erişim, 15.07.2022).

Sav, M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcutpotansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022.

TMMOB, 2021. Büyük Menderes Havzasında Jeotermal Enerji Santralleri Gerçeği ve Aydın İlinde Kurulu JES'lerin Çevresel Etkileri, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Selanik Cad. No:19/1 Yenişehir 06650 Ankara, 113 s.

Vesilind, P. A., Morgan, S. M. ve Heine, L. G., 2012, Introduction to Environmental Engineering (Çevre Mühendisliğine Giriş, Çeviri editörü: İsmail Torüz; Nobel Yayınları), Ankara, 206 s.

www.mta.gov.tr; Docplayer.biz.tr'den

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

4. 1, KÖMÜR

GENEL BİLGİLER

Kömür, yanabilen organik ve çökel bir kaya türüdür. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuştur. Diğer çökel katmanlar arasında damarlar ve çeşitli düzeyler halinde kalan kömür ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin güdümünde gelişen fizikokimyasal süreçlerin sonucu olarak meydana gelmektedir.

MÖ Türkler, Çin'in kuzeyinde, demir madenciliğinde kömür kullanmışlardır. Daha sonraları kömür Avrupa'da da kullanılmaya başlanılmış, 1603 yılında İngiltere'de kok kömürü üretimine geçilmiştir.

Sanayi devrimi ile önemi daha da artan kömür, buhar makinelerinde ve demir çelik sanayinde kullanılmaya başlanmıştır.

Osmanlı İmparatorluğu döneminde, 1751'de Saraybosna'da taşkömürü bulunmuştur. Taşkömürü Türkiye'de ilk kez Ereğli'nin Kestaneci köyünde Hacı İsmail ve deniz eri Uzun Mehmet tarafından (1829) Köse ağzı mevkiinde bulunmuştur. 1848 yılında Ereğli Kömür İşletmeleri ilk üretimini gerçekleştirmiş ve yıllık 40-50 bin ton üretim kapasitesi ile çalışmıştır. 1857 yılına kadar çeşitli yerli ve yabancı kuruluşça işletilen kömür, 1957 yılında Türkiye Kömür İşletmeleri'ne devir edilmiş olup, 1983 yılında Türkiye Taşkömürü Kurumu adını almıştır.

Kömür, Dünya'da eskiden beri kullanılan, güvenilir, aynı zamanda düşük maliyetlerle elde edilebilen bir yakıttır. Kömür, Dünya'da elliden fazla ülkede üretilmektedir. Kömür rezervleri (petrol ve doğal gaz) gibi diğer fosil yakıtlar Dünya'nın belli bir bölümünde değil, tüm Dünya'da yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Kömür kullanımı, depolanması ve nakliyesi açısından ayrıca en çok tercih edilen fosil yakıttır.

Dünya'da yaygın bir şekilde bulunmasından dolayı diğer fosil yakıtlar (petrol ve doğalgaz) kadar pahalı değildir. Elektrik Enerjisi üretiminde ucuz ve rekabetçi bir yakıt olması nedeniyle Dünya elektrik üretiminin yaklaşık % 40'ı kömürden karşılanmaktaydı (MTA, 1993).

KÖMÜRLERİN SINIFLANDIRILMASI

Değişik tipte kömürler, kullanım amaçlarına göre 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu'nca (Uluslararası Standartlar Örgütü-ISO) tarafından da desteklenerek) genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak sert ve kahverengi kömürler olarak uluslararası ölçütlere göre iki ayrı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 1):

Sert kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5,700 kcal/kg'ın üzerinde kalorifik değerdedir. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.

Kahverengi kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5.700 kcal/kg'ın altında kalorifik değerdedir. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Uluslararası kömür sınıflamasında kabul edilen diğer bir sınıflama kömürleşme derecesi esas alınarak yapılan sınıflamadır. Bu sınıflandırmada karbon içeriği temel alınmaktadır. Kömürleşme derecesi yüksek kömürlerde uçucu madde içeriği, kömürleşme derecesi düşük kömürlerde ise kalorifik değer baz alınarak sınıflandırma yapılmıştır (Çizelge 2). Ayrıca Amerikan ölçütlerine göre kömür sınıflaması Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 1. Uluslararası genel kömür sınıflaması (ASTM, 1984).

Sert Kömürler	Kahverengi Kömürler
Koklaşabilir kömürler (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	Alt bitümlü kömürler (4.165 – 5.700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
Koklaşmayan kömürler a) Bitümlü kömürler b) Antrasit	Linyit (4.165 kcal/kg'ın altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Çizelge 2. Kömürleşme derecelerine göre kömür sınıfları (ASTM, 1984).

Kömürleşme Derecesi	Uçucu Madde İçeriği % Ağırlık, Islak - Külsüz	Karbon İçeriği % Ağırlık, Islak – Külsüz	Kalorifik Değer Btu/Lb, Mineral Maddesiz	Nem İçeriği % Ağırlık
1. LİNYİT	69 - 44	76 – 62	8.300 – 6.300	52 - 30
2. ALT BİTÜMLÜ	52 - 40	80 - 71	11.500 – 8.300	30 - 12
3. BİTÜMLÜ				
a) Yüksek Uçuculu-B	50 - 29	86 - 76	13.000 – 10.500	15 - 2
b) Yüksek Uçuculu-C				
c) Yüksek Uçuculu-A	49 - 31	88 - 78	14.000 14.000	5 - 1
d) Orta Uçuculu	31 - 22	91 - 86	14.000	5 - 1
e) Düşük Uçuculu	22 - 14	91 - 86		5 - 1
4. ANTRASİT	14 - 2	99 - 91	14.000	5 - 1

Çizelge 3. Amerikan kömür sınıflaması (ASTM, 1984). (*) Kuru mineral maddesiz bazda.

		Sabit karbon sınırları* (%)		Uçucu mineral madde sınırları *(%)		Isı değeri (kcal/kg)
SINIF	ALT GRUP	> =	<	>	< =	> = <

Antrasit	1.Meta-antrasit	98			2	7.780	
	2.Antrasit	92	98	2		7.780	
	3.Semi-antrasit	86	92	8	14	7.780	
Bitümlü	1.Düşük uçuculu	78	86	14	22	7.780	
Kömürler	2.Orta uçuculu	69	78	22	31	7.780	
	3.Y. uçuculu-A		69	31		7.780	
	4.Y. uçuculu-B		69	31		7.220	7.780
	5.Y. uçuculu-C		69	31		5.835	7.220
Alt	1.Alt Bitümlü A 2.Alt		69	31		5.835	6.390
Bitümlü	Bitümlü B		69	31		5.275	5.835
Kömürler	3.Alt Bitümlü C		69	31		4.610	5.275
Linyit	1.Linyit A		69	31		3.500	4.610
	2.Linyit B		69	31			3.500

KÖMÜRLERİN ÖZELLİKLERİ

Kömürler siyahımsı renkte, gevrek, kırılgan, yanabilen, içerisinde organik maddeler dışında değişik özellikte inorganik maddeler de içeren organik bir çökel kayatürüdür. Genel sınıflandırmalarda önemli bazı kömürlerin tanıtıcı özellikleri Çizelge 4'te sunulmuştur. Kömürlerin fiziksel özelliklerinden çok halk arasında kimyasal özellikleri önemsenmektedir. Kömürlerin temel özellikleri Tuncalı ve diğerleri (2002) ile Yılmaz (2009 ve içindeki kaynaklar) tarafından sunulmuştur:

Çizelge 4. 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

Kömürlerin fiziksel özellikleri

Kömürlerin bazı fiziksel özellikleri aşağıda sunulmuştur.

Yoğunluk: İçerdikleri inorganik madde ve nem oranına bakarak artmasına rağmen 1.1 ile 2.2 g/cm^3 arasında değişmektedir.

Gözeneklilik: Kömürleşme derecelerine bağlı olarak % 3 (antrasit) ile % 25 arasında değişmektedir.

Sertlik: Kömürleşme derecesi arttıkça sertlik artmaktadır. Linyitler için sertlik, Mohs sertlik ölçeğine göre 1-3 kg/mm^2 arasındadır. Bitümlü Kömürler: 2.5-3 kg/mm^2, Antrasit kömürler: 3-4 kg/mm^2.

Nem: Taşkömürü % 1-3, Sert Linyit % 20-30, Yumuşak Linyit % 40-60, Turba> % 60, nem içerir. Nem miktarı, kömürleşme derecesi arttıkça azalır.

Uçucu madde: Kömür, oksijenli ortamda ısıtıldığında çoğunluğu H, CO, CH_4, CO_2 ve su buharı gibi gazların (uçucu madde) ortaya çıktığı görülür.

Kül: Yanmadan sonra, kömür içindeki mineral madde, kül olarak kalır. Kül, istenmeyen bir maddedir. Kül analizinde rastlanan bileşikler şunlardır: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO. TiO_2, K_2O, Na_2O, P_2O_5 ve SO_3'tür.

Kalori değeri: Kömürün ısıl gücü kalorifik gücü ile doğru orantılıdır. Her kömürün kendine özgü kalorifik değeri vardır. Turba: 1000 kcal/kg, Linyit: 700-7000 kcal/kg, Taş Kömürü: 5000-8000 kcal/kg.

Parlaklık: Kömürleşme derecesine bağlıdır. Kömürleşme arttıkça, parlaklık da artar.

Jeolojik yaş: Turba: Kuvaterner, Linyit: Tersiyer ve az oranda Mezozoyik, Taş Kömürü: Paleozoyik yaşlıdır.

Kömürlerin kimyasal özellikleri

Kömürlerin kalitesi ve özelliklerini ortaya koyan kalori (ısısal), ya da element analizleri de yapılabilmektedir.

Ayrıca, nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon analizleri önemlidir. Bu analizler, bir kömürün petrografik analizler ile birlikte kömürlerin niteliklerini ortaya koyabilmektedir.

Kömürler içerisinde bulunan C, S, O, N, H elementlerinin analizleri çok özel ve ayrıntılı araştırmalar için yapılmaktadır. Kömür analizleri, çeşitli kamu kuruluşlarında ve üniversitelerde yapılabilmektedir.

Kömürlerin yansıma özellikleri

Kömürlerde Rmax, Rmean, Rrandom ve Rmin yansıma değerleri ölçülmektedir. Yansıma değerleri bir havza kömürlerini gerçek kömürleşme derecelerini ve geçmişte geçirdikleri diyajenetik özellikleri (maruz kaldıkları ısısal değerleri) doğrudan belirlemeye katkıda bulunmaktadır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Kömürlerin % Rmax değerleri ve kömürleşme dereceleri (Stach ve diğerleri, 1982).

Kömürleşme derecesi	Rmax0.01
Linyit	< 0.380
Alt bitümlü kömür	0,38-0,47
Yüksek uçucu maddeli taşkömürü C	0,47-0,57
Yüksek uçucu maddeli taşkömürü B	0,57-0,71
Yüksek uçucu maddeli taşkömürü A	0,71-1,10
Orta uçucu maddeli taşkömürü	1,10-1,50
Az uçucu maddeli taşkömürü	1,50-2,05
Semi antrasit	2,05-3,0
Antrasit	>3,0

Kömürlerin floresans özellikleri

Kömürler, organik malzemeler içermeleri nedeniyle floresans özellikler sunarlar. Kömürlerin floresans özellikleri yansıma özellikleri ile tam zıt değerler ortaya koyarlar. Yansıma değerleri düşük olan turba ve kömürlerde floresans özellikler tam tersine yüksek değerlerdedir. Kömürleşme dereceleri arttıkça, liptinit ve vitrinit'in göstermiş olduğu floresans özellikleri de buna koşut olarak azalmakta ve yüksek kömürleşme evrelerinde yok olmaktadır.

Liptinitler, daha önce de belirtildiği gibi, kömürleşme olayına en geç katılan maseraller olduğu için en yüksek floresans özellik gösteren unsurlardır. Bazı semifüziniler dışında inertinit grubu maseralleri genelde hiç floresans özelliği göstermezler. Floresans ışığın kendisi de parlatılmış örnek üzerine düşürülerek örnek incelenir ve ölçümleri böylece yapılır. Floresans değerleri yüksek maddeler daha açık renklerde (açık yeşil), floresans değerleri düşük olan maddeler ise daha koyu renklerde (kırmızı, koyu kahverengi) görünürler. Liptinitlerin ayrıntılı özellikleri ve inorganik maddelerden (kıl) kolaylıkla ayırd edilebilmesi bu yöntemle olabilmektedir.

Kömürün bileşenleri

Kömürün bileşenleri başlıca makroskobik, mikroskobik ve inorganik olmak üzere ayrılabilir. Bu bileşenlerin özellikleri sıra ile aşağıda sunulmuştur.

Kömürlerin makroskobik bileşenleri

Bir kömür parçasını elimize aldığımızda onların değişik yüzeylere ve görünümlere sahip olduğunu görürüz. Bazı kömürler kübik bölünmeler (taşkömürleri) şeklinde ufalanmaktadır. Turbalarda bitki parçaları (fiteraller) görünürken, bazı kömürlerde kalın, ince parlak ve mat bantlaşmalar görülmektedir.

Bir kömür parçasının üst kısmında bir katmanlanma düzlemi vardır. Bu düzlem, eğer bir kıvrılma, kırılma ya da deformasyona uğramamış ise, yer yüzeyine koşut olacak şekilde, yani yatay konumda olur.

Kömürlerde katmanlanma düzlemlerine dik olan, yan taraflarda ise "Klit" ("Cleat") denilen düzlemler bulunmaktadır. Bunlardan ön veya yüz kliti pürüzsüz iken, yan kliti daha pürüzlü durumdadır. Yani klitler ortamın kayalarının kıvrım eksenlerine koşut olurlar. Klitler ortamın dağ oluşumunu sağlayan faktörlerin etkisinde kalarak oluşurlar. Klit açıları taşkömürü düzeyinde 90° dolayında olup, daha düşük kömürleşme düzeylerinde (alt bitümlü kömür ve linyitlerde) bu açı daha küçük ya da farklıdır. Antrasitlerde klitlerin sayısı ikiden daha fazla (üç) olup, bunlar da birleşerek konkoidal bölünmeyi sağlamaktadırlar.

Özellikle taşkömürü bantlı bir görünüm sunar. Kömürlerin el ile incelendiğinde, elde is bırakan nitelikte olan bileşenleri, "Litotip" olarak adlandırılan birimleridir. Litotipler sonlarına "ain" takısı alırlar. Birbirinden farklı dört litotip vardır. Bunlar Vitren , Klaren, Düren ve Füzen'dir.

Kömürlerin Rmax değerleri o ortamın geçmişten, günümüze kadar geçirmiş olduğu en yüksek ısısal değerleri doğrudan vermektedir. Buradan elde edilen bilgiler bize o ortamın ne tür etkiler altında kalmış olduğunu ve ne tür özelliklere sahip olduğunu açıklamaya yardım etmektedir.

Vitrinit yansıma değerleri, petrol ve doğal gaz aramalarında kullanılmaktadır. Petrol aramalarında petrol içeren birimlerin içerdiği herhangi bir ağaç parçası üzerinde yaptığımız ölçümler, bize bu formasyonda ne tür bir hidrokarbon (ağır sıvı, sıvı, gaz veya hiçbir şeyin) bulunabileceğine ya da bulunamayacağına ilişkin bilgiler sağlamaktadır.

Yansıma değerleri kömürün doğal halde, yerin altında bulunma derinliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Daha derinde bulunan kömürlerin daha fazla "jeotermal gradyan"dan etkilenmesi nedeniyle, daha yüksek kömürleşme değerleri göstermesi doğaldır. Kömürlerin yansıma değerini arttıran diğer unsurlar, ortamdaki yerin ısısını arttıran volkanik faaliyetler, diri fay hareketleri ve ortamda bulunabilecek radyoaktif minerallerdir.

Kömürlerin mikroskobik bileşenleri

Kömür örnekleri parlatılma briketleri yapılarak üstten aydınlatmalı mikroskoplarda incelenmektedir. Kömürlerin bu şekilde incelenmesi, kömürün tüm bileşenlerini belirlemeyi kolaylaştırmıştır.

a) Maseraller

Kayalardaki en küçük bileşenler olan minerallere benzemesi dolayısıyla organik maddelerde de en küçük birimlere **maseral** adı verilmiştir.

Kömürleri meydana getiren maseral ve mineraller bir kömür katmanı boyunca gelişi güzel dağılmazlar. Kömür özellikle ortamın biyolojik ve kimyasal işlevlerine bağlı olarak oluşur. Farklı koşullar, farklı özellikte organik malzemenin (veya maseralin) ve minerallerin ortamda bulunmasını sağlar. Farklı koşullarda oluşan ve kökeni de farklı olabilen maserallerin de kuşkusuz farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri olabilmektedir.

Maseraller, kömürlerde farklı morfolojik yapılar ve farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı gruplandırılmışlardır. Sonlarına "init" sözcüğü alırlar. Üç ana maseral grubu vardır. Bu ana gruplar Vitrinit (linyit ve alt bitümlü kömürlerden Huminit), Liptinit (eski Ekzinit) ve İnertinit'tir.

b) Mikrolitotipler

Maseraller (yaklaşık 50 mikronluk) küçük alanlarda bile bazen tek başlarına olmayıp gruplar halinde bulunurlar. Bir arada bulunan maseral toplulukları **mikrolitotip** olarak değerlendirilebilirler. Kayatürleri (granit, gnays) gibi terimler kömürdeki litotiplere, mineraller de kömürlerde meserallere karşılık gelmektedir. Ama mikrolitotip kavramı litotip ile maseral arasında büyüklüğü olan bir kaya türüne benzer ve belirlenmiş bir tanımı olmayan, mikroskoplar ile incelenebilen bir ara kavramdır. Bazı mikrolitotipler daha çok kok dışı amaçlı, özel amaçlarda (kömürlerin oluştukları ortamların belirlenmesinde) kullanılmaktadır. Mikrolitotipler sonlarına maseraldeki "init" takısı yerine "it" takısı alırlar.

Kömürlerin inorganik bileşenleri

Kömürlerin çoğu yalnız organik maddeleri içermezler. Bunların içinde çeşitli miktarlarda inorganik maddeler de bulunabilirler. Kömürler çökel ortamlarda oluşan, bataklık ürünü olan maddeler oldukları için, oluştukları sırada ya da daha sonra bu ortamlara yer yüzü ve/veya yeraltından, organik olmayan, büyük ve/veya göremediğimiz kadar küçük maddeler katılabilmektedir. Bu maddeler bazen ortama, bir sıvı içerisindeki çözülmüş bir madde (SCH, COs, Ch, FOOH gibi) veya taşınmış bir katı madde (mineral ve/veya iz elementi) olarak katılabilirler. Kömürlerin oluşması sırasında (sinjenetik olarak) ortama katılabilen bu maddeler, kömür katmanları ile uyum gösterip uygun buldukları boşluklar da girebilirler.

Ama kömürün oluşmasından sonra bu ortama gelen malzemeler, katılaşmış kömürün içerisine ancak oluşum sonrası (epijenetik olarak), korunmuş olan boşluk, çatlak ve mikro süreksizlikler içine girebilirler. Bu tür mineral maddeler, boşluklarda mikroskop ve elektron mikroskoplarında rahatça izlenebilmekte ve belirlenebilmektedir.

Bazen de kömürler oluşurken, kömür ortamlarında oluşabilen (bakteriyel ve kimyasal) reaksiyonlar sonucu da bazı mineral maddeler ortama katılabilmektedir (framboyidal pirit gibi).

Kömürün gerek çevre açısından kirlilik oluşturabilen gerekse istenmeyen ve sonunda kül olarak açığa çıkan mineral maddelerine bir göz atıldığında (çoğunluğa göre sırasıyla) aşağıda sunulan maddeler dikkat çeker.

Kil mineralleri: Bataklık ortamda oluşan kömürlere eşlik eden killer, en doğal ve tüm kömürlerde en fazla bulunan mineral maddeler olup inorganik maddelerin yaklaşık %50'sini oluştururlar. Karasal

kökenli olduğu düşünülen kaolinler, bunun yanında illit, smektit ve smektit-illit karışımı killer, kömürlerde en rastlanılan killerdir.

Karbonat mineralleri: Kalsit, Siderit ($FeCO_3$), Dolomit ($Ca,Mg(CO_3)_2$, Ankerit ($2CaCO_3.MgCO_3.FeCO_3$) ve az olmakla birlikte Aragonit ($CaCO_3$), Davsonit [$Na,AlCO_3(OH)_2$], Stronsiyanit ($SrCO_3$) gibi minerallerin Ca, Mg ve Fe'sinin değişik şekil ve bileşimdeki karbonatlarının da bulunması mümkün olmaktadır.

Sülfidler: Genellikle Pirit ve Markasit olarak bilinen mineraller olmakla birlikte bunun yanında diğer sülfid mineralleri olan Galen (PbS), Sfalerit (ZnS), Kalkopirit (Cu FeS_2) de görülmektedir.

Silisler: Çoğunlukla yeryüzünde en fazla görülen minerallerden biri olan kuvars olup bunlar kömürlerdeki tüm inorganik maddelerin % 20'sini oluştururlar.

Diğer mineraller: Bunlar Kalsedon, Feldispatlar, Turmalin, Apatit, Anatas, Rutil, Hematit, Götit, Zirkon, Goyazit, ayrıca Jips, Barit ve Anhidrit gibi sülfat mineralleridir.

Bu minerallerin dışında, kömürler içerisinde gözle ya da mikroskoplarla görülemeyen ve genelde çok az bulunabilen, ancak önemli anlamları olan iz elementler de vardır.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Büyük kömür yatakları karasal ortamlarda oluşmaktadır. Tüm jeolojik dönemlerde kömürler oluşmuştur. Kömür, genel olarak sığ denizel, akarsu ve göl ortamlarında oluşur. Ülkemizde EosenPliyosen zaman aralığında çökelmiş istifler içinde (Şekil 1 ve 2) yer alan linyitler yaygındır. Orta Anadolu, Trakya ve Batı Anadolu bölgelerinde yer alan genç havzaların istiflerinde zengin kömür yatakları yer almaktadır. Pliyosen yaşlı linyit sahaları ise Karadeniz Bölgesi dışında tüm diğer bölgelerde geniş bir yayılıma sahiptir. Ülkemizdeki Eosen ve Oligosen yaşlı linyit yatakları akarsu, daha genç olanlar ise göl ortam koşullarında oluşmuşlardır.

Şekil 1'de kömürün katmanlı kayalar arasındaki konumu görülmektedir. Jeolojik veriler, kömürün gölsel bir istifin çökelimi sırasında oluştuğunu göstermektedir. Kömür düzeylerini içeren istifler kimi yerlerde ileri düzeyde deformasyona uğrayabilir (Şekil, 2).



Şekil 1. Kömürün katmanlı kayalar arasındaki görünümü (MTA, 1993).



Şekil 2. Kıvrımlanmış katmanlar arasındaki kömür düzeylerinin görünümü (MTA, 1993).

Havanın oksijeni ile doğrudan yanabilen, % 55-95 arasında serbest ya da bileşim halinde karbon içeren, katı-organik kökenli bir kaya türü olan kömür; bitkisel artıkların uygun fizikokimyasal koşullarda zamana bağlı değişimi sonucu oluşur.

Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun koşulların oluşması durumunda, bitki parçalarının bozuşması, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler. Uygun koşullar ise nemli ve sıcak iklimin bulunması, yeterli organik maddenin ortama gelmesi, bataklık suyunun Ph'ının 4-5 civarında bulunması, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökelmesi, bataklığın zamana bağlı olarak örtülmesi sayılabilir.

Turbadan başlayarak linyit, taşkömürü şeklinde devam eden ve antrasitle son bulan değişim, **kömürleşme derecesi** olarak bilinir. Kömürleşme olayında bitki cinsleri, su derinliği, paleoklimatik ve paleocoğrafik koşullar, ısı basınç gibi etkenler önemli rol oynarlar. Bu etkenler, kömürün kalitesini de belirler.

ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

Kömür üretiminde uygulanan yöntemler **açık işletme** ve **yeraltı işletme yöntemleri** olarak ikiye ayrılmaktadır. Kömür hazırlama ve zenginleştirme alanında ise yıkama, briketleme, koklaştırma, gazlaştırma ve sıvılaştırma işlemleri yapılmaktadır.

Açık işletme yöntemleri ve teknolojileri

Türkiye linyit üretiminin yaklaşık % 90'ı, yüzeyde yer alan birimlerde yer aldığından, açık işletme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir (Şekil 3). Açık İşletmelerde kullanılan iş makinelerinde son yıllardaki gelişen teknolojiye koşut olarak büyük gelişmeler göstermesi, kapasitelerinin artması, açık işletme üretimlerinde büyük artışlara yol açmıştır.

Açık İşletmelerde üretim sistemleri, sürekli ve süreksiz üretim sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Zonguldak'ta olduğu gibi, Paleozoyik yaşta ve derinde yer alan kömürlerin üretiminde yeraltı işletmeleri tercih edilir.



Şekil 3. Tekirdağ'ın Pirinççeşme köyü açık kömür işletmesi (www.antinsaat.com).

Sürekli sistem

Sürekli üretim sistemi; kazı, yükleme ve taşınmanın kesintisiz olarak yapıldığı bir sistem olup büyük işletmelerde tercih edilmektedir. Bu sistemde, (döner kepçeli ya da zincirli ekskavatör gibi) kazıcı-yükleyici makineler ve nakliye sistemi olarak da bant- konveyör, aktarıcı konveyör ve demiryolu kullanılmaktadır.

TEAŞ- Elbistan açık işletmesinde her biri 3.000 m^3/h kazı- yükleme kapasitesinde 6 adet döner kepçeli ekskavatör ile her biri 5.600 m^3/h malzeme dökme kapasitesine sahip 5 adet dökücü, kuramsal kapasitesi 10.500 t/h olan 50 km uzunlukta bant konveyör hattı bulunmaktadır.

Sürekli olmayan sistem

Bu sistemde kullanılan iş makineleri çok çeşitlilik göstermekte, sistem genel olarak orta ve küçük ölçekli işletmelerde uygulanmaktadır. En yaygın sistemler, ekskavatör- kamyon, ekskavatör–yükleyicikamyon, dragline-ekskavatör- kamyon sistemleridir.

TKİ'nin çeşitli üretim bölgelerinde kepçe kapasiteleri 1-20 yd^3 arasında değişen ekskavatörler (elektrikli ve hidrolik), 0.7-10.3 m^3 arasında değişen yükleyiciler ve 35-170 short ton kapasiteli, çeşitli markada çok sayıda kamyon çalışmaktadır. Özel sektörde kullanılan iş makineleri düşük kapasitelidir. TEAŞ'a bağlı Sivas- Kangal'da 25 yd^3'lük ekskavatör de bulunmaktadır.

Günümüzde değişen teknolojiye koşut olarak, Dünya'da ekskavatör kapasiteleri 70 yd^3'e, dragline kapasiteleri ise 220 yd^3'e çıkmıştır. Kazılan malzemenin taşınmasında, kapasitesi 350 short tona ulaşan kamyonlar açık işletmelerde kullanılmaktadır. Açık işletmeye uygun rezervlerin derinlikleri arttıkça, yüksek verimle çalışan büyük iş makinelerinin kullanımlarının artması kaçınılmaz olacaktır.

Yeraltı işletme yöntemleri ve teknolojiler

Yeraltı işletme yöntemleri, açık işletme yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok çeşitlilik göstermektedir. Türkiye kömür madenciliğinde yeraltı üretim yöntemleri **kazı arınlarının durumuna** göre; uzun kazı arınlı (uzun ayak, diyagonal ayak), dar kazı arınlı (tavan ayak, taban ayak), topuklu (göçertmeli topuklu, dolgulu topuklu, çapraz topuklu, travers ayak, arakatlı topuklu ayak), oda

yöntemleri (oda- topuk yöntemi, tali katlı göçertme) ve blok yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar içinde en yaygın uygulama alanı bulan uzun ayak işletmeciliği olup ilerlemeli ya da dönüşümlü ve göçertmeli ya da dolgulu uzun ayak olarak uygulanmaktadır.

Ülkemizde taşkömürü üretiminin tümü TTK tarafından yeraltı işletmeleriyle yapılmaktadır. Üzülmez, Kozlu, Karadon ve Amasra Bölgeleri'nde ilerletme ve dönümlü uzun ayak ile diyagonal ayak yöntemi, dilimli ayak yöntemi, basamaklı diyagonal ayak ve kara tumba yöntemleri, Armutçuk Bölgesi'nde ise göçertmeli travers ayak ile dolgulu travers ayak yöntemleri uygulanmaktadır.

Kömür hazırlama ve zenginleştirme teknolojileri

Yıkama

Kömür yıkama tesisleri, **lavyar** olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'de mevcut kömür yıkama tesisleri (lavvar) değişik zamanlarda, kömür piyasasının gereksinimlerine göre tasarlanmış tesislerdir. Kömür piyasasındaki talep değişimleri özellikle kömürün tane iriliği, kalorifik değeri ve dolayısıyla külü ile ilişkilidir. Bu nedenle, 1950'li ve daha sonraki yıllarda kurulmuş bazı kömür yıkama tesislerinin, zaman içinde meydana gelen talep değişimlerine yanıt verebilmek amacıyla tasarımları değiştirilmiş veya devre dışı bırakılmışlardır.

Türkiye'de kömür yıkama tesislerinin kurulması ekonomik gereksinimden dolayı gerçekleştirilmiştir. Demir ve çelik fabrikalarının gereksinimi olan hammaddeyi elde etmek için önce Zonguldak havzasında kömür yıkama tesisleri inşa edilmiştir. Linyit kömürü madenciliğinin 1980'li yıllardan sonra büyük gelişmeler göstermesi nedeniyle linyite sanayi ve ısınma sektörlerinden talep artmıştır. Ancak yoğun kömür kullanımı ile birlikte gündeme gelen hava kirliliği, linyitin yıkanması gereksinimini doğurmuştur. Ayrıca giderek artan ithal kömür ile rekabet edebilmek için, yerli linyit kalitesinin artırılması ya da ısı değerinin yükseltilmesi gereksinimi de doğmuştur.

Zonguldak Taşkömür Havzası'nda kurulmuş olan Zonguldak Merkez Lavyarı, Armutçuk Lavyarı ve Çatalağzı Lavvarı, Türkiye'de ilk kömür yıkama tesisleri olma özelliğindedir. Daha sonra 1960'lı yılların sonlarına doğru Tunçbilek Lavvarı kurulmuştur. Bu tesislerdeki araç-gereç, eski teknolojilerin ürünü olup bu nedenle verimlilikleri düşüktür.

1993 yılında hizmete alınan Tunçbilek-Ömerler lavvarı ise, son derece çağdaş ve verimliliği yüksek bir tesistir. Daha sonra özel sektör tarafından inşa edilen mobil lavvarlar, kapasiteleri ve verimlilikleri daha düşük, ancak, gereksinimleri karşılayabilen tesislerdir.

Taşkömürü; Türkiye'de taşkömürlerinin zenginleştirilmesi için 4 adet yıkama tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde iri kömür yıkama 100-6 mm, ince kömür yıkama, 6-0.5 mm, 18-0.5 mm, 0.5-10 mm ve şlam kömür yıkama ise 0–0.5 mm boyutlarında yapılmaktadır.

1957 yılında kurulan Zonguldak merkez lavvarının girdi kapasitesi 1.000 t/h'dır. Üç ünite olarak çalıştırılan tesisin iri ve ince devrelerinde jig (sığ) ve 0-0.5 mm şlamların kazanılması için flotasyon devreleri vardır. 1975 yılında tesiste proses değişikliği yapılarak ince yıkama devrelerine ağır ortam siklonları eklenmiş ve 1994 yılında flotasyon devresi iptal edilerek, filtrasyon tesisi kurulmuştur.

220 ton/h kapasiteli Armutçuk lavvarında l00-6 mm boyutlu kömürler jigde (sığ), ince kömürler sarsıntılı masada ve şlam kömürler ise flotasyonda zenginleştirilmektedir.

Amasra lavvarında 100- 10 mm iri kömürler ağır ortam tamburlarında, 10-0.5 mm kömürler ağır ortam siklonlarında, şlamları ise flatosyon sisteminde ayırıma tabi tutulmaktadırlar. Tesisin girdi kapasitesi 210 ton/h'dır. Bu tesislerde, kullanılan yıkama cihazlarının genel yıkama hassasiyeti gerek kapasite ve gerekse otomasyonu günümüz teknolojilerinin gerisinde kalmış olup, tesislerin yenilenmesi gerekmektedir.

Linyit; 1950'li yıllarda TKİ kömürlerine yönelik teknolojik araştırmalar çerçevesinde Soma- merkez kömürlerinin yıkandığı lavvar 1952 yılında, Tunçbilek açık ve kapalı ocak kömürlerinin yıkandığı lavvar tesisi ise 1958 yılında kurulmuştur. Soma lavvar tesisi verimli çalışmadığından 1994 yılında devre dışı bırakılmıştır. Tunçbilek lavvarı, 1968 yılında tevsi edilmiş ve 1984 yılında da atık sular içindeki kömürlerin kazanılması için arıtma tesisi devreye alınmıştır. 1993 yılında ise, Tunçbilek- Ömerler yıkama tesisi işletmeye alınmıştır.

Özel sektör üreticileri, genellikle 30 mm altındaki toz kömürlerin temizlenerek daha kaliteli olarak piyasaya sunulması amacıyla, jig sistemlerinde münferit olarak yıkama işlemi yapmaktadırlar.

Mobil yıkama tesisleri gerek çevreye etkileri açısından gerekse işçi yoğun sistemler olması ve yeni teknolojiler içermemesi nedeniyle yıkama randımanları düşük ve kömür kayıpları fazla olan sistemlerdir.

Briketleme

1954 yılında, 22.000 t/yıl kapasiteli Ankara briket tesisi, linyit, taş kömürü ve kok tozunun değerlendirilmesi amacıyla kurulmuştur. Tesiste % 10 zift ve % 90 toz kömürün karıştırılarak sıkıştırılması ve ısı işlemiyle biriket yapılmıştır. Tesis, ekonomik ömrünü doldurduğundan ve Ankara'da TKİ'nin kömür dağıtım biriminin kaldırılmasından sonra 1992 yılında devre dışı bırakılmıştır.

1969 yılında işletmeye alınan Erzurum Biriket Fabrikası, Aşkale ve Oltu toz kömürlerinin değerlendirilmesi amacıyla kurulmuştur. 30.000 t/yıl kapasiteli tesiste % 10 zift ve % 90 toz kömür karıştırılarak biriket elde edilmekteydi.

Özel sektörce, devletin biriketlemeyi vergi indirimiyle teşvik etmesi sonucu 1982 yılında, 150.000 ton/yıl kapasiteli Vize (top kömür) Biriket Fabrikası tesis edilmiş ve bu tesiste Vize kömürleri zift, sülfit likörü gibi bağlayıcılarla biriketlenmiştir. Ancak, maliyetlerin yüksekliği ve işletme sorunları nedeniyle tesis, 1985 yılında kapatılmıştır.

Taşkömüründe ise, 1939 yılında, Zonguldak'ta, 0-0.5 mm boyutlu yıkanmış kömürlerin zift bağlayıcı kullanılarak biriketlenmesi amacıyla, 134.000 t/yıl kapasiteli biriket tesisi yapılmıştır. Tesis, 1987 yılına kadar çalıştırılmış ve bu tarihten sonra devre dışı bırakılmıştır.

Biriket tesislerinin ilk yatırım maliyetleri yüksek olup, ısı işlem devresi en önemli yatırım kalemini oluşturmaktadır. Linyitlerin katkılı ve katkısız biriketlenmesi yönünde MTA, Üniversiteler ve yurt dışından bazı kuruluşlarca çeşitli araştırmalar yapılmış olmakla birlikte, yatırım maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle önemli bir gelişme sağlanamamıştır.

Koklaştırma, gazlaştırma ve sıvılaştırma

Kok, taşkömürünün 700 ^{o}C üzerinde havasız bir ortamda ısıtılarak uçucu maddelerini kaybetmesi sonucunda elde edilmektedir. Ülkemizde, Karabük, Ereğli ve İskenderun demir çelik kok fabrikalarında kok üretimi yapılarak sanayi ve ısınma amaçlı olarak tüketime sunulmaktadır. Zonguldak merkez ve Çatalağzı lavvarı ürünleri 0.5-6 mm ve 0-10 mm boyutlu kömürler, demir çelik fabrikalarına verilmekte ve bu kömürlerin uçucu maddelerinin alınması sonucunda kok elde edilmektedir. Demir-çelik fabrikalarında kullanılan koklaşabilir taşkömürünün % 60-65'i dış kaynaklardan sağlanmaktadır.

Linyitler üzerinde yapılan koklaştırmaya yönelik araştırmalardan olumlu bir sonuç alınamamıştır. Türkiye'de taşkömürü ve linyitlerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılmasına yönelik endüstriyel çapta bir tesis bulunmamaktadır. Buna karşılık, amonyak üretiminde kullanılacak olan linyitler, azot sanayisinde kullanılan gazlaştırıcılarla gazlaştırılarak, sentez gazlar elde edilmektedir.

KULLANIM ALANLARI

Kömür, genel olarak termik santrallerde (Şekil 4), demir-çelik ve alüminyum gibi birçok sanayinin enerji hammaddesi olarak ve ısınma amaçlı olarak meskenlerde (ev, işyeri, okul vd.) kullanılmaktadır. Ayrıca, boya, plastik, ilaç, kozmetik gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (DPT, 2001).



Şekil 4. Yatağan termik santralinden bir görünüm (http://www.haberler.com/).

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Kömür yataklarının arama ve planlama, işletme, cevher zenginleştirme ve kullanılması evrelerinde çeşitli çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların büyük bir bölümü ÇED uygulamalarında iyi bir planlama ile kısmen denetlemek mümkündür. Aşağıda kömür üretimin her evresinde gözetilmesi gereken hususlar sunulmuştur (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Arama ve planlama evresi

Kömürde, çevre sorunları, kömürün arama ve planlama evresinden yakılmasına değin, hemen her evrede ortaya çıkabilir. Dolayısıyla, kömür madenciliğinin her aşaması çevre ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle galeri açma ve sondaj çalışmaları arama ve planlama evresinin bir parçasıdır. Bu evrede ortaya çıkabilecek görüntü kirliliği ve diğer çevresel sorunlara dikkat edilmesinde yarar vardır. Kömür arama faaliyetlerinin çevreye verdiği zararlar sınırlıdır. Buna rağmen özel önlem gerektiren alanlarda, etkilerin ve doğabilecek zararların giderilmesi veya karşılanması için gerekli düzenlemeler mevcut yasa ve yönetmelikler çerçevesinde yapılmalıdır.

Ocak işletme evresi

Ülkemizde, kömür madenciliği faaliyetleri tarım ya da orman arazisi, hazine arazisi ve şahıs arazilerinde gerçekleştirilmektedir. Orman arazilerinde sadece kullanım hakkı çerçevesinde çalışmalar yapılmaktadır. Madenci bu arazilerin yeniden ağaçlandırılması için gerekli tüm harcamaların bedelini faaliyete başlamadan önce orman idaresine ödemektedir. Bu nedenle orman sahalarının yeniden ağaçlandırılması, orman idaresinin yükümlülüğündedir.

Diğer sahalarda gerçekleştirilen kömür madenciliği faaliyetleri nedeniyle bozulan sahaların iyileştirilmesi konusunda ise bazı önemli çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle, İstanbul Kilyos - Karaburun arasında faaliyet gösteren (Kut Ormancılık Ltd. Şti. gibi) firmaların bölgede, yaklaşık 700 ha'lık bir ağaçlandırma çalışması bulunmaktadır. Ayrıca Aydın'da Aydın Linyit Ltd. Şti. işletme sahasında yaklaşık 500 ha alanın ağaçlandırma çalışmalarının proje aşaması tamamlanmak üzeredir.

TKİ'nin 1977 yılında başlayan çalışmalarının devamında, Garp Linyitleri (Kütahya), Seyitömer Linyitleri (Kütahya), Güney Ege Linyitleri (Muğla), Ege Linyitleri (Manisa) İşletmeleri ve Çan Linyitleri İşletmesi'nde yaklaşık 732 ha'lık alana 1.221.130 adet akasya, karaselvi, zeytin, incir ve çam türü ağaçlar dikilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Diğer işletmelerde de bu konuda, uygulama amacıyla araştırma ve hazırlık çalışmaları yapılmaktadır. Afşin – Elbistan sahasındaki ağaçlandırma çalışmaları yaklaşık 300 hektardır.

Ocak işletmesi, **açık ocak** ya da **yeraltı işletmesi** olarak yapılmaktadır. Açık işletmelerde yüzlerce hektar arazi kazılır ve binlerce yılda oluşan verimli üst toprak örtüsü yok olmaktadır. Öte yandan açık ocak ve yeraltı ocak işletmeciliğinde kömüre komşu kayalar, katı artık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu artıkların denize dolgu malzemesi olarak kullanılması ya da yığının üzerinin verimli toprakla örtülerek, tarım alanı haline dönüştürülmesi gibi uygulamalar da gerçekleştirilmektedir.

Ocak işletmelerinde kömürün güvenli bir şekilde çıkarılması için sahadaki su kaynaklarının denetimi gerekir. Ocak işletmesi su kaynaklarını etkileyebileceği gibi, su kaynakları da ocak işletmesini etkiler. Örneğin, ocağı etkileme potansiyeli olan yeraltı sularının denetimi için akaçlama yöntemlerinden yararlanılmalıdır. Ayrıca, yeraltı sularında taşmanın etkisi, kimi zaman uygun yerlere dolgu yaparak azaltılabilir.

Çalışma sahası susuzlaştırılmazsa, maden sahasını su basabilir. Sahanın susuzlaştırılması ise, o sahada var olan suyun çekilip ya da akaçlama ile başka bir yere boşaltılması anlamına gelir. Boşaltılması gereken ve kimyası bozulan su, arıtılmadan alıcı ortama verilirse, başka su kaynaklarının da kirlenmesine neden olur. Ayrıca kömür çıkarılırken kömürün su ve hava ile teması asit oluşumuna yol açar. Asidik hale gelen su ulaştığı diğer su kaynaklarını kirletir.

Ülkemizde, yeraltı kömür işletmelerinin tümüyle mekanik üretime geçilmesiyle, üretimin artırılması, maliyet içindeki işçilik payının azalması ve genel maliyetin düşürülmesi, verimlilik ve güvenliğin artırılması sonucunda yeraltı kömür üretiminin ülke ekonomisine katkısının artırılması hedeflenmiştir. Ancak yeterli özen gösterilmemesi nedeniyle büyük kazalar da yaşanmaktadır. Örneğin, Soma kömür işletmesinde meydana gelen kaza (Şekil 5), özellikle yeraltı işletmelerde kapsamlı önlemlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır.



Şekil, 5. Somada yaşanan kazadan bir görüntü (http://www.diken.com.tr/).

Oysa Qian ve diğerleri (2010) ile Wang ve diğerleri (2015) yaptıkları çalışmalarda, bir **yeraltı kömür ocağında** ortaya çıkan gaz çıkışlarını ve kalın kömür damarlarının işletilmesi evresindeki olası çökmeleri sayısal verilerle değerlendirilebileceğini istatistiki verilere dayanarak tanımlamışlardır. Bunun için öncelikle kömür yatağının sağlıklı bir stratigrafisi, yapısal özellikleri ve oluşan yeraltı boşluklarının boyutları konularında temel bilgilere gereksinim vardır. Dolayısıyla yeraltı işletmelerde de izlenmesi gereken temel verileri gözeterek olası kazaları öngörmek mümkündür.

Yaşanması olası sorunları aşmak için Soma bilirkişi raporlarında da yer alan aşağıdaki önlemlerin alınmasında yarar vardır (http://www.diken.com.tr/):

* Gaz maskelerinin, kurallara uygun olarak belirli zaman aralıklarında denetimleri yapılmalı,
* Havalandırma sistemleri, yıllar içinde kazılarla büyüyen ocağın yapısına göre yeniden düzenlenmeli,
* Yeraltı ocağın büyüklüğüne göre temiz hava sağlayan sistem yeterli olmalı,
* Karbonmonoksit gazı, oksijen, metan gazı gibi gazların ölçümleri sağlıklı olarak yapılmalı ve kayda alınmalı. Bu cihazların bakımı yeterli kalitede yapılmalı,
* Maden Kanunu'nda yer alan ocaklardaki sensörlerin miktarı, güvenilirliği, bilgi aktarımını sağlayan çalışma esaslarına dair tedbirler, işveren ve denetleme görevindeki yetkililer tarafından yapılmalı,
* İş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili zorunlu mesleki eğitimler eksiksiz olarak verilmeli,
* Ocak havasının denetimi için kurulan gaz izleme sensörleri dikkatle izlenmeli, Maden ocağında kullanılan gaz sensörlerinin, akredite bir kurum ve kuruluş tarafından kalibrasyonları yapılmalı, * Havalandırma şekli ve yönteminin yanı sıra, vantilatör ve aspiratörler, gerektiğinde hava akımını ters yöne çevirebilecek tipte düzenlenmiş olmalıdır,
* Kaza sırasında, olay yerindeki haberleşme cihazlarının, yeraltı standartlarına uygun olmalıdır, * İşyerinde tahliye amaçlı biri planlamaya dair bir eylem planı mutlaka oluşturulmalı.

Yeraltı ocaklarındaki grizu patlatmalarının tümü kömür içinde sürülen kör baca olarak tanımlanan yerlerde olmuştur. Bu işletmelerde damar içi galeri açma işlemleri de patlayıcı madde kullanılarak yapılmaktadır. İşletme sırasında ortaya çıkması olası gaz potansiyelini izleme ve denetim yetersiz düzeylerde yapılmaktadır. Yasal açıdan da sorunlar vardır. Örneğin, İş ve İşçi Güvenliği uzmanları ile teknik nezaretçilerin, yasal olarak devlet adına denetim yaptığı ifade edilmekte ise de bunların maaşları işveren tarafından ödenmektedir. Bu tür uygulamalar, sadece işverenin maddi ve manevi baskısını artırmaktadır. Bu tür uygulamalardan vazgeçilmelidir.

Cevher zenginleştirme evresi

Kömür yıkama ünitelerinden ağırlıklı olarak, katı ve sıvı atıklar çıkmaktadır. Önceki yıllarda tesis atık sularının atık barajlarında dinlendirildikten sonra, doğrudan alıcı ortama (akarsu, dere, deniz vb. gibi) verilmekteydi. Özellikle TKİ'nin 1985 yılında, Tunçbilek Yıkama Ünitesi'nde faaliyete geçirdiği Arıtma Ünitesi'yle, proses suları askıdaki katı maddelerinden arıtılmıştır. Böylece arıtılan proses suları, yıkama ünitesinde tekrar kullanılmaya başlanmış ve alıcı ortama daha temiz su olarak verilmiştir. Bunun yanı sıra, 1993 yılı Aralık'ta işletmeye alınmış olan 3 milyon t/yıl kapasiteli Tunçbilek- Ömerler Lavyarı'nda da arıtma tesisi yapılmış ve ileride yap-işlet devret sistemine göre lavvarlarda da benzer uygulamalara gidilmesi planlanmıştır.

Çevreye etkisi daha sınırlı olan katı atıkların ise açık alanlarda depolanıp, üzerlerinin ekilebilir toprakla örtülüp, tarım alanı oluşturma gibi planlama aşamasında olan çalışmalar da giderek gelişmektedir.

Kullanım evresi

Ülkemizde üretilen kömürlerin büyük bir bölümü termik santrallerde kullanılmaktadır. Kömürün kullanma evresinde ortaya çıkan hava kirliliğine dair bir örnek Şekil 6'da görülmektedir. Bu evrede ortaya çıkan çevresel etkiler diğer evrelere göre çok daha önemlidir. Örneğin, santrallerden çıkan kül, çevrede geniş bir alanda yayılarak meyve ve sebzeleri kaplar, zehirler ve kurutur. Sağlığı bozulan toprağın üretimi

ve verimi de azalır. Termik santrallerden çıkan gazlar asit yağmurlarına neden olur. Asit yağmurları bitkileri kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerini olumsuz etkiler ve bitkilerin yanmasına neden olur. Asit yağmurları sadece canlı kütlenin azalmasının yanı sıra, dolaylı olarak toprağın su tutma kapasitesinin azalmasına ve erozyonun artmasına da yol açarak zarar çarpanının büyümesine neden olur.



Şekil 6. Kömürün kullanım sırasında ortaya çıkan çevresel etkilerinden bir görünüm (http://bianet.org/bianet/saglik/145055).

Termik santraller, sistemlerin çalışması için soğutma suyunun kullanımını gerektirir. Örneğin, Çanakkale'nin Çan ve Yenice' de planlanan toplam 800 MW gücünde 3 santral için saatte 800 m^3 soğutma suyu gerekmektedir. Dolayısıyla termik santralleri yönetenler çiftçinin sulama için kullandığı dere, göl, gölet, yeraltı sularına ortak olmak zorundadır. Her ne kadar kömürün üretilmesiyle doğrudan ilgili olmasa da kömürün kullanılması sırasında ortaya çıkan çevre sorunları açısından, kömür üretimi giderek azalmaktadır. Özellikle, kömürün yakılarak elektrik enerjisi elde edildiği termik santrallerin olumsuz çevresel etkilerinin ortaya çıkmasıyla, kömür üretimi oldukça sınırlanmıştır.

Son yıllarda termik santrallerin çevresel etkilerinin azaltılması yönünde ARGE çalışmalarına hız verilmiş ve bazı termik santrallerde hava kirletici özelliği fazla olan kükürt oksitlerini (SOx) ve azot oksitlerini (NOx) gidermek amacıyla, elektrik üretim tesislerinde desülfürizasyon birimlerinin kurulmasına yönelik çalışmalar başlatılmıştır. Genel olarak, santrallerin hemen tümünde baca gazı arıtma tesisleri inşa edilerek devreye koyulmuştur.

Kömürün, sanayi ve konutlarda kullanılmasıyla ortaya çıkan hava kirliliğinin tek sorumlusu olarak gösterildiği günümüzde, hava kirliliğinde en az kömür kadar etkili olan taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticiler ve kaloriferlerde kullanılan yüksek kükürtlü diğer yakıtlardan kaynaklanan etkiler hep göz ardı edilmiştir. Dolayısıyla bu durum, kömür üretimini de olumsuz yönde etkilemektedir. Her boyutta ve kalitedeki yerli kömürlerin çevre ve hava kirliliğine olan etkisini en aza indirmek amacıyla Dünya'daki gelişmelere koşut olarak ülkemizde (tekstil, boya, gibi) sanayilerde ve toplu konut alanlarının ısıtılmasında **akışkan yataklı yakma** sistemleri tercih edilmelidir.

Fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan CO_2'in tutulması ve depolanması ile ilgili ARGE çalışmaları devam etmektedir. İleri teknolojileri de içinde barındıran yöntemler giderek gelişmektedir. Söz konusu yöntemler, öncelikle karbonun tesislerin bacasından çıkarken tutulması, bu tutulan CO_2'in yüksek basınç altında sıvılaştırılması ve uygun jeolojik ortamlarda depolanması ilkelerine dayanmaktadır (Shimizu ve diğerleri (1999).

Karbonun tutulması yakma öncesi olabileceği gibi yakma sonrası da gerçekleştirilebilir. **Yakma öncesinde** CO_2'in tutulması, kömürden, reaktörde ya da gazlaştırıcıda (gasifer) sentez gazı elde edilir, daha sonra bu gaz, CO_2 ve H_2 olarak iki faza ayrılır. Bu şekilde elde edilen H_2 de bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. **Yakma sonrası** yöntemlerde kömür, önce hava püskürtmeli yanmaya tabi tutulur ve daha sonra ortaya çıkan CO_2 çeşitli yöntemlerle baca gazından ayrıştırılarak tutulur. Bu yöntemde CaO ve CO_2 tepkimeye girer ve Ca_2CO_3 oluşur. Böylece karbon tutulur. Bu işleme karbonasyon (carbonation) denir. Kalsinasyon (calcination) ise ısıl işlemlerle gerçekleşir ve bu işlemin tersidir. Ayrıca **Oksit-yakıt yakma sisteminde,** egzoz gazındaki CO_2'in seyrekliğini gidermek için kazanlarda saf oksijen kullanılmaktadır. Bu yöntemde, CO_2'in büyük çoğunluğu bacaya verildiğinden ek bir tutma ya da ayırma işlemi gerekmemektedir (Shimizu ve diğerleri (1999); Ediger, 2015'den).

Tutulan ve sıvılaştırılan CO_2 genel olarak akifer olma potansiyeline sahip alanlara enjekte edilmektedir. Tuz domları, madenciliğin sona erdiği derin ve büyük yeraltı ocakları, tükenmiş petrol ve doğal gaz rezervuarları CO_2'in bertaraf edilebileceği alanlar olarak önerilmektedir. Bu alanların yer seçimi ve uygun hale getirilmesi ise ayrıntılı jeolojik bilgi gerektirmektedir.

Kömürlerin yakılması sırasında ortaya çıkan çeşitli kirleticilerin yanı sıra, cıva buharı da ortaya çıkmaktadır. Bu buhar oksitlenmeden ve çökmeden önce üst atmosferde birkaç kez Yer'in etrafında dolaşabilir. Daha sonra cıva buharı oksitlenerek, toz ve havada asılı parçacıklara tutunarak yere düşmekte ve ekosistemlere katılarak beslenme zinciri yoluyla insanlara ve hayvanlara büyük zarar vermektedir.

25 hektar ve üzeri alanlarda yapılan açık ocak işletme faaliyetleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 faaliyetler listesinde yer almaktadır. Böyle bir durumda ocak işletmelerinde kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanması gerekmektedir. Ancak kömür işleme tesisleri (havagazı ve kok fabrikaları, kömür briketleme tesisleri, lavyar tesisleri) ve 500 ton/gün kömürü ve bitümlü maddelerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılması projeleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-2 Listesinde yer almaktadır. EK-2 listesi faaliyetleri için Proje Tanıtım Formatı'nın hazırlanması yeterlidir. Mevcut yasal çerçeve ile kömürün üretim, cevher zenginleştirme ve kullanım evrelerini denetlemek mümkün değildir. Meydana gelen kazalardan ders alınmalıdır.

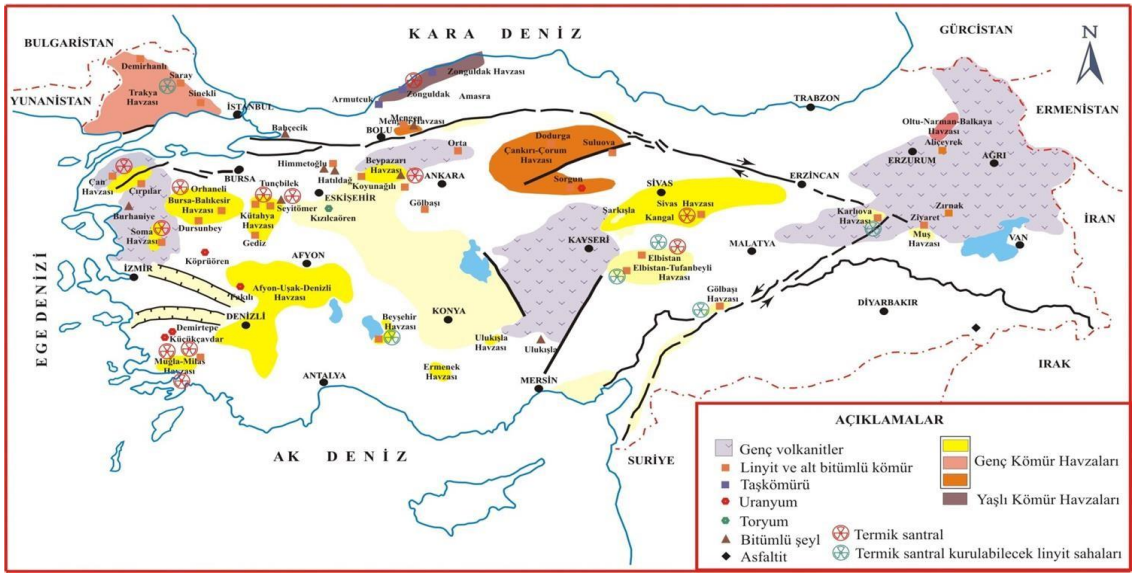
SONUÇLAR

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerin Dünya enerji gereksinimini hızla artırması sonucunda, kömür ve petrol gibi yakıtların kullanılması günümüze kadar önemini korumuştur. Petrol rezervlerinin Dünya'nın belli başlı yerlerinde ve kömüre göre sınırlı olması, kimi zaman Dünya ekonomisinde politik pazarlıklara ve dolayısıyla krizlere neden olmuş, bu da haklı olarak Dünya'nın daha güvenilir enerji kaynaklarına veya kendi öz kaynaklarına yönelmelerine neden olmuştur. Bu çerçevede, ülkemizde de enerji gereksinimini önemli ölçüde karşılayabilecek olan kömür, çevresel etkileri denetlenerek ekonomik olarak işletilmesi yönünde çaba harcanabilir. Ediger (2015) de ülkemizdeki kömürlerin yarattığı fırsatları ve tehditleri değerlendirdikten sonra, ithal kömüre dayalı tesislerin yaygınlaşmasını ise önlemeyi ve 'yerli kömürün' öne çıkarılması gerektiğini savunmaktadır. Ancak temiz kömür teknolojileri konusunda ARGE çalışmaları, planlamaya dayalı enerji politikaları ile birlikte teşvik edilmelidir.

Öte yandan kömürün kullanılması ile küresel ısınmaya kadar varan çevresel etkileri olabileceği tartışılmaktadır. Ayrıca, Avrupa Sağlık ve Çevre Birliği'nin (HEAL) raporuna göre, kömürün sağlığa etkilerinin ekonomiye zararı Avrupa'da yılda 54,7 milyar Avro'yu buluyor. HEAL' in Avrupa'da kömürlü termik santrallerin yarattığı hava kirliliğinin insan sağlığına zararlarını ve bunun ekonomiye etkisini değerlendirdiği raporda, kömürün sağlığa zararları Avrupa'da yaşayan insanların omuzlarına yılda yaklaşık 42,8 milyar Avro'luk bir ekonomik yük bindirdiği belirtilmektedir.

Türkiye'nin kömür envanteri Gökmen ve diğerleri tarafından ortaya koyulmuştur. Şekil 7'de de görüldüğü gibi Türkiye'nin kayda değer kömür yatakları bulunmaktadır. Bu kaynaklara, Dünya'daki enerji politikaları, jeostratejik sorunlar nedeniyle zorunlu bir gereksinim doğabilir. Dolayısıyla, kömür

kullanımının olumsuz çevresel etkilerini denetlemeyi amaçlayan ARGE çalışmalarının teşvik edilmesinde yarar vardır.



Şekil 7. Türkiye kömür sahaları ve potansiyel uygulamalar haritası (http://www.mta.gov.tr/).

Fosil yakıtların kullanılması sonucu karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve azot oksit (N_2O) ortaya çıkmaktadır. Bu gazlar atmosferin belli bir düzeyinde sera gazlarını oluşturmaktadır. Fosil yakıtların kullanılmasına koşut olarak Yerküre üzerindeki gaz örtüsünün bileşimi değişmekte ve kalınlığı artmaktadır. Buna bağlı olarak Yerküre' de sıcaklık da giderek artmakta, bu da sıkça tartışılan küresel ısınmaya yol açmaktadır. Sıcaklıktaki küçük değişiklikler bile yağışlarda, ormanlarda ve tarımda önemli sonuçlar doğuracaktır (Yılmaz, 2009).

Gelişen teknolojiyle birlikte Dünya'da enerji gereksinimi hızla artmaktadır. Bunun için ileride enerjiye gereksinim çok daha artacaktır. Kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelim açıkça görülmektedir. Çünkü kömür hem yenilenemeyen hem de hava kirliliği yaratan bir kaynaktır. Günümüzde sorunu hafifletmek üzere doğalgaz, biyogaz gibi kaynaklara da yönelmek gerekmektedir. Ayrıca, bitümlü şist ve turba rezervlerinden de yararlanılabilir. Bunun için bitümlü şist ve turba rezervlerinin araştırılması ve konuya dair teknolojik çalışmalar sürdürülmelidir.

Tüm kömür madenlerinde bir **"iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi"** bulunmakta olup, bu yasal açıdan zorunludur. Sistem elemanlarına dair minimum gereklilikler yasada belirtilmiştir. Ancak yaşanan deneyimlere göre, yasada belirtilenden daha kapsamlı çalışmalar bizzat işyerleri tarafından geliştirilmelidir. İSG Yönetim Sistemleri'nin, kömür madeni işyerlerinde yapılan tüm işlerde kilit rol oynadığı söylenebilir. Risk değerlendirmeleri ve çalışma izinleri de bu yönetim sistemlerinin önemli birer parçasıdır.

Sonuç olarak, yukarıda sunulan kaygılar gözetildiğinde; ekonomi, enerji gereksinimi ve çevre birlikte değerlendirilerek geleceğe yönelik planlamaların yapılması gerektiği açıktır. Ayrıca, ülkelerin doğal jeolojik koşulları, ekonomik durumları, eğitim sistemleri, hukuk sistemleri, araç-gereç ve teknoloji altyapıları hem çalışanların hem de işverenlerin çalışma ve yönetim anlayışları ile yaygın iş güvenliği kültürü gözetilerek, yaşanmış deneyimlerinden yararlanılmalıdır.

KAYNAKLAR

ASTM, 1984, Annual book of ASTM standards. Gaseous Fuels; Coal and Coke: 1916 Race Street, Philadelphia, USA.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Madencilik Sektörü Özel İhtisas Komisyonu. Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Kömür Çalışma Grubu Raporu. Ankara, 143 s.

Ediger, V., 2015. TKİ ve Kömürün tarihçesi ile Türkiye Kömür stratejileri. TKİ Kurumu Yayınları, Ankara, 497 s.

Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. Ve Tuncalı, E., 1993, Türkiye Linyit Envanteri: MTA yayını, Ankara, 356 s. http://bianet.org/bianet/saglik/145055 http://www.diken.com.tr/ http://www.haberler.com/ http://www.mta.gov.tr/

MTA, 1993, "Kömür", Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tanıtım yayınları dizisi, Ankara, 3s.

Qian, M.G., Shi, P. ve Xu, J.L., 2010, Ground pressure and strata control. China University of Mining and Technology Press, Xuzhou (in Chinese).

Shimizu, T., Hirama, T., Hosoda, H., Kitano, K., Inagaki, M. ve Tejima, K., 1999, A twin Fluidbed Reactor for Removal of CO_2 from Combustion Processes. Chemical Engineering Research and Dsign. 77(1), 62-68.

Stach, E. Mackowsky, M. Th, Teichmuller, M. Taylor, G. H., Chandra, D. ve Teichmuller, R., 1982, Stach's Textbook of Coal Petrology. 3rd edition, Berlin.

Tuncalı, E., Çiftçi, B., Yavuz, N., Toprak, S. Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H., ve Şahin, N., 2002, Türkiye Tersiyer kömürlerinin kimyasal ve teknolojik özellikleri: MTA yayını, Ankara, 401 s.

Wang, W., Cheng, Y.P., Wang, H.F., Li, W. ve Wang, L., 2015, Coupled disaster-causing mechanisms of strata pressure behavior and abnormal gas emissions in undergraund coal extraction. Environmental Earth Sciences, 74/9, 6717- 6735.

www.antinsaat.com

Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

4. 2, PETROL

GENEL BİLGİLER

Petrol, petra taş ve oleum yağ sözcüklerinin birleştirilmesiyle türetilmiş bir terim olup, doğal bir hidrokarbon karmaşığıdır. Doğal gaz ve petrol birer hidrokarbondur. Hidrokarbonlar katı, sıvı, plastik, ya da gaz halinde bulunabilirler. Yeraltında gaz halinde iken yüzeye çıktığında soğuyup sıvı haline gelen petrole yoğunlaşmış hidrokarbon, sıvı hidrokarbonlara da ham petrol denir. Plastik hidrokarbon ise asfalt ve ilgili gereçleri içerir.

Heredot M.Ö. 450'de Tunus ve Yunan adalarında petrol sızıntılarından söz eder. İlk dönemlerde petrol hastalıklarda ilaç, su yalıtım malzemesi ve savaşlarda yakıcı madde olarak kullanılmıştır. 19. yüzyıl ortalarına kadar petrol üretimi ilkel yöntemlerle sürdürülmüş, asfalt, ham petrol ve yağ olarak üretilip kullanılmıştır. 1745'de Fransa'da Pechelbronn'daki petrollü kumtaşlarında ilk petrol kuyusu açılmıştır. Kral 15.Louis tarafından M.de la Sorbonnıere isimli kişiye lisans verilmiş ve bu şahıs dünyanın ilk petrol rafinerisini de kurmuştur.

1847'de İskoçya'da James Young tarafından petrollü şeyller işletilmiştir.

1857'de ABD'de Albay Drake tarafından Pensilvaniya'da ilk petrol üretim kuyusu açılmıştır. Bu dönemlerde kablolu sondaj makineleri keşfedilmiş ve sondaj cihazları giderek daha da geliştirilmeye başlanmıştır. I.Dünya Savaşı sonrası Dünya'da petrolün önemi giderek artmış olup otomobil ve diğer motorlu vasıtaların yaygın kullanılmaya başlaması ile petrole gereksinim giderek artmıştır.

Günümüzde petrolün, yakıt ve kimya sanayinde ham madde olarak dâhil birçok alanlarda kullanılması mümkündür. Örneğin, petrol ve türevleri ilaç, gübre, gıda maddeleri, plastik ve inşaat malzemeleri boya ve giyim sanayinin yanı sıra elektrik üretiminde de kullanılmaktadır.

ÖZELLİKLERİ

Petrolün temel özellikleri ve bu özelliklere dair açıklamalar aşağıda sunulmuştur (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Petrolün yoğunluğu: Bir maddenin yoğunluğu, belli hacimdeki maddenin ağırlığının aynı hacimdeki suya olan oranıdır. Petrolün yoğunluğu 600 F (15.50 ^{o}C) sıcaklık ve 1 atm basınç altındaki petrolün yoğunluğu ile ifade edilir. Ham petrolün yoğunluğu onun kimyasal bileşimini yansıtır. Petrol içindeki hidrokarbon yüzdesi, gaz miktarı, rezin ve asfalt gibi ağır hidrokarbonların oranı, sülfür oranı, sıcaklık gibi faktörler petrolün yoğunluğunu etkiler. Petrolün fiyatı da yoğunluğuna göre değişmektedir.

Petrolün yoğunluğu, 0.6-1.00 g/cm^3 arasında değişir. Yoğunluk, Amerika'da api, Avrupa'da ise baume derecesi ile ifade edilir. Dünya petrolleri ortalama 270-350 api gravitesi değerindedir. Kaliforniya'daki 50-70 api petrol sudan ağırdır. En yüksek değer olarak 570 api petrol bulunmuştur.

Petrolün hacmi: Sıvı petrolün hacmi 600 F de ve 1 atm basınçta ölçülür ve varil cinsinden ifade edilir.1 varil=159 litredir. Doğal gazın hacmi aynı koşullarda ft^3 ya da m^3 cinsinden ifade edilir.
Hacmi denetleyen faktörler sıcaklık, basınç ve petrolün içerisinde çözünmüş olan maddelerdir. Rezervuardaki petrol hacmi, petrolün tankta dinlendirilmesi ile % 6-8 oranında azalır.

Petrolün viskozitesi: Viskozite bir sıvı ya da gazın akmaya karşı direncini ifade eder. Yani akışkanlığın tersi bir anlamı vardır. Petrolün viskozitesi petrolün bileşimine bağlıdır. Yoğunluk ve ağır bileşen miktarı arttıkça viskozite de artar. Sıcaklık ve gaz miktarı arttıkça viskozite düşer. Viskozite birimi poiz' dir. Bir sıvı 1 cm^2 kesitindeki bir tüp içerisinde 1 dyn basınç altında 1 saniyede 1 cm ilerleyebiliyorsa viskozitesi 1 poiz'dir. Poiz'in yüzde birine santipoiz denir. Yüksek viskoziteli petrolün taşınması ve üretilmesinde güçlükler vardır.

Petrolün kırılma indisi: Kırılma indisi petrolün kimyasal bileşimine bağlı bir özelliktir. Kırılma indisi, petrolün yoğunluğuna göre 1,39 ile 1,49 arasında değişir. Hafif petrollerin kırılma indisi ise küçüktür.

Petrolün floresans özelliği: Petrol ultraviyole ışık altında sarı-yeşil-mavi renklerde flüoresans özellikleri gösterir. Bu özellikler eser miktardaki petrolün kolayca belirlenmesini sağlar.

Petrolün renk ve kokusu: Petrolün rengi yansıyan ışıkta yeşilimsi, içinden geçen (kırılan) ışıkta ise açık sarı, kırmızı ve bazen de siyahtır. Özgül ağırlık arttıkça renk de koyulaşır. Hafif hidrokarbonlu petroller hoş kokulu; doymamış hidrokarbon, kükürt ve nitrojen içeren petroller ise kötü kokuludur.

Petrolün kalori değeri: Petrolün kalori değeri özgül ağırlığı ile ters orantılıdır. Özgül ağırlığı 0,9 olan 17 api petrolün kalori değeri 10500 cal/kg iken, özgül ağırlığı 0,7 olan 70 api petrolün kalori değeri 11700 cal/kg'dır.

Petrolün parlama noktası: Petrol üzerine alev tutulduğunda petrol buharının ilk ateşlenme anı petrolün parlama noktasıdır. Bu nokta petrolün bileşimine göre değişir. Parlama noktası, arıtılabilen ürün oranlarının belirlenmesinde kullanılır.

Petrolün kimyasal bileşimi: Petrol bir hidrokarbon bileşimidir. Petrol açısından en önemli hidrokarbonlar:

Parafin ya da metan serisi (C_nH_{2n+2})
Olefin (naften) serisi (C_nH_{2n})
Aromat (C_nH_{2n-6}) serisi (aromatikler)
Asetilen serisi (C_nH_{2n-2})

Tüm hidrokarbon atomları birbirleri ile tek bağlarla bağlanmışlardır. Hidrojen atomları doymuş olduğundan parafin serisine doymuş hidrokarbon grubu da denilir.

5 karbona kadar olanlar doğal gaz
5-17 karbonlu olanlar sıvı (benzin, gazyağı, mazot)
17-22 karbonlu olanlar yarı katı (makine yağları, jölemsi petrol ürünleri)
23 ve daha fazla karbonlu olanlar parafin, asfalt, zift diye tanımlanan katı petrol türevleridir.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Petrolün köken için birçok kuram ortaya atılmıştır. Petrol oluşumunu kimse doğrudan görüp inceleyememiştir. Petrolü meydana getiren ham maddenin organik ya da inorganik olmak üzere iki ayrı kaynağı olduğu ve bu kaynaklara dayanan iki ayrı kuramın varlığı genel olarak kabul edilmektedir (Saner, 1981; Tüysüz, 1994; Göksu, 1971; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

İnorganik köken kuramı

Oldukça eski çalışmalarda ortaya atılan ve desteklenen kuramlara göre petrol inorganik kökenlidir. Laboratuvarda metan, asetilen ve benzol gibi maddeleri elde eden kimyagerler doğadaki petrolün de yeraltında kimyasal reaksiyonlar ve volkanik olaylarla oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

20. Yüzyılın başında bile bazı bilim adamları petrolün magmatik kökenli olduğunu ileri sürdüler. Bu yaklaşımlara göre mantodaki Demir Karbid'in yeraltına sızan sularla temasa geçerek metan ve hidrokarbonları oluşturmuştur. Bu görüşlere hala bazı araştırmacılar tarafından savunulmaktadır. Bu görüşler doğru ise petrolün volkanik kayalarla ilişkili olması beklenir. Ancak, Rusya'da alkali sokulum kayalarında, Norveç'te dolerit dayklarında, Ege'de volkaniklerin içinde, bazı magmatik ve metamorfik kayaların boşluklarında petrole rastlanmış olmakla birlikte, bu durum petrolün magmatik kökenli olduğu şeklinde yorumlanamaz.

Petrol içerisindeki porfirin, piridin ve klorofil gibi maddeleri inorganik yolla elde etmek olanağı yoktur. Petrolde bulunan çok karbonlu hidrokarbonların metanın polimerizasyonu yolu ile doğal olarak nasıl oluşabileceği açıklanamamaktadır. Petrolde bulunan polarize ışığı saptırma özelliği kuvars ve zinober dışında hiçbir inorganik maddede yoktur. Sonuç olarak, petrolün kökeninin inorganik olmadığı belirtilebilir.

Organik köken kuramı

Bazı kimyagerler laboratuvarda organik maddeleri ısıtarak ve damıtarak petrol benzeri hidrokarbonlar elde etmişler ve buna dayanarak petrolün organik kökenli olduğunu ileri sürmüşlerdir.
Organik köken kuramına göre petrol karasal ya da denizel bitkilerden ya da hayvanlardan oluşmaktadır.

Kömürden petrol elde edilmesi ve bataklıklarda metan gazının varlığı nedeniyle petrolün karasal bitki kökenli olabileceği ileri sürülmüştür. Ancak petrol sahalarında genellikle kömür olmaması, kireçtaşlarında karasal bitkilerden türemiş petrol bulunmaması, linyitten türeyen zift ile petrol arasında kimyasal farklılıkların olması petrolün oluşumunda karasal bitkilerin etkisinin olmadığını göstermektedir.

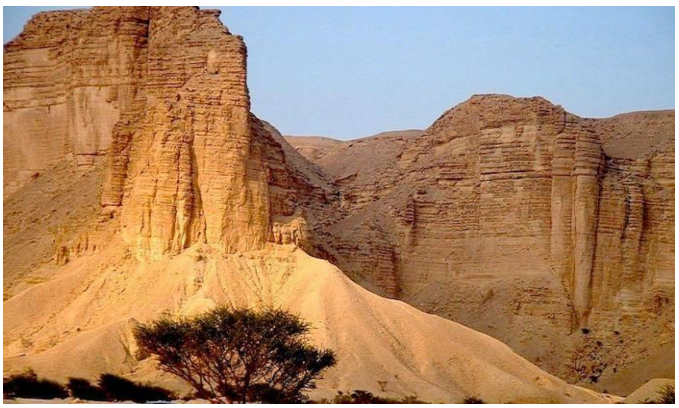
Denizel bitkiler ile denizel çökeller arasında kökensel bir ilişki kurulabilir. Bunların en önemlileri diyatomlardır. Balık ve diğer hayvanların arıtılması sonucu elde edilen ürünlerle petrol benzer kimyasal özelliklere sahiptir. Bazı araştırıcılar petrolün hem hayvansal hem de bitkisel kökenli (biyomas kökenli) olduğunu kabul etmektedirler.

Organik kökenli maddeler petrol içerisinde yaygın olarak bulunmaktadır. Petrolün flüoresans özelliği organik kökeni işaret etmektedir. Bu özellik petrol içerisindeki organik kökenli kolesterol maddesinden kaynaklanmaktadır. Ham petrol içerisinde bol miktarda mikroorganik madde vardır. Yosun küllerinin I (İyot), Br (brom), P (fosfor), ve NH_4^+ (amonyum) tuzu içerikleri ile ham petrolün eser elementleri arasında benzerlikler vardır. Meksika körfezindeki genç çökellerde çökellerle yaşıt petrol oluşumları saptanmıştır. Sonuç olarak, petrolün kökeninin organik olduğu kabul edilmektedir.

Petrolün oluşumu

Petrol eski deniz diplerine çökelen hayvan ve bitki artıklarının üzerine doğal olaylarla yeni katmanların çökelmesi ve meydana gelen havasız ortamda yeterli sıcaklık ve basınç koşullarında bakterilerin de yardımı ile oluşur. Milyonlarca yıl önce denizlerle kaplı olan yerküre içerisindeki binlerce bitki ve hayvan artıklarının çürümesiyle yerin tabanında birikmesi ve zaman içerisinde organik kökenli atıkların üzerinin daha genç çökellerle örtülmesi ve derine gömülmeleri sonucunda sıcaklık ve basıncın etkisiyle petrolün oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. Milyonlarca yıl süren bu oluşum sonucunda yerin altında sıkışan petrol, bazen yerkabuğundaki çatlaklardan dışarı çıkarak havuzları ve katran çukurlarını oluşturmakta bazen de yerin altındaki geçirgen tabakalarda birikerek rezervuar olarak adlandırılan yerlerde birikmektedir.

Katmanların altında kalan denizel kökenli hayvan ve bitki artıkları, bakterilerin etkisi ile çürümeye ve zamanla yağ damlacıkları ve gaz kabarcıkları haline geldiler. Oluşan katmanlar, zamanla kıvrılarak yükselir ve deniz altındaki katmanlar yer yüzeyine çıkarlar. Petrolün içinde oluştuğu kayalara petrolün **ana kayası** adı verilir. Ancak, kaya birimlerinin deformasyonu sırasında, basınç altında kalan petrol, boşluklu ve geçirgen ortamlara doğru göç ederek **hazne kaya (rezervuar)** denilen yerlerde birikir (Şekil1).

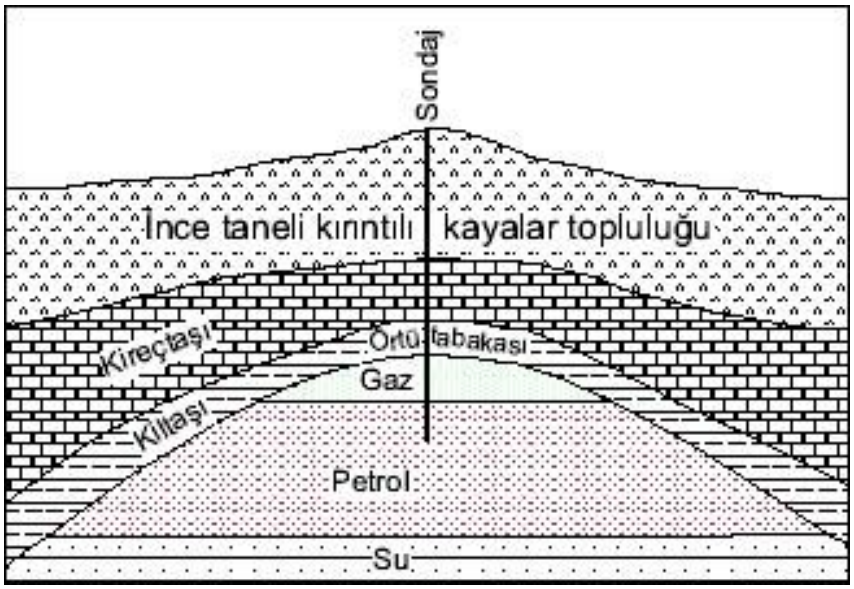


Şekil, 1. Suudi Arabistan'da Tuwaiq Sarplığı'ndan bir görünüm; Bölgede Jurassic yaşta olan kireçtaşı katmanları yerin altındaki petrolün rezervuar kayalarıdır (Baptiste Marcel'den).

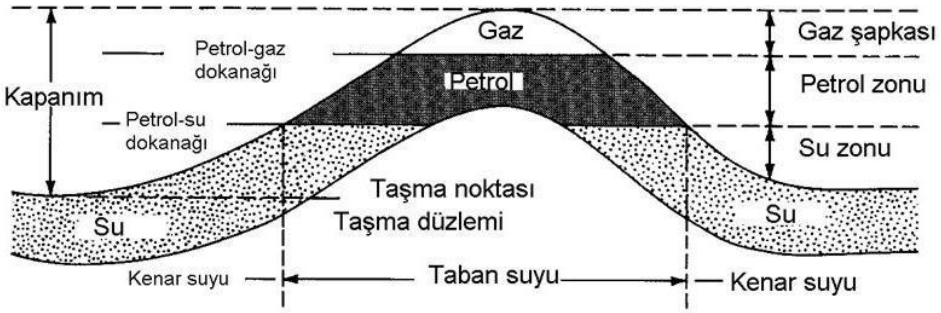
En iyi rezervuar kayalar, kumtaşı ve kireçtaşıdır. Petrol hiçbir zaman yeraltında petrol havuzunda birikemez, toplanamaz ya da yeraltında petrol denizi, petrol okyanusu bulunamaz. Petrol yeraltında

rezervuar dediğimiz kumtaşları ya da kireçtaşları içerisinde bulunur. Petrolün göç ederek nihai yerleştiği yere kapan denir. Klasik bir kapan Şekil 2A'da görüldüğü bir antiklinale karşılık gelebilir.
Şekil 2B'de ise bir rezervuarın genel yapısı görülmektedir.

A



B



Şekil 2. Klasik bir antiklinal yapısındaki kapanın görünümü, A (Tanrıverdi, 1998); kapanın bazı ayrıntıları, B (http://slideplayer.biz.tr/slide/3396586/).

Kapan türleri

Ana kaya içerisinde oluşan petrol, zamanla üstüne biriken yeni katmanların basıncı ve yerkabuğunda meydana gelen çeşitli devinimlerin etkisi altında, sıkışır ve daha bol gözeneği bulunan kaya türlerine doğru hareket eder. Pek çok fizik ve kimya süreçlerin rol oynadığı bu harekete "petrolün göç etmesi (migration)" denir. Petrolün göçü, toplanabileceği yere kadar devam eder. Petrol için son durak, petrolün sondaj yapılarak çıkarıldığı yer olup, bu kaya **hazne kaya** olarak tanımlanır. Ekonomik değerde petrol, ancak hazne kayadan elde edilir. O halde petrol için iyi bir hazne kayası, çok petrol alabilen bir hazne demektir.

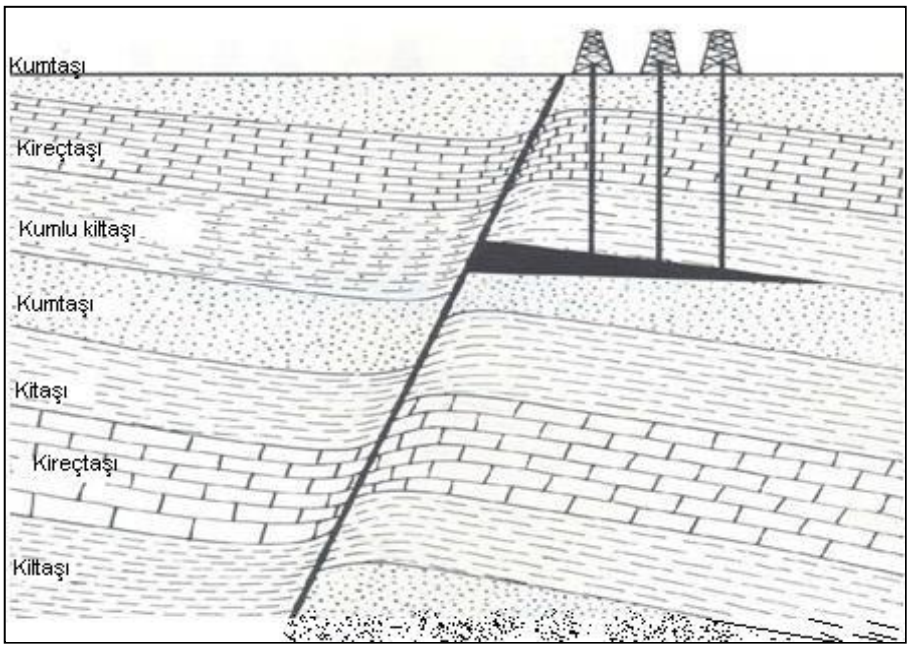
Hazne kayaları temsil eden kumtaşı ve kireçtaşlarındaki gözenekler, tüm kaya hacmini bazen % 45'ini oluşturur. Yani bu gibi ideal (gözenekliliği en fazla olan) hazne kayaları içerisinde petrol toplanacak olursa, en fazla kaya hacminin % 45'i kadar petrol toplanabilir demektir. Oysa gerçekte bu oran çok daha düşüktür. Örneğin günümüzde % 10-15 oranında gözenekliliği bulunan kireçtaşları ve kumtaşları içinden petrol çıkarılmaktadır (Tanrıverdi, 1998).

Gözenekliliği çok olan her kaya türü her zaman iyi bir hazne kaya oluşturmaz. Örneğin; ponzanın (süngertaşının) gözenekliliğinin bol olmasına karşın boşluklar arasında geçirgenlik olmadığı için iyi bir rezervuar değildir. Kısacası iyi bir rezervuar içerisinde gözenekleri bol olan ve bu gözeneklerin birbirleri ile bağlantıları olan kaya türüdür.

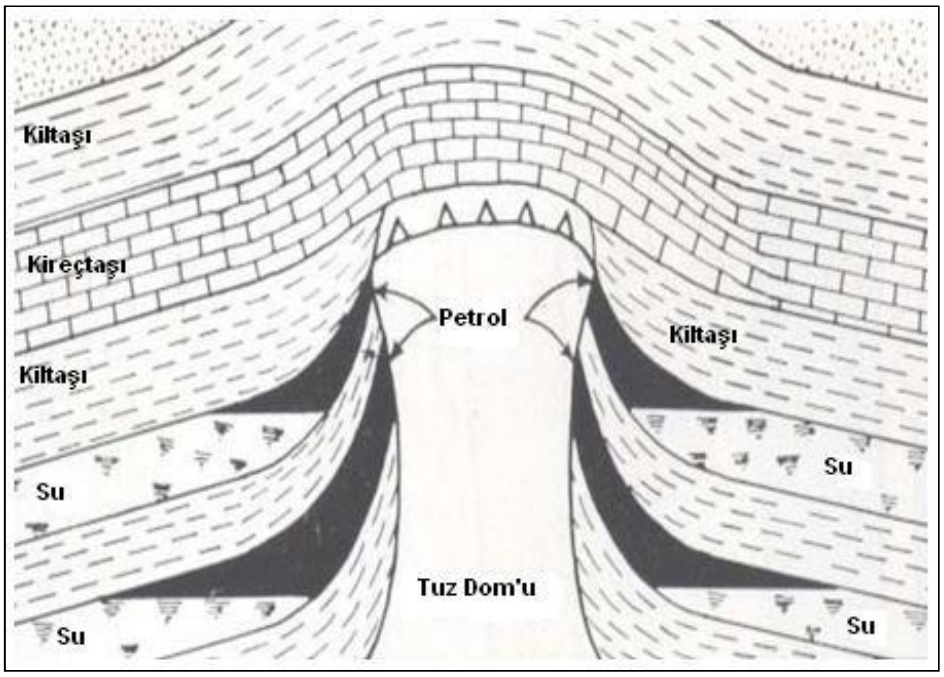
Denizel kökenli çökel katmanlarında oluşan petrolün, ekonomik bir değer taşıyabilmesi için, hazne kayaları içerisinde toplanması ve hava ile temas etmemesi şarttır. Hava ile temas halinde petrol oksitlenir ve hafif kısımlar uçar, geride asfalt kalır. Kalan bu petrolün yeryüzüne çıkartılması olanaksız olur ki petrolcü dilinde buna ölü petrol denir. Petrolü toplu halde içinde tutan ve aynı zamanda koruyan özel yapılara **kapan** denir.

Petrolün içinde toplandığı kapanlar genel olarak ikiye ayrılırlar: Stratigrafik ve tektonik kapanlar:
Stratigrafik kapanların oluşumu, denizlerin karalara ilerlemesi (transgresyon) ya da geri çekilmesi (regresyon) olaylarıyla yakından ilişkilidir. Denizin ilerlemesi ve geri çekilmesi sırasında oluşan kaya türü topluluğu, aynı zamanda bir havzanın açılıp kapanmasını temsil eden bir istifi temsil eder. Böyle bir istif oluşurken, havza organik malzeme açısından da zengin ise petrol de oluşur. Daha sonra da petrol istifin hazne kayasına göç ederek stratigrafik kapanları meydana getirir.

En önemli kapanlar, tektonik kökenli yapılardır. Bunları meydana getiren tektonik olaylar yerkabuğunda kıvrımlı ve kırıklı (fay, horst, graben) yapılar oluşturarak petrolün toplanması için uygun koşulları yaratırlar. Bu yapılar antiklinal kapanlar (yukarıda, Şekil 2), fay kapanları (Şekil 3) ve tuz domları kapanları (Şekil 4) olmak üzere üçe ayrılırlar.



Şekil 3. Bir fay kapanı örneği(Kalkan, 1989).



Şekil 4.Tuz domu kapanı (Tanrıverdi, 1998).

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Dünya'da petrol aramak için ilk sondaj, 1859 yılında Amerika'da yapılmış ve 23 metre yaklaşık 2 yıla yakın bir zamanda delinmiştir. Bu tarihten sonra sondaj tekniği ve sondaj makineleri gelişerek bugünkü düzeye ulaşmıştır.

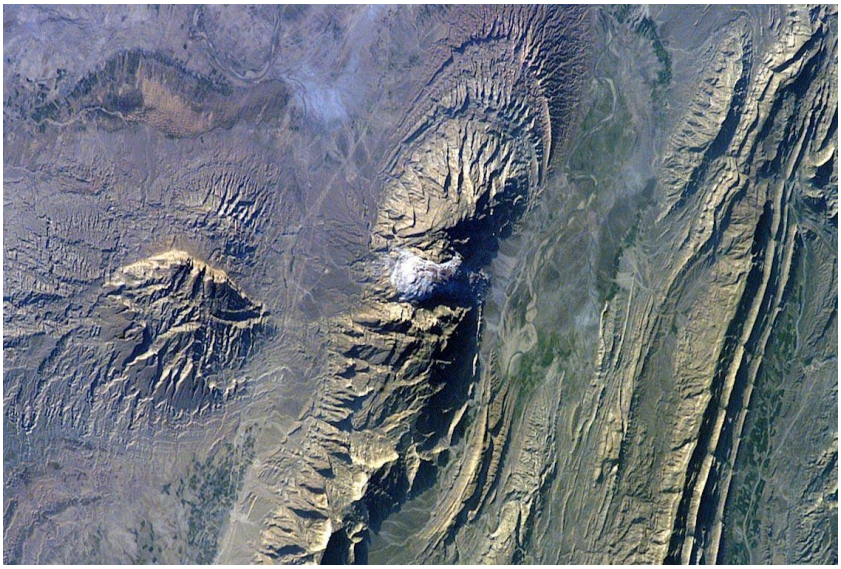
Bugün Dünya'da dikey olarak delinmiş en derin sondaj kuyusu (araştırma amaçlı) Rusya`da olup derinliği yaklaşık olarak 9.000 m dolayındadır. Türkiye`de ise en derin sondaj kuyusu Antalya yöresinde delinen Demre-1 kuyusu olup 6111 m'dir. Bugün Türkiye'de petrol üretimi yapılan kuyuların ortalama derinliği 1350-2500 m arasında değişmektedir.

Petrolün aranması

Petrol ve doğal gaz aramaları çok disiplinli bir çaba gerektirir. Örneğin jeoloji, jeofizik, petrol ve sondaj mühendisleri bir arada çalışmalıdır. Jeoloji ve Jeofizik mühendislerinin görevi, petrolün içinde oluştuğu havzaları ve bu havzalardaki kapanları arayıp bulmak ve sondaj mühendislerine kuyu açacak bir yer belirlemektir.

Bunun için arazi çalışmalarına başlamadan önce kimi zaman uydu görüntülerine de gereksinim duyulabilir. Uydu görüntüleri yer yüzeyinin kıvrımlı ve kapan potansiyeline sahip alanları belirlemede yararlı bilgiler sağlar. Örneğin Şekil 5'te uydu görüntüsü ile belirlenen İran'daki petrol ile doğal gaz kapanı olarak yorumlanabilir sahalar görülmektedir.

Petrol kapanları yeryüzünün birkaç yüz metre derinliklerinde olabileceği gibi, binlerce metre derinliklerde de olabilir. Jeofizik veriler sayesinde yeraltı katmanları ve bunların meydana getirdikleri, kıvrımlar ve faylar, dolaylı olarak tespit edilebilirler (http://www.yerbilimleri.gen.tr/petrol-ve-dogalgaz/).



Şekil, 5. Zagros Kıvrım Kuşağı'nda izlenen kıvrımların uydu görüntüsü, Kuh-e Namak (Tuz dağı), İran'nın GB'ında Bushehr ili dolayı (28 Şubat 2006, NASA' dan).

Petrolün içinde toplandığı kapanları (yapıları) arayıp bulmak, sondaj mühendisine kuyu açacak bir yer belirlemek, jeoloji-jeofizik mühendislerine düşen önemli bir görevdir. Petrol kapanlarının yerüstünde, jeolojik yöntemlerle belirlenmesi her zaman mümkün olmayabilir. Jeofizik biliminden yararlanmak gerekir. Jeoloji mühendisi ile jeofizik mühendisi birlikte çalışarak yeryüzündeki yapıların yerin altındaki doğasını birlikte aydınlatmalıdır. Jeofizik çalışmalarıyla yeraltı katmanları ve bunların meydana getirdikleri kıvrımlar ya da faylar dolaylı olarak belirlenebilirler. Ancak, petrolün içinde bulunma olasılığı olan kapanlar belirlenebilir. Petrol kapanı bulmak, petrolü bulmak demek değildir. Petrolsüz kapanlar da vardır (Tanrıverdi, 1998).

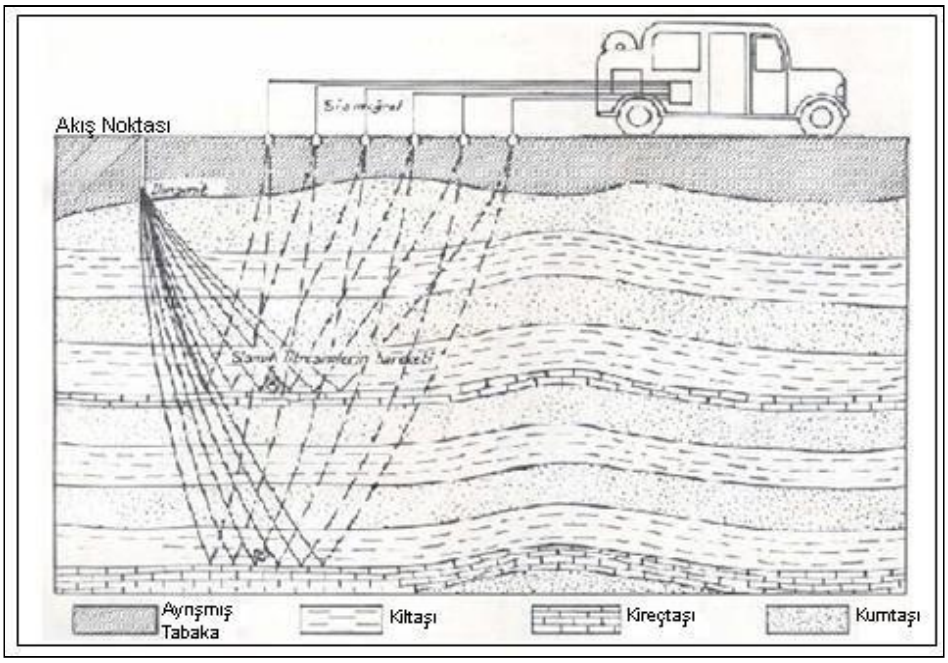
Jeofizik mühendisliği uygulamalarında son yıllarda en çok sismik, gravite ve elektrik yöntemleri uygulanmaktadır. Şekil 6'de sismik yöntemlerle petrol aranmasına yönelik bir tasarım sunulmuştur.

Katmanlar içinde yapay olarak meydana getirilen deprem dalgalarının özel aletlerle (jeofon) kaydı sayesinde kapanları belirlemek mümkün olmaktadır. Yapay deprem yapmak için belirli miktarda dinamit patlatılmaktadır. Sismik dalgaları bazen koşullar uygun olursa, 5-6 bin metre derinlikteki bir katmanın, petrol içermesi olası bir kireçtaşı düzeyinin, çok küçük bir hata ile hangi derinlikte olduğunu ve bu düzeyinin kıvrımlı (antiklinal-senklinal) olup olmadığını gösterebilir.

Örneğin, petrol araması yapılacak bir yere komşu, kilometrelerce uzakta bir kumtaşı ya da kireçtaşı katmanı varsa ve bu katman da petrol hazne kayası ise; bu durumda arama sahasında görülmeyen, fakat derinlerde olması olası kumtaşı ya da kireçtaşı katmanları jeofizik yöntemlerle belirlemek mümkündür. Petrol olup olmadığı ise, ancak yapılacak sondaj çalışmaları sonucunda ortaya çıkacaktır.

Sondaj çalışmaları

Özetle, sahada yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmaları sonucunda toplanan bilgiler değerlendirilip bu değerlendirmeler sonunda, hazne kaya ve kapan oluşumuna uygun koşulların bulunduğu bölgelerde sondaj yapılmasına karar verilir. Petrol bulunduğu bilinmeyen bir sahada yapılan ilk sondaja **arama sondajı** denir. Bunun dışında petrol bulunmuş sahalarda; sahanın boyutlarını belirlemek ve sahanın üretimini artırmak için yapılan sondajlara ise üretim sondajı denir. Şekil 7'de sondaj amacıyla planlanmış bir kule görülmektedir (http://www.guneyyildizi.com.tr/sondaj-ve-workover-kuleleri/).



Şekil 6. Sismik yöntemlerle petrolün arama çalışmaları (Tanrıverdi, 1998).

Açılan kuyudan petrolü çekmek için doğal yeraltı su basıncı kullanılır. Basınçlı bir şişenin ağzı açılınca, içerideki gazın basınç düşümü nedeni ile fışkırması gibi petrolcü de petrolü yüzeye çıkartmak için bu ilkeden yararlanır. Gerektiğinde pompa ile de petrol yüzeye çekilebilir. Petrol, yoğunluk farkı nedeniyle suyun üzerinde yer alır. Su basıncı da petrolü yüzeye itebilir (http://www.yerbilimleri.gen.tr/ petrol-ve-dogal-gaz/).



Şekil, 7. Petrol aramalarında sondaj amacıyla kullanılan bir kule (http://www.guneyyildizi.com.tr/sondaj-ve-workover-kuleleri/).

Doğal basınç dengelendiğinde belli başlı üretim sistemleri kullanılır. Bunlardan en önemlileri; kuyuya gaz enjeksiyonu ile üretim sistemi, hidrolik, at başı, burgu, elektrikli dalgıç pompa sistemleridir. Dünyada kullanımı en yaygın olan pompa atbaşı pompalarıdır. Türkiye'de de petrol üretimi atbaşı denilen üretim pompaları ile gerçekleştirilir.

Petrolün taşınması ve rafine edilmesi

Petrol yeryüzüne çıkınca, boru hattı, bazen de tankerlerle rafineriye taşınır. Boru Hatları çoğunlukla yer altında gömülü olduğundan gözle görülmez. Günümüzde, limanlarımızdan taşınan yükün büyük kısmı dünyanın dört bir yanından gelen büyük tankerlerdeki ham petroldür. Petrol yurtdışından dövizle getirildiğinden ve yenilenemez bir kaynak olduğundan, petrol kullanılırken bilinçli olmalı ve petrol ürünleri gereksiz yere tüketilmemelidir (http://www.yerbilimleri. gen.tr/petrol-vedogal-gaz/).

Ham petrol elde edildikten sonra, bunun rafine edilmesi yani çeşitli ürünlere ayrılması gerekmektedir. Bu işlemler, özel rafinerilerde (tesislerde) yapılmaktadır (Şekil 8). Petrol rafinerisi, toprak altından çıkan ham petrolün işlenerek, benzin ve dizel akaryakıtlar gibi petrol ürünlerine dönüştürüldüğü üretim tesisidir. Elde edilen ürünlerin her biri ise çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Rafinasyon sırasında ve sonrasında istenmeyen katı ve sıvı atıklar ortaya çıkmaktadır.

KULLANIM ALANLARI

Dünya enerji tüketimi nüfus artışına ve teknolojik gelişmelere koşut olarak artmaktadır. Artan gereksinimi karşılamak ve enerji arzının sürekliliğini sağlamak amacıyla bir yandan yeni enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılması için çeşitli inceleme ve araştırmalar yapılmaktadır.



Şekil 8. Bir petrol rafinerisinin genel görünümü
(http://www.lafsozluk.com/2010/07/rafineri.html).

Odun, kömür ve petrol en eski ve yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarıdır. Günümüzde enerjinin çoğu petrolden elde edilmektedir. Doğada bulunduğu şekliyle petrol, hemen hemen yararsızdır. Yararlı ürünler haline dönüştürülebilmesi için petrolün rafine edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ham petrol rafinerilerde işlenerek çeşitli petrol ürünleri elde edilmektedir (MTA, 1995).

Başlıca petrol ürünleri ve kullanıldığı yerler, aşağıda öz olarak sunulmuştur (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

1- LPG (Sıvı petrol gazı): Ham petrolü meydana getiren hidrokarbonlardan propan ve bütanın normal sıcaklık ve yüksek basınç altında sıvılaştırılması ile elde edilir. Evlerde ve sanayide geniş çapta kullanılan bu gazlar çelik tüpte doldurulmuş olarak tüketime sunulur. İpragaz, Aygaz, Mobil gaz gibi kuruluşlar LPG üretmektedir.

2- Naftalin: Ham petrolden üretilen ilk hafif ürün naftalindır. Aynı zamanda petro kimya ve gübre sanayinin hammaddesidir.

3- Benzin: Motor yakıtı olan benzin, ham petrolden kaynama noktaları 30-200 ^{o}C olan hidrokarbonların ayrılması ile elde edilir.

4- Gazyağı: Ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen gazyağı, kaynama noktası 160-250 ^{o}C arasında değişen hidrokarbonlardan meydana gelmektedir. Isıtma, aydınlatma ve motor yakıtı olarak da uçaklarda kullanılmaktadır.

5- Motorin: Genellikle 200-360 ^{o}C arasında kaynama noktası olan hidrokarbonların, ham petrolden ayrılması ile elde edilir ve dizel motorlarında yakıt olarak kullanılır.

6- Fuel oil: Enerji üretimi ya da ısıtmada kullanılan akaryakıttır. Fuel oil akıcılıklarına göre hafif ya da ağır olarak sınıflandırılmaktadır. Hafif fuel oil ısıtma kazanlarında yakıt olarak kullanılır. Ağır fueloil, endüstri kazan yakıtıdır. Buhar kazanlarında kömür ya da gaz yerine kullanılır.

7- Çözücüler (Solventler): Benzin ile gaz yağı arasında bir hidrokarbon sıvısı olan çözücüler, boya sanayinde, kuru temizlemede, ormancılıkta, haşaratla savaşta eritici ya da çözücü madde olarak kullanılmaktadır.

8- Asfalt: Akıcılığı olmayan siyah renkli bir petrol ürünüdür. Asfalt yer kabuğunda doğal halde de bulunmaktadır.

9- Makine yağları: Ham petrolün %4-5 oranından fazlasını oluşturmayan makine ve gres yağları, endüstride çok önemlidir. Katı ve sıvı olmak üzere pek çok makine yağı çeşitleri vardır.

10- Parafin: Makine yağları üretilirken yan ürün olarak elde edilen parafin, beyaz renkte ve kristallidir. Bu madde, kozmetik, kablo, bobin, transformatör, yağlı kâğıt, karbon kâğıdı, bandaj ve cephane yapımında kullanılmaktadır.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Petrolün çevresel etkileri söz konusu olduğunda, arama, üretim-iletim ve rafinajı içeren teknoloji ile depolama, pazarlama-dağıtım ile kullanım evrelerinin her birini ayrı ayrı irdelemekte yarar vardır. Petrolden kaynaklanan toprak kirliliği, petrolün üretimi, taşınması, işlenmesi ve kullanılması sırasında, petrol ve türevlerinin toprağa sızması ile olmaktadır. Özellikle yoğun yerleşim merkezlerinde, liman tesislerinde halka açık alanlarda, petrol rafineleri çevresindeki topraklarda yoğun petrol kirliliğine rastlanmaktadır. Böyle bir kirliliği bertaraf etmek için çeşitli bakterilerden yararlanılır. Örneğin, Helicobacter pylori denilen bir bakteri, topraktaki petrol ve türevlerini hızlı ve kitle halinde ayrıştırır (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Petrolün büyük gemilerle denizlerde taşınması sırasında kimi sorunlarla karşılaşılmaktadır. Örneğin, petrol taşıyan gemiler rafinerilere petrolü boşalttıktan sonra dengelerini sağlamak amacıyla tankerlerine deniz suyu alırlar. Tankerler içerisindeki kalıntı petrollerle temas eden su, petrolle bir karışım oluşturur. Daha sonra gemiler tekrar petrol almadan önce sahil kesimlerine bu suyu boşaltırlar. Böylece sahil kesimleri petrolle kirlenmiş olur. Günümüzde gerçekleşen tanker kazaları dolayısıyla denizler kirlenmektedir. Denizler üzerindeki bu kirlenmeyi önlemek için gemilerin boşaltacakları suyu, rafineri içerisindeki arıtma tesislerine vermelidir. Ayrıca, tanker kazalarını önlemek için taşıma sırasında deniz trafiğinin azaltılması gerekir.

Petrol günümüzde en çok kullanılan önemli fosil yakıtlarda biridir. Petrolün özellikle kullanımından kaynaklanan çevre sorunları doğayı daha çok tehdit etmektedir. Petrolün kullanımı sırasında ortaya çıkan kirleticiler, aynı zamanda havayı, suyu ve toprağı kirletmektedir. Hava kirleticiler içinde, zararın derecesi, miktarı ve yayılma alanının genişliği bakımından kükürt oksitler başta gelmektedir. Yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, hava kirletici olarak kükürt dioksitin yarattığı zararın miktarı tüm diğer kirleticilerin yaptığı zararın yarısı kadardır. Bu nedenle, kükürt dioksitin havadaki miktarı, hava

kirliliği ya da zarar derecesi için, genellikle bir ölçü olarak alınmaktadır. 1 ton fuel-oilin yakılması sonucu 0.5-4 kg SO_2 açığa çıkarmaktadır.

Hava kirliliği yayan (fabrika, termik santral, konutlar gibi) yerleşik kaynaklarda alınabilecek önlemler:

- Yapıların bacalarına ileri teknoloji ürünü filtre takmak,
- Bacalardan çıkan kükürt dioksit gibi çok zararlı gazların, fabrikaların yanında kurulan sülfürik asit ünitelerine vermek, yani bu gazların bacalardan atmosfere geçişine engel olmak
- Denetimli ve tasarruflu yakma yöntemlerini kullanmak,
- Fosil yakıtlar yerine güneş enerjisinden, rüzgâr enerjisi, hidrolojik enerji ve jeotermal enerjiden yararlanmak

Hava kirliliği yayan trafik araçlarıyla ilgili önlemler:

- Egzoz gazlarını tutabilen araçların kullanımını sağlamak,
- Araçların motor sistemini değiştirmek, örneğin buharlı, elektrikli motorlar yapmak,
- Raylı sistemlerle, metro gibi toplu ulaşım sistemlerinden yararlanmak, kurşunsuz benzin kullanmak,
- Trafiği planlayarak kentlerde trafik yoğunluğunu azaltmak.

Sonuç olarak petrolün arama ve sondaj, rafinasyon ve kullanım evrelerinde ortaya çıkan çevre sorunları gözetilerek ÇED Yönetmeliği (2022)'nin ruhuna uygun bir planlama yapılmalıdır.

ÇED uygulamalarında ham petrol rafinerileri, 500 t/gün ham petrolün çıkarılması ve petrol dâhil tüm kimyasalların 40 km'den daha uzak mesafelere 600 mm çaplı borularla taşınması, 50.000 m3 ve üzeri petrol depolama tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 Listesinde yer almaktadır. Yani petrolün üretime ayrıştırılmasına, depolanmasına dair çeşitli süreçlerde çevre üzerinde kapsamlı olumsuz etkileri olduğu kabul edilmektedir. Bu tür faaliyetler için kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanması zorunluluğu vardır. Petrol bazlı yağlama maddesi üretim tesisleri ile petrolün aranması ve çıkarılmasına dair faaliyetler ise EK-2 Listesinde yer almaktadır. Bu faaliyetleri sürdürmek için Proje Tanıtım Formatı'nın hazırlanması gerekmektedir.

SONUÇLAR

Türkiye'de 1992 yılı toplam ham petrol üretim miktarı 4,3 milyon ton, ham petrol tüketimi ise 23 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'nin yerli ham petrol üretimi toplam gereksinimin ancak % 15-18'ini karşılamaktadır. Bu oran 1960'lı yıllardan bu yana yaklaşık aynı düzeyde seyretmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar çerçevesinde, ülkemiz jeolojik açıdan yüksek hidrokarbon potansiyeline sahip görünmüyorsa da petrol ve doğal gazın stratejik hammaddeler oldukları düşünülerek yurt içi arama faaliyetlerinin devam ettirilmesi gereklidir.

Türkiye'deki arama ve üretim faaliyetlerinin büyük bir bölümünün yapıldığı Güneydoğu Anadolu'daki çalışmalar, bölgedeki olağanüstü durumdan etkilenmektedir. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda petrol arama yatırımlarının daha az yapıldığı bölgelere ve özellikle denizlere kaydırılması yararlı olacaktır. Son yıllarda gelişen teknolojinin, derin deniz ortamlarında arama ve üretimi mümkün kılması, yurdumuzdaki bu tür alanların, özellikle Doğu Karadeniz'in platformlarında kapsamlı aramaların yapılmasında yarar vardır.

Türkiye'nin gittikçe artacağı beklenen enerji gereksiniminin büyük bölümünü oluşturan petrol ve doğal gazın ekonomimize getireceği mali yükün azaltılması amacıyla, yurtdışında, özellikle Orta Asya Türk Cumhuriyetleri'nde petrol ve doğal gaz arama, üretim ve boru hattı ile taşıma çalışmalarına etkin bir şekilde ağırlık verilmelidir.

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nın (TPAO) tespitlerine göre, geleceğin enerji maddesi olarak da ifade edilen gaz hidrat yataklarının yanı sıra petrol ve doğal gaz yatakları, Karadeniz'in yanı sıra Doğu

Akdeniz'de de bulunmaktadır. Aynı raporlarda bir birim gaz hidratın 64 birim doğalgaza eşit bir enerji içeriğine sahip olduğu çeşitli hesaplamalarda ifade edilmektedir [https://ortakakil.org.tr/sektoreloncelikler/dogu-akdeniz-ve-karadenizdeki-dogalgaz-ve-petrol-aramalari-ve-bu-alandaki-belirsizliklersektorel-oncelikler-masasi/(03/10/2021)]. Dolayısıyla, ülkemizin her iki alandaki haklarının sahiplenilmesi önemlidir. Ayrıca arama ve sondaj sonrası açık denizde söz konusu kaynakların üretimi, taşınması ve işletilmesi için şimdiden gerekli hazırlığın yapılması zorunlu görülmektedir.

Tüm Dünya'da petrole ilişkin faaliyetler, aramadan üretime ve hatta kullanıma dek uzanan kapsamlı bir yapı içinde yürütülmektedir. TPAO'nun yalnızca riski yüksek arama ve üretim alanlarında faaliyet göstermesi, daha karlı ve riski az, taşıma, rafinaj ve pazarlama alanlarında birimlerinin olmaması, yatırımlar için kaynak yaratılması bakımından önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bu bakımdan TPAO'nun petrol sanayinin tüm alanlarında faaliyeti bulunan etkin bir holdinge dönüştürülmesi sağlanmalıdır.

Türkiye'deki yatırımların büyük çoğunluğu TPAO tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden TPAO her alanda desteklenmeli ve bu kuruluşa yatırım için gerekli kaynaklar sağlanmalıdır. TPAO'nun gerek yurtiçinde ve gerekse yurtdışında, uluslararası firmalarla rekabet edebilmesi için, kuruluşun çağdaş teknolojiyi yakından izlemesi, personel gereksiniminin karşılanması, personelin bilgi ve deneyimlerinin çağdaş düzeyde arttırılması büyük önem taşımaktadır.

Yurt dışındaki, özellikle Asya Türk Cumhuriyetlerindeki petrol ve doğal gaz arama ve üretim çalışmaları bir devlet politikası olarak ele alınmalı ve ilgili kuruluşlar arasında gerekli eşgüdüm sağlanarak, özenli bir program doğrultusunda çalışmalar yürütülmelidir (Yılmaz, 2009). Ayrıca petrolün tüm üretim süreçlerinde çevrenin korunması hususları dikkate alınarak ARGE çalışmaları özendirilmelidir.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
Göksu, E., 1971, Petrol Jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi Petrol Arama ve İşletme Kürsüsü, İstanbul, 94s

http://www.guneyyildizi.com.tr/sondaj-ve-workover-kuleleri/
http://www.lafsozluk.com/2010/07/rafineri.html
http://www.yerbilimleri. gen.tr/petrol-ve-dogal-gaz/).
http://slideplayer.biz.tr/slide/3396586/
https://ortakakil.org.tr/sektorel-oncelikler/dogu-akdeniz-ve-karadenizdeki-dogalgaz-ve-petrolaramalari-ve-bu-alandaki-belirsizlikler-sektorel-oncelikler-masasi/(03/10/2021).
Kalkan, İ., 1989, Petrol: Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Daire Başkanlığı, Ankara, 23s.
MTA, 1995, Sivas İli Doğal Kaynaklar Envanteri, MTA Orta Anadolu 1.Bölge Müdürlüğü, Cilt 1, Sivas, 275s.
Saner, S., 1981, Petrol Oluşumu, Birikmesi, Aranması ve Aramacılığın Gelişimi, Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Dizisi, Ankara, 31s
Tanrıverdi, A. R., 1998, Petrolün oluşumu ve aranması, TMMOB, Ankara.
Tüysüz, O., 1994, Petrol Jeolojisi Ders Notları, İTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul. Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

4. 3, DOĞALGAZ

GENEL BİLGİLER

Yeraltında zaman içinde oluşan doğal gazın çeşitli yollardan yeryüzüne çıkması ve düşen yıldırımların etkisiyle yanması, çağlar boyu insanlarda doğal gaza yönelik bir ilgi uyandırmıştır. Yani binlerce yıl önce de doğalgaz insanlar tarafından bilinmekteydi. Tarihsel belgelerden eski Mısırlıların ve Yunanlıların doğal gazların yarattığı **Ebedi Alevleri** heyecanla izledikleri bilinmektedir. Örneğin, ateşe

tapanların sönmeyen **kutsal ateşi,** kaya kovuklarından yeryüzüne kendiliğinden çıkmış ve her nasılsa (yıldırım düşmesiyle) alev almış olan doğalgazdan başka bir şey değildi.

Yine Azerbaycan'ın başkenti Bakü yakınlarında, petrol kuyuları dolayında MÖ kurulmuş bir tapınak doğal gazın bulunduğu bir alanda yer almaktadır. Eldeki belgelerden doğal gazın ilk olarak yakıt amacıyla Çin'de Shu Han Hanedanlığı MS 211-263 tarihleri arasında kullanıldığı bilinmektedir. Çinliler sadece doğal gazı değil, petrol ve tuzlu suyu yerleşim merkezlerine içi boş bambu kamışlarıyla taşıdıkları bilinmektedir.

Ayrıca pilin bulucusu olarak tanınan Allessandro Volta, 1776'da doğal gazı bataklıkların alevli havası olarak tanımlarken, bu gazın 20. yüzyılda insanların günlük yaşamında nasıl önemli bir rol oynayabileceğini herhalde tahmin edemezdi. Volta, bazı deneyler yaparak doğal gazın özelliklerini inceledi. Bir İtalyan bilim adamı olan Lazzaro Spallanzani, Flemenk bilim adamı Jan Baptista van Helmont'un 1609'da ürettiği gaz teriminden esinlenerek 1795 yılında doğal gaz terimini önermiştir.

İlk kez 1821' de Amerika'da Fredonia (New York) yöresinde ekonomik amaçla keşfedilen doğalgaz, ocak gazı olarak kullanılmıştır.

Doğal gaz, 19. yüzyılda Amerika'da metan olarak tanınıyordu. Daha sonra metanın doğal gazın en önemli bileşeni olduğu, fakat metanla birlikte başka gazların doğal gazı oluşturduğu anlaşılmıştır. Doğalgaz, çoğunluk olarak metan (CH_4) ve daha az oranda etan (C_4H_{10}) ve propan (C_3H_8), azot, bütan ve karbon dioksitten meydana gelen renksiz, kokusuz ve hafif bir gazdır.

Doğal gazın ticari amaçla kullanımı **gaz sanayinin babası** olarak bilinen İskoç Mühendis **William Murdock** kömürden gaz elde etme tekniklerini geliştirmesi ile 18. yüzyılda hızlanmıştır. İlk çağdaş teknikler 19.yüzyılda ABD'de geliştirilmiştir. William Hart 1821 yılında New York eyaletinde, Erie Gölü yakınlarında yaklaşık 9 metre derinlikten 4 cm çapındaki bir boruyla çıkardığı doğal gazla Freodania Kasabası'nı ışıklandırmıştır.

İlk endüstriyel kullanım ise 1841 yılında yine ABD'nin West Virginia eyaletinde tuz üretiminde olmuştur. Doğal gazın evlere girmesi ise 1855 yılında Robert Wilhelm Bunsen'in **mavi alev gaz ocağını** geliştirmesiyle mümkün olmuş, büyük ölçekteki ilk tüketim de 1880'lerde ABD'de Pennsylvania eyaletinin Pittsburgh kentinde 500 mile yakın gaz borusu döşemesi ile gerçekleşmiştir (MTA, 1977).

İkinci Dünya Savaşı'na kadar doğal gaz teknolojisi ABD dışındaki ülkelerde yok denecek kadar azdı. Daha sonraları Avrupa'da özellikle Hollanda'da, Kuzey Afrika, Pakistan ve Sovyetler Birliği'nde önemli kaynakların bulunmasıyla doğal gaz üretimi ve tüketimi yaygınlaştı. Doğalgazın endüstride geniş çapta enerji kaynağı olarak kullanılması ve bu amaçla üretilmesi 1975'lerde başlayan petrol krizinden sonra olmuştur. 1988 rakamlarına göre doğal gaz, Kuzey Amerika'da kullanılan birincil enerji kaynaklarının yaklaşık olarak % 23'ünü, Avrupa'da % 15'ini, OECD Ülkelerinde % 19'unu ve SSCB'de % 39'unu oluşturmaktadır.

İnsanlığın vazgeçilmez gereksinimlerinden biri olan enerjinin üretilmesinde kullanılan çeşitli kaynakların başında fosil yakıtlar gelmektedir. Petrol ve kömür fosil yakıtlardan söz edilirken akla gelen ilk enerji kaynaklarıdır. Bununla beraber petrol gibi bir fosil yakıt olan doğal gaz da kimyasal özellikleri ve kullanım kolaylığı açısından 1960'lı yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Doğal gaz Dünya'daki önemli enerji kaynaklarından biridir. Enerjinin günlük yaşamımızdaki önemi her yerde görülebilir. Yemek hazırlama, ısınma, aydınlanma ve ulaşım bu gereksinimlerin başlıcalılarıdır. Endüstrinin gelişmesiyle birlikte enerjiye olan gereksinim de artmaktadır. Geçmişte insanlara ve hayvanlara yaptırılan pek çok yorucu ve tekdüze iş, çeşitli enerji kaynaklarının kullanımıyla giderek makinelere yüklenmekte, böylelikle hem üretim artırılmakta hem de yükselen yaşam koşullarıyla insanlara sosyal ve kültürel yaşamda daha yüksek bir konfor olanağı sağlanmaktadır.

ÖZELLİKLERİ

Doğal gaz, büyük oranda metan içeren petrol gazlarının karışımından oluşmaktadır. Doğalgaz, çoğunluk olarak metan (CH_4) ve daha az oranda etan (C_4H_{10}) ve propan (C_3H_8), azot, bütan ve karbon dioksitten meydana gelen renksiz, kokusuz ve havada hafif bir gazdır. Doğal gaz, saf halde iken renksiz ve kokusuz olması nedeniyle, merkaptan adı verilen kükürt bileşenleri ile karıştırılarak gaz kaçaklarının hissedilebilmesi için kokulandırılmaktadır.

Birçok gazlar zehirleyici olup, solunum yoluyla alındığında ölümle sonuçlanabilir. Bir yanıcı gaz olan doğal gaz ise kimyasal yapısında karbon monoksit içermediği için zehirleyici değildir. Ancak kapalı bir ortamda çok bulunduğu zaman ortamın oksijenini azaltacağından boğucu olabilir. Aynı açıklamalar, yıllardan beri evlerde kullanılan ay gaz (sıvılaştırılarak tüplere konulmuş gazlar) için geçerlidir (DPT, 2000).

Yanma olayı oksijensiz bir ortamda gerçekleşmez. Her yakıtın tam olarak yanabilmesi için gereksinim duyulan oksijen miktarı birbirinden farklıdır. 1m^3 doğalgazın tam yanmasını sağlamak için % 21 oranında oksijen içeren yaklaşık 10 m^3 hava bulunması gerekmektedir. Bunun anlamı sürekli hava değişimi olmayan bir ortamda havada % 21 oranında oksijen bulunmaz. Bu da gazın tam olarak yanmadan kullanımına sebep olur. Bundan dolayı tam yanmayan doğal gaz; gaz kaçağı olması ya da yanma sonucu ortamda oksijen bittikten sonra alevin sönüp gaz akışının devam ettiğinin fark edilmemesi halinde boğulmalara, baca çekişinin yeterli olmaması halinde yanma sonucu oluşan gazların kapalı ortama geri dönmesi ve dışarıya atılamaması halinde de zehirlenmelere neden olacaktır.

Uygun yanma koşulları sağlanamaz ve tam yanma gerçekleşmezse diğer yakıtlara göre çok düşük miktarda karbon monoksit (CO) ve azot oksitler (NO_X) oluşur.

$$CH_4 + 2\,O_2 + 8\,N_2 \rightarrow CO_2 + 2\,H_2O + 8\,N_2 + \text{enerji}$$

Doğal gazın özgül ağırlığı standart koşullar (15 ^oC ve 1 atm basınç) altında 0,61 g/cm^3'tür. Belirli basınç ve sıcaklık koşulları altında (1 atm basınç 0 ^oC sıcaklık ya da 1 atm basınç 60 ^oF sıcaklık) bir m^3 doğal gazın yanması ile ortaya çıkan sıcaklığa doğal gazın ısıl değeri denilmektedir.

Üst ısıl değeri: 1 m^3 doğalgazın yanması ile ortaya çıkan ve henüz suyun sıvı halde olduğu evredeki ısı değeridir.

Alt ısıl değeri: Üst ısıl değeri ile 1 m^3 doğal gazın yanması sonucu ortaya çıkan ve suyun buhar haline gelmesi için gereken ısı değeri arasındaki farktır.

0 ^oC sıcaklık ve 1 atm basınç altında Hamitabat sahasından üretilen doğal gazın üst ısıl değeri 9157 kcal/m^3, alt ısıl değeri ise 8243 kcal/m^3'tür. Doğal gazın bazı temel özellikleri Çizelge 1' de toplu olarak sunulmuştur.

Doğalgazın tercih edilmesinin de pek çok nedeni vardır:

- Her an için kullanıma hazırdır.
- Ekonomik olup zaman ve işgücü tasarrufu sağlar.
- Çevre dostudur. Katı atıklar bırakmadan yanar.
- Cihazlarda ısı geçişi kısa sürede olur.
- Cihazlarda sıcaklık denetimi çok hassas olarak yapılır, konfor ve enerji tasarrufu sağlanır.
- Stok yapma ve önceden sipariş verme gerektirmez.

Çizelge 1. Doğalgazın bazı temel özellikleri.

Özellikleri	Değerleri
Yoğunluk (kg/m^3)	0,830
Bağıl yoğunluk (d)	0,643

Ateşleme sıcaklığı (t - °C)	640
Alev radyasyon sayısı (r)	0,3 ~ 0,5
Yanma hızı (u - m/s)	0,410
Özgül ısı (C_P - kJ/kg.K)	1,890
Özgül ısı (C_V - kJ/kg.K)	1,440
Özgül gaz sabiti (R - kJ/kg.K)	0,449
Kritik basınç katsayısı (çıkış basıncı / giriş basıncı)	0,545
Üst ısıl değer (H_O – kWh/m^3 - kcal/m^3)	9,77 – 8406,30
Alt ısıl değer (H_U – kWh/m^3 - kcal/m^3)	8,84 – 7606,11
Üst Wobbe katsayısı (W_O – kWh/m^3 - kcal/m^3)	12,18 – 10483,36
Hava fazlalık katsayısı	1,05 ~ 1,10
Yanma için gerekli teorik hava miktarı (l_T – m^3.hava/m^3.doğalgaz)	9,30
Yanma için gerekli gerçek hava miktarı (l_G – m^3.hava/m^3.doğalgaz)	10,35 ~ 10,40
Atık gaz yoğuşma (çiğlenme noktası) sıcaklığı (°C)	56

- Birincil enerji olarak borularla kayıp vermeden, ulaşım yollarını meşgul etmeden ve trafik oluşturmadan kullanıcıya ulaştırılabilir.
- Uzun süreli bir enerji kaynağıdır. Büyük rezervlerden, on yıllar ötesine kadar uzanan al ve öde anlaşmalarıyla güvenliği sağlanmıştır.
- Depolama yeri gerektirmez, böylece binalarda başka amaçla alanlar yaratılabilir.
- Bir apartmanda her dairenin ayrı gaz sayacı takması halinde ne kadar gaz tüketildiği kolaylıkla belirlenir.
- Çağdaş doğalgaz cihazları her türlü gereksinime karşılık verir ve istenildiği şekilde yerleştirilebilirler.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Fosil yakıtlar sınıfına giren katı (kömür), sıvı (petrol) ve gaz yakıtlar (doğalgaz) yerin binlerce metre derinliklerindeki çökeller arasında kalan organik maddelerin milyonlarca yıl süren bozunmaları sonucunda oluşmuşlardır. Fosilleşmiş hayvan ve bitki artıkları havasız ortamda kalarak basınç ve sıcaklığın da etkisiyle kömür, petrol, doğalgaz diye bilinen yakıtlara dönüşür. Fosil yakıtların, özellikle doğal gazın oluşumuna dair bazı temel ayrıntılar aşağıda sunulmuştur (Kalkan, 1989; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Doğal gaz, isminden de anlaşılacağı gibi, doğada çeşitli olaylar sonucu oluşmuştur. Nasıl oluştuğu konusunda tartışmalı bilgiler olmamakla birlikte, bilim adamlarının bu konuda ileri sürdükleri **organik kuram** inandırıcı bir açıklamadır. Çok sayıda bilim adamınca kabul edilen bu kurama göre doğal gaz, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan artıklarının zamanla yer kabuğunun derinliklerinde gömülüp kimyasal ayrışmaya uğraması sonucu oluşmuştur.

Organik madde olarak bitki ve hayvan artıkları doğal süreçler sonucu göl ve okyanuslarla taşınıp dibe çökelerek çamur ve kumla kaplanıp, kayalaşmış ve giderek daha da derine gömülen bu organik madde; basınç, sıcaklık ve bakterilerin ya da radyoaktivitenin etkisiyle ayrışarak petrol, kömür ve doğal gazı birlikte oluşturduğu kabul edilmektedir.

Doğal gazın nasıl oluştuğun anlamak için dünyanın yüzlerce milyon yıl önceki durumunu da göz önüne almak gerekmektedir. Yüksek ormanlar, bataklıklar ve nemli bir atmosfer. Denizler organik

yaşamla dopdolu. Yıllar ilerledikçe iklim değişiyor. Ormanlar yerlerini çöllere bırakıyor, denizler kuruyor ve sonra tekrar doluyor. Her değişimin sonunda, o döneme uyum sağlamış canlılar yok oluyor ve suyla birlikte gelen çamur ve kumların altına gömülüyor. Bu işlem, yıllar geçtikçe değişen iklim ve sıcaklıkla sürüp gidiyor. Daha fazla çamur ve kum akarsularla taşınıyor ve çürüyen canlı kalıntılarını daha da derinlere gömüyor.

Bunlar sürerken aynı zamanda yerin derinliklerinde oluşan yüksek sıcaklık ve bakteriler, gömülü organizmalar üzerinde etkisini göstermeye başlıyor; buralardaki organik maddelerden metan, karbon dioksit, azot ve azot oksit üremeye başlıyor. Bu aşamada bol miktarda metan (ya da bataklık gazı, turba gazı) oluşuyor.

Bazı bakteriler de (sülfat indirgeyici bakteriler) hidrojen sülfür oluşturuyorlar. İşte bunca etkinlik ve zaman sonunda ortaya doğal gaz çıkıyor. Kıtalar birbiriyle çarpışıyor ve yeraltında biriken hidrokarbonlar, oluşan yüksek basınçla bir katmandan ötekine hareket ediyorlar ve en sonunda gözenekli kayaların içinde sıkışıyorlar. Doğal gaz, petrol ve gazı bir sünger gibi gözeneklerinde saklayan ve üzeri geçirgen olmayan bir başka katmanla kaplı olan bu gözenekli yapılarda birikiyor. Bizler için bu kadar değerli olan ve dillerden düşmeyen doğal gaz, eski mikroorganizma, bitki kalıntıları ve hayvan ölülerinin çürümüş bedenlerinden oluşan bir kaynaktır.

Doğal gaz hazne kayaları (rezervuarları)

Doğal gazın kökeni de tıpkı petrolde olduğu gibi, binlerce yıl önce yeraltında, basınç ve sıcaklık koşullarında fosilleşmiş olan bitki, hayvan artıkları ile mikroorganizmalardır. Organik malzemenin gaza dönüşümde bakteriler ve düşük ya da yüksek sıcaklık rol oynamıştır.

Doğal gaz da kaya birimlerinin gözeneklerinde bulunur. Kireçtaşları ve kumtaşları iyi birer hazne kaya türüdür. Dolayısıyla bu kayalara hazne kaya **(rezervuar kayası)** denir. Bir hazne kayasının bazı özellikler aşağıda sunulmuştur:

Hidrokarbon bileşikleri yerin derinliklerinde, basınç ve sıcaklık altında gaz, sıvı, sıvı + gaz fazlarında bulunabilirler. Hafif hidrokarbonlardan (HC) metan, etan, propan, bütan gibi gazlar, genellikle petrolle beraber ya da ondan bağımsız olarak petrolün içinde erimiş halde (solution gas) bulunurlar.

P/T (Basınç/Sıcaklık) koşullarında, petrolden ayrılan hafif hidrokarbonlar tepe gazını oluşturur. Tepe gazı bulunduran rezervuarlardan doğal gaz üretimi yapılabilir. Ancak gaz üretimi arttıkça, rezervuar basıncı düşer, sıvı faz (petrol) içinde orijinal rezervuar basıncında erimiş halde bulunan hafif hidrokarbonlar ayrılmaya başlar. Bu hidrokarbonlar, tepe gazını oluşturanlardan daha ağırdırlar.

Petrolün içinde erimiş halde olup da petrolle birlikte yeryüzüne çıkarılan gaz **çözünmüş gaz** olarak adlandırılır. Yeryüzünde erimiş gazı petrolden ayırmak için belirli bir sıvı düzeyinde çalışan ayrıştırıcılara gereksinim duyulur.

Büyük kapasiteli gaz rezervuarları, sıvı fazla (petrol) birlikte olmayan, tümüyle gaz içeren doğal gaz rezervuarlarıdır. Kaya sıvı ya da gaz tutabilecek kapasitede gözenekliliğe ve akışkanın hareket edebileceği geçirgenliğe sahip olmalıdır. Yeterli kapasiteye sahip olsa bile geçirgenliği yoksa bu tür kayalardan üretim yapılamaz. Geçirgenlik, gözenekler arası geçitlerin var olmasına bağlıdır. Gözeneklilik ve geçirgenlik ile ilgili diğer özellikler aşağıdadır:

1- Etkin gözeneklilik ve geçirgenlik yeterli olmalıdır. Etkin gözenekler, içlerinde hidrokarbon bulunduran gözeneklerdir. Etkin geçirgenlik de üretim kuyusuna akışkanın gelmesine katkıda bulunan geçitlerdir.

2- Gözeneklilik, genellikle % 5 ile % 30 arasında değişir. Kayanın tüm hacmi 100 m^3 ve % 30 gözenekliliğe sahip ise, 30 m^3 sıvı ya da gaz bulundurabilir. Etkin gözeneklilik, net sıvı içerikli gözenek hacmidir.

3- Kayanın iletkenliği (permeabilite), **"Darcy"** birimiyle ifade edilir. Darcy, 1826'da yaptığı bir deneyle, gözenekli ortamdaki akış miktarını tanımlayan ve kendi adıyla anılan bir eşitlik ortaya koymuştur. Darcy formülüne göre "A" kesit alanı, "L" uzunluğundaki silindir biçimli gözenekli ortamda, giriş basıncı P_1, çıkış basıncı P_2 ise, Q debisinin ifadesi şöyledir.

$$Q = \frac{Ak}{\mu}\times\frac{dL}{dL} \quad \text{ise} \quad Q = \frac{k}{\mu}\frac{A\Delta P}{dL} \quad \text{ise} \quad k = \frac{Q}{A}\times\frac{\Delta L}{\Delta P}\times\mu$$

$\Delta P = P_1 - P_2$, basınç farkı (din/cm^2)

ΔL = L alınabilir, gözenekli ortamdaki mesafe (cm)
A = Gözenekli ortamın kesit alanı (cm^2) μ
= Akışkanın akışkanlğı (din-s/cm^2) k =
Gözenekli ortamın geçirgenliği (Darcy)
Q = Akış miktarı, debi (cm^3/s)

İki tür geçirgenlik kavramı vardır:

1- **Etkin geçirgenlik**: Gözenekli ortamın, su, petrol ya da gazla % 100 doymuşluğuna bağlı olarak laboratuarda yapılan testlerle elde edilir.

2- **Göreceli geçirgenlik**: Kısmen doymuş kayanın, % 100 doymuş kaya geçirgenliğine oranıdır.

Suya göre göreceli geçirgenlik $k_{rw} = \frac{k_w}{k}$, k: % 100 su ile doymuş kaya geçirgenliği (etkin)

Gaza göre göreceli geçirgenlik $k_{rg} = \frac{k_g}{k}$, k: % 100 gaz ile doymuş kaya geçirgenliği (etkin)

Petrole göre göreceli geçirgenlik $k_{ro=}\frac{k_o}{k}$, $k_w.k_g$ kısmen suyla ya da gazla doymuş kayanın geçirgenlikleridir.

Petrolün göreceli geçirgenliği içinde aynı denklikler geçerlidir. k formülüne, ilgili birimler konursa, k'nın biriminin L_2 boyutunda m^2 ya da cm^2 olduğu görülür.

CGS birim sistemi ile 1 cm^2 = 1Darcy değerinde geçirgenliği ifade eder. Darcy formülü her ne kadar viskoz (koyu) akışkanlara uygulanmakla birlikte, gözenekli-geçirgen ortamlardaki gaz akışları için de geçerlidir. Ayrıca Darcy formülünün türevleri boru hatları akışlarında da kullanılmaktadır. Aşağıda verilen formüller de Darcy formülünden türetilmişlerdir.

$$h_L = 6260\, f\, \frac{Lq^2}{d^5} \quad \text{ya da} \quad \Delta P = 43{,}5\, fL\, pq^2 / d^5 \quad \text{ise} \quad (1\ ft^2 = 144\ in^2)$$

h_L = Statik akışkan yüksekliği, ft (ya da m),
L = Hat uzunluğu, ft (ya da m), d
= Hat çapı, inch (ya da cm),

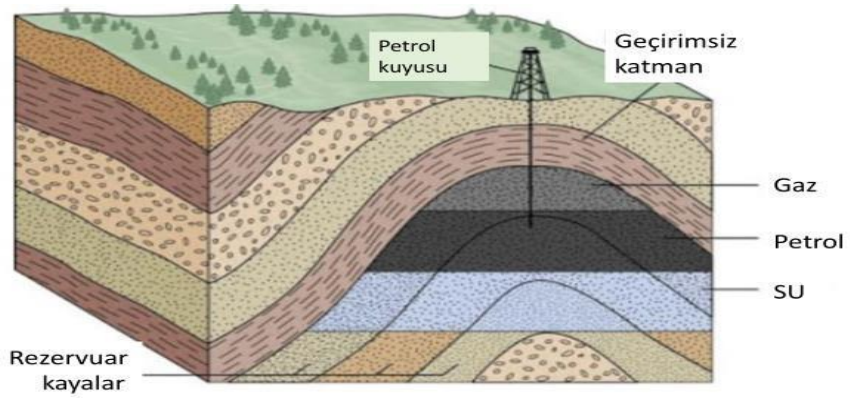
q = Akış basınç ve sıcaklığında akış miktarı, debi, ft^3/s
ΔP = Basınç farkı, psig p
= Yoğunluk, $1b/ft^3$
(1 m = 3,28 ft, 11b = 0,4536 kg, 1 m^3 = 43,5 fL q^2p / d^5)

hL (ft) ise ΔP (psi) dönüşümü şöyledir:

$$6260\ f\ \frac{Lq^2}{d^5}\ (ft)\ p\ \frac{1b}{ft^3}\ x\ \frac{1\ ft^2}{144\ in^2} = 43,5\ fLq^2p / d^5$$

Örtü ve kapan kayası

Doğal gaz yataklarının oluşması için hazne kayasının varlığı yeterli değildir. Hazne kaya geçirimli bir yapıya sahiptir. Sıvı ya da gaz fazdaki hidrokarbonların yerin binlerce metre derinliklerinde alttan ve üstten hapseden hazne kayalarında kalabilmeleri için, yapının "kapan" özelliğinde olması gerekir. Örtü ya da kapan kayası geçirimsiz özelliklere sahip olmalıdır (Şekil, 1). Kapanlarda petrol altta ve suyun üstünde, gaz ise hafif olduğu için en üstte yer almaktadır.



Şekil 1. Yalınlaştırılmış bir kapan yapısı
(https://seyler.eksisozluk.com/dogal-gaz-hakkinda-genel-bir-fikir-sahibi-olmanizi-saglayacakbirtakim-bilgiler).

Akışkanın göç etmesini, ya da kaçmasını engelleyen örtü kayası, gözenekli rezervuar kayasından çok düşük bir geçirgenliğe sahip olabilir. Bu tür kayalar, kiltaşı ve şeyl (shale) ile temsil edilmekte olup ayrıca bunlar sıkı, gözeneksiz ve çatlaksız olmalıdır.

Gaz rezervuarlarında genellikle metan yer alır. Hafif hidrokarbonlardan etan, propan, bütan ve başka gazlar bulunur. Fakat bunların miktarları oldukça azdır. Doğal gaz hacmini 100 birim olarak tanımlarsak bilinen çoğu doğal gazlar bileşimlerine göre bu hacmin 75 birim ile 15 birim arasını metan, 25 birim ile 5 birim arasını diğer hafif hidrokarbonlar ile başka gazlar oluşturur.

Bilindiği gibi yerin derinliklerine gidildikçe sıcaklık artar. Rezervuar sıcaklığı gaz ya da petrolün bulunduğu derinlikteki sıcaklıktır. Yerin derinliğine inildikçe sıcaklık artışı 0.00164 °C/m ile 0.03936 °C/m arasında değişmektedir (TPAO, 1989).

Doğal gazın göçü ve birikimi

Hidrokarbonların oluştuğu kaynak kayalar, ayrıca kapan özelliğinde değilse, hidrokarbonlar (hidrokarbonların) hazne kaya olma özelliğine sahip yapı buluncaya kadar göç ederler. Kaynak kaya, P

T koşullarında, organik maddelerin hidrokarbona dönüşümünün ortaya çıktığı bir ortamdır. Akışkan özelliği kazanan ve genellikle su ile birlikte yer alan hidrokarbonlar, bulundukları yerden yerçekimi etkisi ile daha düşük basınçlı bölgelere göç etmekte ve yollarında kapan yapısına sahip bir kaya yer alırsa orada toplanıp birikmeye ve hazne kaya oluşturmaya başlarlar. Hazne kaya olan rezervuar kaya içinde de, yoğunluklarına göre ikincil ayrışma olur. Hafif hidrokarbonlar sıvı fazdan ayrılarak, oluşan yapıya göre, üstte gaz konisini oluştururlar. Akışkanlar yoğunluklarına göre doğru aşağıda belirtildiği gibi dizilirler:
pg = Gazın yoğunluğu (üst) pg < pb < pw pb = Petrolün yoğunluğu
pw = Suyun yoğunluğu (alt)

Amerika'da 1970'lerde 74 petrol, 38 gaz sahası üzerinde yapılan inceleme, sahaların ekonomik üretim yaşlarının 14–87 yıl arasında olduğunu göstermiştir. Petrol sahalarının ortalama ömürleri 46, gaz sahalarının ise 39 yıl olarak belirlenmiştir. Her iki tür sahanın yarı ömürleri ise (rezervuarın yarısı) 16'şar yıl olarak bulunmuştur. İncelemeye alınanların % 11'inin yarı ömürlerinin 10 yıl ve daha az, % 15'inin de 20 yılı aştığı hesaplanmıştır. Bir sahanın keşfinden itibaren en üst değer üretim miktarlarına ulaşması petrol sahalarında 11 yıl gaz sahalarında 12 yıllık süreyi bulmuştur. Sahaların genellikle % 13'ü 5 yıl içinde en üst üretim değerine ulaşmıştır.

Tüm Dünya'da üretilen doğal gazın yaklaşık olarak beşte ikisi petrolle aynı yerlerde, geriye kalan beşte üçü ise petrolün bulunmadığı yerlerde saptanmıştır (MTA, 1977).

ÜRETİMİ VE TEKNOLOJİSİ

Doğal gaz aramaları da çok disiplinli bir çaba gerektirir. Jeoloji, jeofizik, petrol ve sondaj mühendisleri birlikte ve eşgüdüm içinde çalışmalıdır. Jeoloji ve Jeofizik mühendislerinin görevi, doğal gazın oluştuğu havzaları ve bu havzalardaki kapanları arayıp bulmak ve sondaj yerini belirlemektir. Sondaj mühendisleri ise kuyu açacak yerleri hazırlayıp sondajın en iyi şekilde planlamasını ve uygulamasını gerçekleştirir. Önce kule montajı yapılır, bunu sondaj işlemi izler.

Sahada yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmaları sonucunda toplanan bilgiler değerlendirilip bu değerlendirmeler sonunda, hazne kaya ve kapan oluşumuna uygun koşulların bulunduğu bölgelerde sondaj yapılmasına karar verilir. Yeni bir petrol sahası bulma umuduyla açılan ilk kuyuya "arama kuyusu" denir. Bu kuyuda petrol veya gaz bulunursa, kuyu "keşif kuyusu"; kuyuda petrol ve gaz bulunmazsa "kuru kuyu", yalnızca su bulunursa "sulu kuyu" olarak adlandırılır.

Genellikle sondaj kuyusundan gaz gelirken, gazla birlikte sıvı olarak, tuzlu su, bazen de akışkanlığı yüksek petrolle birlikte gelebilir. Doğalgaz üretim tesisinin en önemli işlevi, bunların hepsini birbirinden ayrıştırmak. Gazın petrolsüz geldiği bir ayrıştırmada, gaz, ayrıştırıcı bir sisteme girer ve faz farklarından ötürü, sıvı fazlar aşağıya düşerken, gaz fazı yukarı çıkar. Böylece kaba ayrıştırma gerçekleşir.

BOTAŞ'ın kalite standardına göre, dağıtım hattına gönderilecek gazın içinde bir milyon metreküpte 250 ppm üstünde su buharı bulunmaması gerekiyor. Bunu sağlayabilmek için üretimde bir dehidratasyon (susuzlaştırma) sistemi kullanılıyor. Bu sistemin içinde trietilenglukol denen, su buharını toplama özelliği olan, akışkan bir malzeme bulunuyor. İçinden gaz geçirilen akışkan, gaz içindeki su buharını tutuyor. Sonra buhardan saflaştırılmış gaz da üretim hatlarına gönderiliyor. Bütün bu işler çok kısa zaman dilimlerinde gerçekleşiyor (http://hackhell.org/).

Bir doğal gaz arıtma tesisi Şekil 2'de görülmektedir. Doğal gaz sıvılaştırma ve gazlaştırma tesislerinin tasarımı ve inşası ile ilgili faaliyetler ÇED yönetmeliğinin (2014) Ek 1 listesinde yer almakta, dolayısıyla ÇED sürecine tabidir.



Şekil 2. Doğal gaz sıvılaştırma tesisi (http://www.nukte.org/).

Yapılan sondajlar sonucunda belirlenen doğal gaz önce geçici bir alanda depolanıp boru hatları ile binlerce kilometre taşınarak rafinerilere aktarılır. Doğal gazın taşınması gibi rafine edilmesi de kapsamlı çalışmalar gerektirmektedir. Örneğin boru hatlarının güzergâh seçimi ve rafine edilen doğal gazın depolanması için siloların tasarımına ve inşasına ihtiyaç duyulabilir. Ayrıca sıvılaştırılmış gazın taşınması için gelişmiş büyük tankerlere ihtiyaç vardır (Şekil 3).

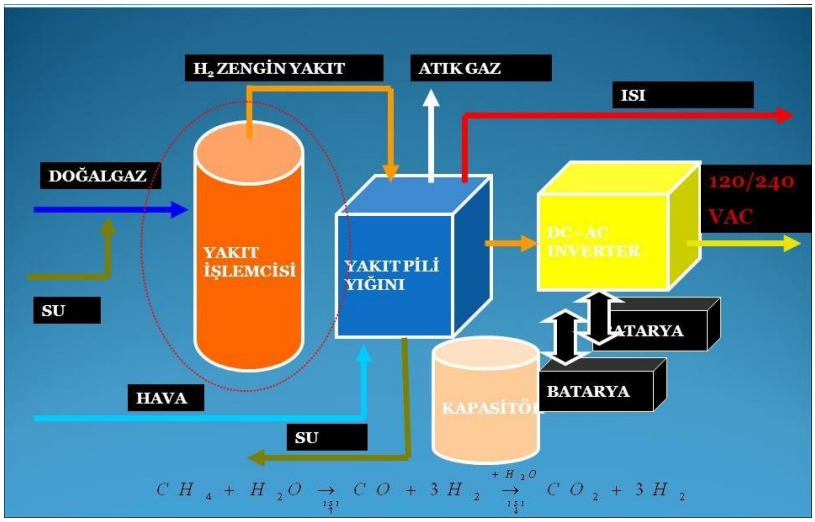


Şekil 3. Sıvılaşmış doğal gaz (LNG) tankeri (http://www.nukte.org/).

KULLANIM ALANLARI

Motor yakıtı olarak: Dünya otomotiv yakıt pazarı dağılımı % 76 benzin, % 22 motorin, % 2- 4 alternatif yakıtlardır. Alternatif yakıtların yarısını LPG oluşturmaktadır. LPG'nin ucuzluğu, temiz yanması, kartel yağının seyrelmemesi ve güvenli kullanımı dikkat çekmektedir.

Doğal gazdan hidrojen ve elektrik enerjileri de üretilmektedir. Doğal gazdan hidrojen ve elektrik enerjisinin üretildiği bir tesisin yapay işleyişi Şekil 4' de görülmektedir. Yapay tesiste doğal gaz yakıt işlemcisinde H_2'ce zenginleştirilip yakıt pili yığınına gönderilir. Yakıt pilinde atık gaz, ısı ve elektrik enerjilerinin dönüşümleri sağlanır. Üretilen elektrik doğrudan ya da bataryalarda depolanıp kullanılabilir.



Şekil 4. Doğal gazdan hidrojen ve elektrik üretimi (http://slideplayer.biz.tr/; (Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği İkiz Baykara'nın sunumundan).

Gübre olarak: Hidrojen, yakıt olarak kullanıldığı gibi amonyak ve metanol üretiminde hammadde olarak da kullanılmaktadır. Örneğin amonyumlu fosfat ve amonyum sülfat, amonyakla elde edilen gübre türleridir.

Isınma amaçlı olarak: Konutlarda doğal gaz kullanımı beraberinde birçok avantaj sağlamıştır. Doğal gazın kolay kullanım, taşıma rahatlığı, bedelin tüketimden önce ya da sonra ödenmesi, hava kirliliğinin azalması gibi olumlu katkıları bulunmaktadır (MTA, 1977).

Doğal gazın diğer kullanım alanları: Doğal gaz sanayinin her kolunda; seramik yapımında, beyaz eşya boyanmasında, metallerin kesilmesinde, ağır sanayide, yapay lastik, mürekkep ve yapıştırıcı sanayilerinde, antifriz ve film şeridi yapımında bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

ÇEVRE SORUNLARI VE ÇÖZÜM YOLLARI

Petrolün üretimi, taşınması ve kullanılması evrelerinde meydana gelen kazalar sonucu, çevrede önemli ölçüde petrol kirliliği oluşabilir. Denizde ve karada görülen petrol kirliliği, ortamdaki canlı yaşamın tehlikeye girmesine, bazı türlerin yok olmasına, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmesine yol açmaktadır. Petrolün yapısında bulunan uçucu bileşenlerin buharlaşması ile denizde ve karada yangın tehlikesi ortaya çıkabilir. Bu da doğanın ekolojik dengesini bozabilir.

Doğal gazın aranması sırasında yapılan sondajlar, ham doğal gazın sondaj kuyularından rafinerilere taşınması, rafinerilerdeki ayrıştırma çalışmaları ve doğal gazın kullanımı birbirini izleyen çalışmalar gerektirmekte, bu çalışmalar da önemli çevresel sorunlara yol açabilir. Bu sorunların bazıları aşağıda sunulmuştur (Gültekin ve Örgün, 1993; Cepel, 2003; Yılmaz 2009 ve içindeki kaynaklar):

Ülkemizde doğal gazın arama ve üretim faaliyetlerine bağlı olarak (özellikle sondaj aşamasında) ortaya çıkan sorunlardan en önemlisi üretim aşamasında doğal gazla birlikte üretilen tuzlu suyun arıtma işlemlerinden sonra uzaklaştırılmasıdır. Bu şekilde, yüzeye, sığ kuyulara ya da yeraltına tahliye edilen üretim suları, toprağa ve yeraltı sularına zarar vermektedir.

Doğalgaz sıvılaştırma ve gazlaştırma tesisleri ÇED uygulamalarında Ek 1 listesinde yer almaktadır (ÇED Yönetmeliği, 2014). Yani bu tesislerin de yoğun çevresel etkileri olduğu dikkate alınmaktadır.

Ayrıca doğal gazın **boru hatları taşımacılığı** ile büyük mesafelerde taşınması gerekebilir. Böyle bir durumda boru hatları güzergâhı boyunca ayrıntılı ÇED çalışmalarının yapılmasında yarar vardır.

1 m^3 sıvılaştırılmış doğal gazın atmosferik koşullar altında 600 m^3 gaza eşdeğer olduğu dikkate alınırsa, deniz yoluyla bir seferde çok büyük miktarda gaz taşınmasının olanaklı olduğu ortaya çıkar. Ancak doğal gaz taşınmasında bugün için tercih edilen yöntem boru hattı taşımacılığıdır. Bu amaçla bazı büyük yatakların doğal gazı özellikle Sibirya'da bulunanlar borularla Avrupa'nın çeşitli ülkelerine ulaştırılmış, ülkemize de, Bağımsız Devletler Topluluğu'ndan 18 Eylül 1984 tarihinde yapılan Doğal Gaz Çerçeve Anlaşmasıyla 25 yıl süre ile yıllık 6 milyar m^3 doğal gaz alımı gerçekleştirilmiştir. Rusya'dan alınan doğal gazın önümüzdeki yıllarda 8 milyar m^3'e çıkarılması ve Cezayir ile Libya'dan da 2 milyar m^3'e eşdeğer doğal gaz alımı için çalışmalar yapılmaktadır.

Bir fosil enerji kaynağı olan doğal gaz, kül ve cüruf bırakmadan yanan, depolanma sorunu olmayan, yanma sonucunda havayı kirleten kükürt dioksit ve karbon dioksit gazlarını az oranda çıkaran bir enerji kaynağıdır. Geleneksel katı ve sıvı yakıtların tümü yanma sırasında atmosfere çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri bulunan bazı gazlar yayarken, doğal gazın çevre üzerinde kirletici etkileri ise sınırlıdır.

Fosil yakıtlar içerisinde özellikle kullanım evresinde çevreye en az zarar veren yakıt doğal gazdır. Çevreyi kirleten üç ana faktör doğal gaz içerisinde bulunmamaktadır. Bunlardan **birinci faktör** kükürt dioksittir. Bu madde duman gazındaki ve havadaki nemle, sülfürik aside dönüşür. Asit yağmurları ile çevreyi aşındırır ve tahrip eder. Böylesine önemli bir kirletici doğal gazda yoktur. **İkinci faktör**, uçucu partiküllerdir. Bu katı parçacıklar, insan sağlığı açısından son derece zararlıdır. **Üçüncü faktör** ise yanmamış gazlardır. Bunlar içinde CO belirli dozlara ulaştığında öldürücü etkisi olan son derece zararlı bir maddedir. Bu her üç zararlı madde, doğal gazın yanma ürünlerinde bulunmamaktadır.

Doğal gazın yanma ürünleri olarak ortaya çıkan ve çevreye zarar veren ana bileşen, **azot oksitlerdir (NO_x).** Bu gazlar fiziksel rahatsızlıklara, gözlerde yanmaya ve yüksek dozda bulunduğunda boğulma hissine neden olur (Çepel, 2003). Yanma ürünleri içinde NO_x oluşumunun ana nedeni yanma sıcaklığının yüksek olmasıdır. Doğalgaz kullanarak havaya kirlilik yayan yerleşik kaynakların bacalarına filtre takmak, fabrikaların yanında kurulan sülfürik asit ünitesine vermek, yani bu gazların bacalardan atmosfere geçişine engel olmak gerekmektedir.

Doğal gazın en önemli sorunlarından biri, diğer yakıtlarda da olduğu gibi belirli oranlarda hava ile karışması halinde patlayıcı olmasıdır. Havada doğal gaz tek başına çok az ya da çok fazla olduğunda bir sorun olmaz. Ancak % 5-15 dolayında bir karışım söz konusu olduğunda tehlike vardır. Bu nedenle gaz sızıntılarının olmaması, olası kaçakların hemen belirlenmesi ve gaz sızabilecek yerlerin iyi havalandırılmış olması emniyet açısından çok önemlidir.

Doğal gaz renksiz ve kokusuz bir gazdır. Kaçak olması halinde insanların bu gazın ortamda var olduğunu anlaması olanaksızdır. Bunun için şehirlere doğal gaz veren şirketler, şehir şebekelerine vermeden önce doğal gaza ek olarak koku veren kimyasallar eklenir.

ÇED uygulamalarında doğal gaz sıvılaştırma ve gazlaştırma tesisleri, doğal gazın 40 km'den daha uzak mesafelere 600 mm çaplı borularla taşınması, 500.000 m^3/gün doğal gazın çıkarılması, 50.000 m^3 ve üzeri doğal gaz depolama tesisleri, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 Listesinde yer almaktadır. Yani doğal gazın da üretimi, ayrıştırılması ve depolanmasına dair çeşitli süreçlerde çevre üzerinde kapsamlı olumsuz etkileri olduğu kabul edilmektedir. Bu tür faaliyetler için kapsamlı ÇED Raporu'nun hazırlanması zorunluluğu vardır. Doğal gazın aranması ve çıkarılmasına dair faaliyetler ise EK-2 Listesinde yer almaktadır. Bu faaliyetleri sürdürmek için Proje Tanıtım Formatı'nın hazırlanması gerekmektedir.

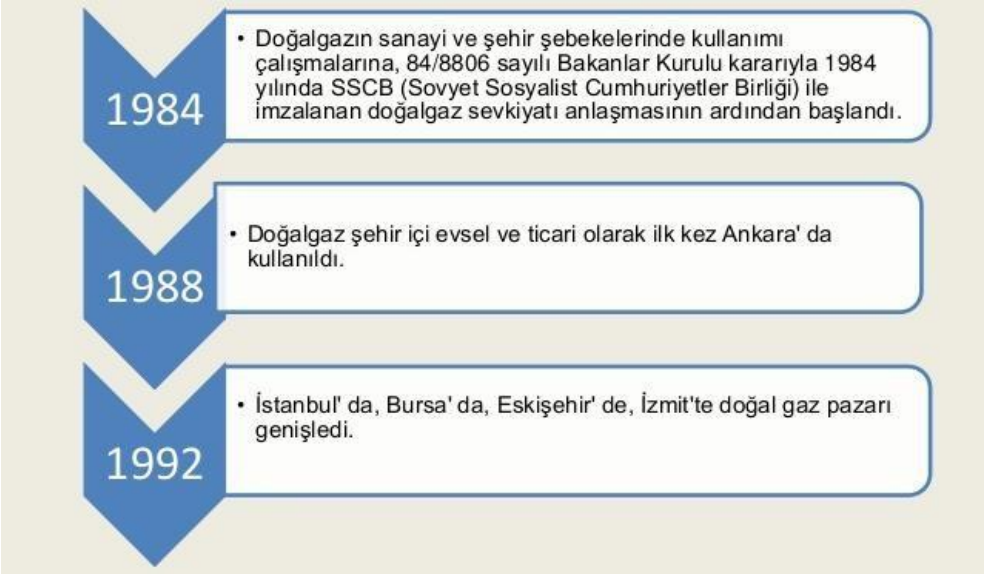
SONUÇLAR

Enerji konusunda bir zaman sonra Dünya'nın mutlaka bir krizle karşılaşacağına ilişkin varsayımlar, geçmişte olduğu gibi günümüzde de göz önüne alınmaktadır. Bilim adamları, özellikle, çağdaş Dünya'nın gelişmesinde katkısı olan tükenebilir kaynakların nasıl olsa bir gün tümüyle bitebileceğini düşünmektedirler. Petrol, kömür, doğalgaz, metalik madenler ve sanayi hammaddeleri yeraltından çıkarılan doğal kaynaklardır. Bunlar, milyonlarca yıllık bir oluşumun ürünüdürler (Yılmaz, 2009).

Oysa gelişen Dünya'da, nüfus artışına koşut olarak gereksinimler de artmakta, bilimsel çalışmaların yanı sıra daha çok teknoloji üretilmekte ve dolayısıyla giderek daha çok hammadde kullanılmaktadır. Böylece, daha çok petrol, kömür, doğalgaz ve diğer madenler tüketilmektedir. Milyonlarca yılda oluşan fosil yakıtların 100 yıl gibi kısa bir sürede biteceği kabul edilmektedir. Bu yakıtların kullanımı ile ortaya çıkacak kirliliğin Dünya'daki atmosferi ve ekosistemleri nasıl etkileyeceği kestirilememektedir. Bilim adamları, açıkça ifade etmek gerekirse gelecek için pek iyimser değildir.

Tükenebilir enerji kaynaklarının içinde, yakın bir zamanda kıtlığı görülecek olanlardan ilki fosil yakıtlar olacaktır. Bu durumdan, tüm insanlık etkilenecektir.

Ülkemiz açısından doğal gaz özelinde bir değerlendirme yapmakta yarar vardır. Doğal gazın sanayide geniş çapta enerji kaynağı olarak kullanılması ve bu amaçla üretilmesi 1975'lerde başlayan petrol krizinden sonra olmuştur (TPAO 1989). Doğal gazın ülkemizde kullanımı ile ilgili ilk evreler Şekil 5' de görülmektedir. Buna göre doğal gaz pazarının 1990' lı yıllarda hızla genişlediği söylenebilir.



Şekil, 5. Türkiye' de doğal gazın ilk evrelerdeki kısa tarihi (http://www.slideshare.net/oncel/ugur-gonulalan).

Ne var ki, ülkemizde doğal gazın üretimi son derece sınırlıdır. Çizelge 2' de ülkemizde üretilen doğal gazın illere göre dağılımı görülmektedir. Çizelge 2 incelendiğinde en çok doğalgaz çıkartılan ilin 279,96 Sm^3 ile Tekirdağ olduğu görülür. Ülkemizde doğal gaz üretimi yapılan diğer iller ise Edirne, Kırklareli, İstanbul, Adıyaman, Mardin ve Düzce' dir. Ancak bu illerde üretilen doğal gaz söz konusu illerin gereksinimlerini de karşılayamamaktadır.

Çizelge 2. Ülkemizde doğal gaz üretimi yapılan iller ve üretim miktarları (milyon Sm^3) (http://dogalgazkombiservisi.com/).

Adıyaman	0,31
Mardin	9,55
Edirne	12,18
İstanbul	41,99
Düzce	64,31
Kırklareli	71,02
Tekirdağ	279,96
Genel Toplam	479,39

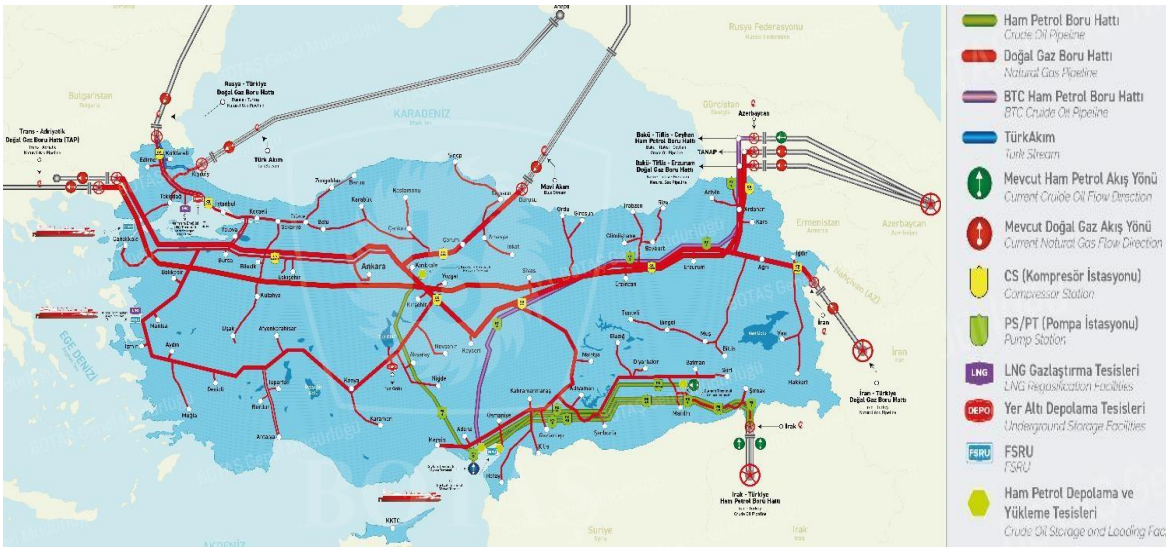
Ancak, son dönemlerde Karadeniz'de yapılan çalışmalarda önemli doğal gaz yataklarının keşif edildiği bilinmektedir. Bu yatakların üretime ve kullanıma açılması halinde, ülkemizin dış piyasalara enerji bağımlılığı büyük ölçüde ortadan kalkabilir.

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nın (TPAO) tespitlerine göre, geleceğin enerji maddesi olarak da ifade edilen gaz hidrat yataklarının yanı sıra petrol ve doğal gaz yatakları, Karadeniz'in yanı sıra Doğu Akdeniz'de de bulunmaktadır. Aynı raporlarda bir birim gaz hidratın 64 birim doğalgaza eşit bir enerji içeriğine sahip olduğu çeşitli hesaplamalarda ifade edilmektedir [https://ortakakil.org.tr/sektoreloncelikler/dogu-akdeniz-ve-karadenizdeki-dogalgaz-ve-petrol-aramalari-ve-bu-alandaki-belirsizliklersektorel-oncelikler-masasi/(03/10/2021)].

Dolayısıyla, ülkemizin her iki alandaki haklarının sahiplenilmesi önemlidir. Ayrıca arama ve sondaj sonrası açık denizde söz konusu kaynakların üretimi, taşınması ve işletilmesi için şimdiden gerekli hazırlığın yapılması zorunlu görülmektedir.

Ayrıca, Türkiye doğal gazı esas olarak Rusya ve İran'dan boru hatlarıyla, Cezayir ve Nijerya'dan sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olarak deniz yoluyla satın almaktadır. Azerbaycan ve Türkmenistan ile doğal gaz alımı için anlaşmalar da yapılmıştır (www.dogalgazbilgisi.com). Yapılan sözleşmeler ve anlaşmalar gözetildiğinde Türkiye'nin gelecekte gerçekten bir enerji köprüsü olması mümkündür. Botaş doğal gaz boru hattı sisteminin günümüzdeki durumu (Şekil 6) sevindiricidir. Sunulan haritada, doğalgaz boru hatlarının yanı sıra petrol boru hatları da görülmektedir.

Ne var ki, enerji kaynaklarının kimi ülkeler tarafından stratejik bir silah olarak kullanılabileceği göz ardı edilmemelidir. Geçmişte yaşanmış olan deneyimler ders vericidir. Dolayısıyla günümüzdeki coşkuya kapılarak tümüyle doğal gaza yönelmek yerine, ülkemizin kaynaklarını da gözeten bir planlama, yani B planı acilen oluşturulmalıdır.



Şekil 6. Botaş doğal gaz boru hattı sistemi, 2020
(https://www.botas.gov.tr/Sayfa/dogal-gaz-ve-petrol-boru-hatlari-haritasi/168#gallery).

Genel bir hususu vurgulamakta yarar vardır. Doğal gaz da nihayet tükenebilir bir fosil yakıttır. Dolayısıyla alternatif enerji kaynaklarının bulunmasına yönelik bilimsel çalışmalar ve yeni politikalar üretilemezse, gelecek kuşakların karşılaşabileceği korkunç durumu göz önüne getirmek bile insanı ürkütmektedir. Fosil yakıtların yaratacağı sera etkisi ve iklim değişikliği gibi sorunlar nedeniyle, petrolün de önemini yitireceği konusu ayrı bir tartışma konusudur.

KAYNAKLAR

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
Çepel, N., 2003, Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara, 183 s.
DPT, 2000, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Petrol ve Doğalgaz Çalışma Grubu Raporu, Ankara. Gültekin, A.H. ve Örgün, Y.,1993, Doğalgaz ve Çevre: Çevre Dergisi, 9, 37-41

http://dogalgazkombiservisi.com
http://hackhell.org/ http://slideplayer.biz.tr/
http://www.nukte.org
http://www.slideshare.net/oncel/ugur-
gonulalan http://www.yerbilimleri.gen.tr/
https://ortakakil.org.tr/sektorel-oncelikler/dogu-akdeniz-ve-karadenizdeki-dogalgaz-ve-petrolaramalari-ve-bu-alandaki-belirsizlikler-sektorel-oncelikler-masasi/(03/10/2021).
https://seyler.eksisozluk.com/dogal-gaz-hakkinda-genel-bir-fikir-sahibi-olmanizi-saglayacak-birtakimbilgiler (03/02/2023).
https://www.botas.gov.tr/Sayfa/dogal-gaz-ve-petrol-boru-hatlari-haritasi/168#gallery (2020).

Kalkan, İ., 1989, Petrol: Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Dairesi Başkanlığı, Ankara, 23 s.
MTA, 1977, Maden Yatakları Oluşumunun Jeolojik Evrimi ve Pratik Önemi, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
TPAO, 1989, Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı Doğal Gaz Çalışmaları Raporu, Ankara.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

4. 4, BİYOGAZ

GENEL BİLGİLER

Rivayetler, biyogazın MÖ 10. yy'da banyo suyu ısıtmak amacıyla Asurlular tarafından kullanıldığı yönündedir. Yine 16. yy'da Perslerin (İranlılar) biyogaz enerjisinden yararlandıkları belirtilmektedir (http://www.normenerji.com.tr/).

Teknik olarak organik maddenin havasız ortamda çürütülmesi sonucunda yanabilen gazın üretileceğini ilk kez 1630 yılında Jan Baptista von Helmont, ortaya koymuştur. 1667 yılında da Shirley aynı bulguları ortaya atmıştır. İlk biyogaz tesisi 1859 yılında Hindistan'da bir cüzzamlılar kolonisinde kurulmuştur. 1895 yılında anaerobik fermentasyon İngiltere'de kullanılmaya başlanmıştır. 1930'lu yıllarda mikrobiyolojik çalışmalardaki gelişmeler sonucunda Buswell ve arkadaşları metan bakterilerini tanımlamışlar ve biyogaz üretiminin bu bakterilerce gerçekleştirildiğini belirlemişlerdir.

Avrupa'daki anearobik fermentasyon uygulamaları genellikle çiftlik, endüstri ve kanalizasyon atıklarının uygulamaları şeklinde yürütülmüştür. Genellikle II. Dünya savaşından sonra bu alandaki çalışmalar hız kazanmıştır (http://ziraat.uludag.edu.tr/).

Enerji rezervlerinin tükenmeye yüz tuttuğu ve en pahalı üretim girdilerinden birinin de enerji olduğu günümüz koşullarında, yenilebilir enerji kaynaklarının araştırılması gerekmektedir. Bu enerji kaynakları, enerji sıkıntısının aşılmasında bilinen enerji kaynaklarına alternatif olarak görülmektedir. Alternatif enerji kaynaklarından biri de biyogaz enerjisidir. Bu enerji kaynağı organik atıkların değerlendirilmesinde oldukça büyük bir önem taşımaktadır.

Dünya'da, son yıllarda gerçekleşen hızla sanayileşme çabaları sonucunda baş gösteren enerji gereksinimi, bir gün fosil yakıt rezervlerinin biteceği kuşkusuyla insanları daha başka enerji türleri aramaya zorlamıştır. Bu amaçla gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, alternatif enerji kaynaklarını arayıp geliştirerek kullanmaya başlamışlardır. Tesis ve üretim teknolojisinin basitliği, enerji potansiyelinin büyüklüğü, uygulama alanlarının genişliği, kullanma kolaylığı gibi nedenlerle biyogaz, üzerinde önemle durulması gereken bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Biyogaz, başlıca bitki ve hayvan atıklarından üretilmektedir. Hayvansal atıklar sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların (Şekil 1) dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar olup, özellikle kırsal bölgelerde önerilen biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. Bitkisel artıklar ise ince kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan artıklardır. Bitkisel ve hayvansal artıklar organik artık maddelerin oksijensiz bir ortamda bozunması sonucu ortaya çıkan yanıcı bir gaz karışımıdır.



Şekil, 1. Çiftliklerde yetiştirilen büyükbaş -küçükbaş hayvanlar ve kümes hayvanları biyogaz üretimi için önemli bir kaynak olarak değerlendirilebilir (http://ziraat.uludag.edu.tr/).

BİYOGAZIN ÖZELLİKLERİ

Biyoyakıtlar; biyodizel, biyoetanol, biyogaz olarak gruplandırılmaktadır. Özellikle 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanunu'nda yerli hammaddelerden elde edilmek şartıyla biyoyakıtlara Özel Tüketim Vergisi

(ÖTV) muafiyeti tanınmasından sonra gelişim göstermişlerdir. Biyoyakıtların genel tanımları aşağıda sunulmuştur (Sav, 2022):

Biyodizel, çok soğuk bölgelerin dışında dizelin kullanıldığı her alanda kullanılabilecek bir yakıttır. Ulaştırma sektöründe dizel yakıt yerine kullanıldığı gibi, konut ve sanayi sektörlerinde de fuel oil yerine kullanılabilmektedir.

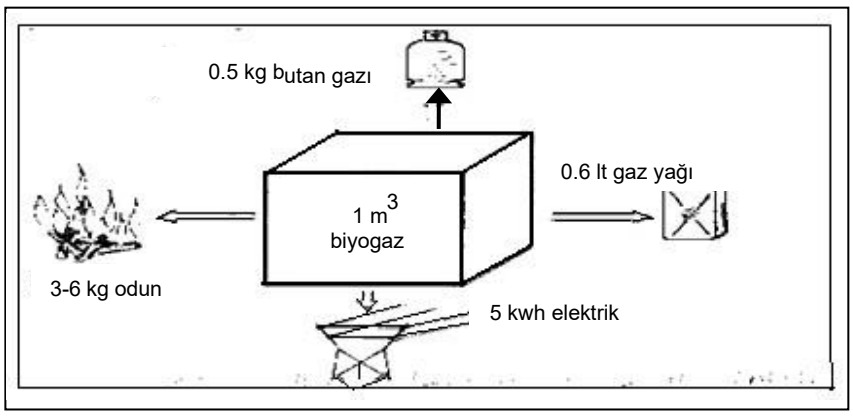
Biyoetanol, hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan alternatif bir yakıttır. Kanserojen maddelerin çevreci alternatifidir. Egzoz emisyonlarını azaltır. Biyoetanol üretimi için en uygun hammaddeler mısır ve buğdaydır. 1 litre biyoetanol için 2,5 kg buğday kullanılması gerekir. Türkiye şeker kamışına sahip değildir ama şeker pancarından ve atıklarından etanol üretme kapasitesine sahiptir. Ülkenin en önemli biyoetanol fabrikası, Konya Şeker A.Ş. olup, 2007 yılında açılmıştır.

Biyogaz üretimi olarak arıtma tesislerinde birçok belediye bünyesinde atık su arıtma ve biyolojik arıtma gibi tesisler bulunmaktadır. Çöplerin düzenli depolanması ile Ankara-Mamak'ta ve Sincan'da, İstanbul-Eyüp-Odayeri, Hasdal'da ve Adana, Bursa, İzmit, Mersin, Tarsus gibi birçok ilde özel sektör veya Belediyeler bünyesinde elektrik enerjisi üreten santraller kurulmuştur.

Önce biyogazın eşdeğeri olan enerjinin tanımlanmasında ve diğer enerji türleri ile karşılaştırılmasında yarar vardır.

1 m^3 biyogazın eşdeğerleri

Bir metreküp biyogazın enerji olarak eşdeğeri, 4700- 5500 kcal'dir.
Yani; 1 m^3 biyogaz, dört kişilik ailenin, bir günlük yemeğini pişirir.
1 m^3 biyogaz, 100 W lık bir lambayı altı saat yakar.
1 m^3 biyogaz, 1 beygir gücündeki motoru iki saat çalıştırır.
Ayrıca biyogazın değişik enerjilerle karşılaştırılması Şekil 2' de sunulmuştur.



Şekil 2. Biyogazın diğer enerji türleri ile karşılaştırılması (MTA, 1981).

İki inekten günde elde edilen biyogaz miktarı

Biyogazın bileşimi, ortam sıcaklığı, su miktarı, asitliği ve artıkların türü gibi etkenlerle değişmektedir. Biyogazın ayrışması için, sıcaklık önemlidir. Sıcaklık ortalaması 25–35 ^oC olmalıdır. İki ineği 500 kg ve elde edilen günlük gübreyi 25 kg kabul edersek;

35 ^oC de 1 m^3,

30 ^{o}C de 0.9 m^3,
25 ^{o}C de 0.8 m^3,
20 ^{o}C de 0.5 m^3,
15 ^{o}C de 0.25 m^3, biyogaz elde edilebilir.

Biyogazın bünyesinde bulunan metan oksijenle yanmasından CO_2, H_2O ve bol oranda da ısı meydana gelir.

$$CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\text{Yanma}} CO_2 + H_2O + \text{Enerji}$$

Biyogazın ocakta tam yanmasını sağlamak için birim hacim metana, 2 kat birim hacim oksijene gereksinim vardır. Havadaki oksijen oranı yaklaşık 1/5 oranında olduğuna göre birim hacim metana 10 birim hacim hava gerektirmektedir.

Biyogaz % 60-70 oranında metan içerdiğine göre biyogazın bir birim hacminin tam olarak yanması için 6-7 birim hacim havaya gereksinme vardır. Bu koşulların tam olarak uygulanması halinde maksimum ısı açığa çıkar. Biyogazın yakıt olarak kullanılmasında en iyi sonuca varmak için tam yanmayı sağlayacak biyogaz-hava oranına erişilmelidir.

Tam yanma esnasında biyogazın alevi güçlüdür. Renk olarak da soluk mavidir. Eğer yanmada ve renkte dalgalanma izleniyorsa tam olmayan yanma vardır. Ya da alev kısa sarı ve düzensiz ise o halde yetersiz biyogaz ve çok fazla hava vardır. Bu durumdaki yanma, düşük ısıda olur ve sıkça sönme meydana gelir.

Biyogazın yanı sıra yanıcı diğer bazı gazların özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir. Bu çizelgeye de dikkat edilirse biyogazın %60 metan, % 40 CO_2 bileşiminde ve yanması için gereksinim duyulan havanın hacminin düşük düzeyde olduğu görülür. Ancak genelde biyogaz, yaklaşık olarak % 40- 70 metan (CH_4), % 25-60 karbon dioksit (CO_2) ve % 2 kadar hidrojen (H_2), hidrojen sülfür (H_2S) ve Karbon monoksit (CO) gibi diğer gazların karışımından oluşur (Altın, 2003). Enerji üretiminde kullanılan gaz, metandır.

Çizelge 1. Yanıcı gazların bazı özellikleri (Bilgin, 2003).

Gazlar ve sembolleri	Bileşim (%)	Isıl değeri Kw-h/m^3	Yoğunluk kg/m^3	Yanma Hızı cm/s	Hava gereksinimi m^3
Metan (CH_4)	100	9,94	0.554	43	9.5
Propan (C_3H_{10})	100	25.96	1.560	57	23.8
Bütan (C_4H_8)	100	34.02	2.077	45	30.9
Doğalgaz CH_4 H_2	 65 35	7.52	0.384	60	70
Sıvı Gazlar H_2 CH_4 N_2	 50 26 24	4.07	0.411	82	3.7
Biyogaz CH_4 CO_2	 60 40	5.96	0.940	40	5.7

Biyogaz, büyük miktarlarda bulunan ana gazlar ve daha az miktarlardaki eser gazlardan oluşur. Biyogazın bileşimi Çizelge 2' de sunulmuştur.

Çizelge 2. Biyogaz'ın bileşimi

Bileşikler	Yüzde (%)
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0.1-1.0
Süfitler, disülfitler, merkaptanlar	0-1.0
Amonyak	0.1-1.0
Hidrojen	0-0.2
Karbon monoksit	0-0.2
Eser elementler	0.01-0.6

Ana gazlar**,** katı atık kapsamındaki organik maddelerin ayrışması ile oluşurlar. Eser gazlar, çok düşük miktarlarda bile zehirli olup halk sağlığı açısından tehlikelidirler. Bu gazların temel özellikleri ve biyogazı etkileyen etkenler aşağıda sunulmuştur (Doğan, 2000, Saraçoğlu, 2000, TÇV, 2006; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Ana gazlar: Deponi alanlarındaki başlıca gazlar, amonyak (NH_3), karbondioksit (CO_2) karbon monoksit (CO), hidrojen (H_2), hidrojen sülfür (H_2S), metan (CH_4), azot (N_2) ve oksijen (O_2)'dir. Çizelge 1'de deponi alanında oluşan gazların hacimsel dağılımları verilmiştir. Metan ve karbondioksit biyolojik olarak ayrışabilen katı atıkların anaerobik olarak ayrışması sonucu açığa çıkan ana gazlardır. Havadaki metan oranı, % 5-15 dolayında patlayıcı özellikler gösterir.

Metan, bu kritik düzeylere ulaştığı zaman deponi alanında sınırlı miktardaki O_2 nedeniyle patlama yönüyle daha az tehlikelidir. Sızıntı suyunda belli derişimlerde biyogaz bulunabilir. Bunun nedeni, deponi alanında sızıntı suyunun üzerindeki boşluklarda bulunan ve sızıntı suyu ile temas halinde olan gazın derişimine bağlıdır.

Eser gazlar: İngiltere'de üç farklı deponi sahasından alınan gaz örnekleri ile yapılan çalışmalarda biyogazın (depo gazı) bileşiminde 154 ayrı bileşik bulunmuştur. Bunların içinden 116 tanesi organik bileşik olarak belirlenmiş ve uçucu organik maddeler (UOM) olarak sınıflandırılmıştır. Eser haldeki gazların sızıntı suyunda görülmesinin başlıca nedeni bu gazların sızıntı suyu ile temas halinde olmasıdır.

Bu gazların içinde önemli miktarlarda uçucu organik maddelere rastlanmasının nedeni ise önemli miktarlarda UOM içeren endüstriyel ve ticari atıkların deponi sahasına taşınmasıdır. Zararlı atık dökümünün yasak olduğu deponi alanlarında UOM derişimleri oldukça düşüktür.

Biyogaz tesislerinde kullanılabilecek gübreler ve özellikleri

Genel olarak tarımsal işletmelerde oluşan aşağıdaki artık maddeler biyogaz üretiminde kullanılabilmektedir.

1. Sığır, koyun, keçi ve kanatlı hayvan gübreleri, yem artıkları
2. Yeşil bitkiler, saman ve diğer bitki atıkları

3. Tarıma dayalı endüstrilerde oluşan atıklar ve atık su.

Biyogaz, genellikle hayvancılık artıklarıyla (gübre+idrar) bitkisel artıkların karıştırılmasıyla elde edilen gereçlerden elde edilmektedir. Bunun nedeni, herhangi bir sorunla karşılaşılmadan mayalanmanın gerçekleşmesine olanak sağlamaktır. Hayvan gübresinin yapısı ve miktarı, birinci derecede tüketilen yemin miktarına ve sindirim derecesine, yemden yararlanmaya ve vücut ağırlığına göre değişmektedir.

Gübreyle organik maddelerin % 40-80'i atılmaktadır. Selülozca zengin yemlemelerde ise bu oran sığırlar için 1/3 olarak gözlenmektedir. Atılan gübre miktarı çok çeşitli faktörlerin etkisinde olduğundan sığırlarda hayvan başına günde 8-40 kg arasında değişmektedir.

Eğer biyogaz birimleri gübrenin değerlendirilmesine dayanıyorsa, günlük gübre miktarının bilinmesi büyük bir öneme sahiptir. Hayvan türlerine göre canlı ağırlığına bağlı gübre verimi Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgede yer alan **kurum** eksik yanmadan meydana gelen ince karbon tanecikleridir.

Biyogazın bileşimini etkileyen faktörler

Ev artıklarının çöplüklerde toplanması ile bu çöp birikimlerinden zamanla metan gazı çıkmaya başlar. Bu gaz için Almanca dilinde depolama gazı anlamına gelen deponi gazı terimi kullanılır. Bu gaz, çöp birikintilerinin yakınında yaşayan insan, hayvan ve bitkilerin yaşamında kısıtlayıcı ve olumsuz bir rol oynar.

Çizelge 3. Hayvan türlerine göre canlı ağırlığına bağlı olarak gübre verimi.

Türü	Canlı ağırlığı (kg)	Canlı ağırlığın %'sinde		Gübrede (%)	
		Gübre	İdrar	Kurum	Organ
Sığır	135-800	5	4-5	16	13
Koyun	30-75	2	3	30	20
Keçi	30-75	2	3	30	20
Tavuk	1,5-2	4,5		25	17
İnsan	50-80	1	2	20	15

Oluşan gazın bileşimi, deponi alanındaki katı atıkların bileşimine bağlı olarak değişir. Çizelge 4'de bazı önemli gereçler için gaz bileşimleri görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi gazın bileşimi, ayrıştırılan maddenin doğrudan bir fonksiyonudur.

Çizelge 4. Bazı gereçlerdeki CO_2 ve CH_4 oranları

Gereç	Üretilen CO_2 + CH_4 (l/kg ayrışmış madde *100)	CH_4 %	CO_2 %
Selüloz	8.29	50	50
Protein	9.88	51.5	48.5
Yağ	14.30	71.4	28.6

Çevresel koşullar da gazın bileşiminde son derece etkilidir. Deponi alanının gereçlerindeki heterojen yapı dolayısıyla deponi alanı içinde bazı yerlerde anaerobik ayrışmanın asit fazı oluşurken bazı yerlerde ise metan fazı oluşabilir. Aerobik ayrışma ile anaerobik ayrışmanın asit fazı boyunca CO_2 miktarı artabilir. Ancak, metan miktarı artmaz. Sonuçta oluşan gazın CO_2 içeriği,

$$C_a H_b O_c N_d\ (4a\text{-}b\text{-}2c\text{-}3d) / 4H_2O \longrightarrow (4a\text{-}b\text{-}2c\text{-}3d) / 8CH_4 + (4a\text{-}b+2c+3d/8CO_2 + NH_3$$

Eşitliğinden tahmin edilen kuramsal CO_2 miktarından daha yüksek olacaktır.

Deponi alanındaki nem içeriği de gazın bileşimi açısından önemlidir. Nemin depo alanı içindeki hareketi sonucunda bir miktar CO_2 çözünebilir. CO_2'nin suda çözünürlüğü CH_4'ten fazla olduğu için CO_2'nin suda çözünmesi deponi gazı bileşimindeki CH_4 miktarının artmasına neden olur. Düşük metan derişiminin başlıca iki nedeni vardır. Birincisi ayrışma işleminin çok erken oluşması sonucu metan bakterilerinin olgunlaşıp gelişememesi ve işlevlerini tam olarak yerine getirememesidir. İkincisi ise ayrışma işleminin çok geç oluşması sonucu diğer organizma gruplarının etkin hale geçerek metan bakterilerinin etkinliklerini engellemesidir.

Gaz gelişimini etkileyen diğer faktörler nemli ya da kurak koşullar gibi olumsuz çevresel etkilerdir. Kurak koşullar organizmaların etkinliğini azaltır. Fakat mikroorganizmalar su içeriğine karşı daha duyarlı olduğundan kurak koşullar altında metanın oluşması için gereken mikrobiyal denge bozulabilir. Ayrıca deponi alanındaki kurak koşullar çevre havasının deponi alanı içine girişini teşvik ederek metan oluşumunu azaltıcı bir etki yaratır.

Bazı deponi alanlarında deponi gazı bileşiminde % 20 ve daha büyük oranlarda hidrojen gazına rastlanabilir. Dengeli olarak metan üreten biyolojik bir sistemde H_2 gazı CH_4'a dönüştüğünden, H_2 gazı son derece düşük derişimlerde (<% 1) bulunur. Birkaç ayı aşan dönemlerdeki düşük gaz düzeyleri biyolojik dengesizliğin bir göstergesidir. Bu durumda mikroorganizmalar, atıkları organik asit ve H_2'ye dönüştürürken metan bakterileri ise bu gereçleri CH_4 ve CO_2'ye çeviremezler. Deneyimlere göre, kurak koşullar ve alışılmadık çöp bileşimleri yüksek H_2 derişimlerinin başlıca nedeni olarak belirlenmiştir. Yüksek hidrojen düzeyleri asit fazından metan fazına geçişin bir göstergesidir.

Üçüncü aşamada ise asitleştirme aşamasının ürünleri, metan üreten ya da metan kökenli bakteriler yükseltgenerek ya da CO_2 ile indirgenerek metana dönüştürülürler. Bu aşamaya da biyogaz oluşumu aşaması denir. Metan, hidrokarbonlar ailesinin en basit üyesi olup az çözünen, anaerob koşullarda inert ve uçucu bir gazdır. Bu yüzden tepkime tankındaki sıvı ortamdan kolaylıkla kaçar ve tankın üst tarafında birikir.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Biyogaz, konutlardan ve hayvan çiftliklerinden kaynaklanan organik atıklardan elde edilmektedir. Bunun için mikroorganizmalar tarafından parçalanabilen her türlü organik gereç kullanılabilir. Bu organik gereçler, canlı hayvan atıkları, ekin artıkları ya da bitkisel yağ atıklarından konutlardaki organik atık toplama bidonlarına kadar çok değişik kaynaklardan sağlanmaktadır. Yani biyogazın kökeni organik malzemelerdir.

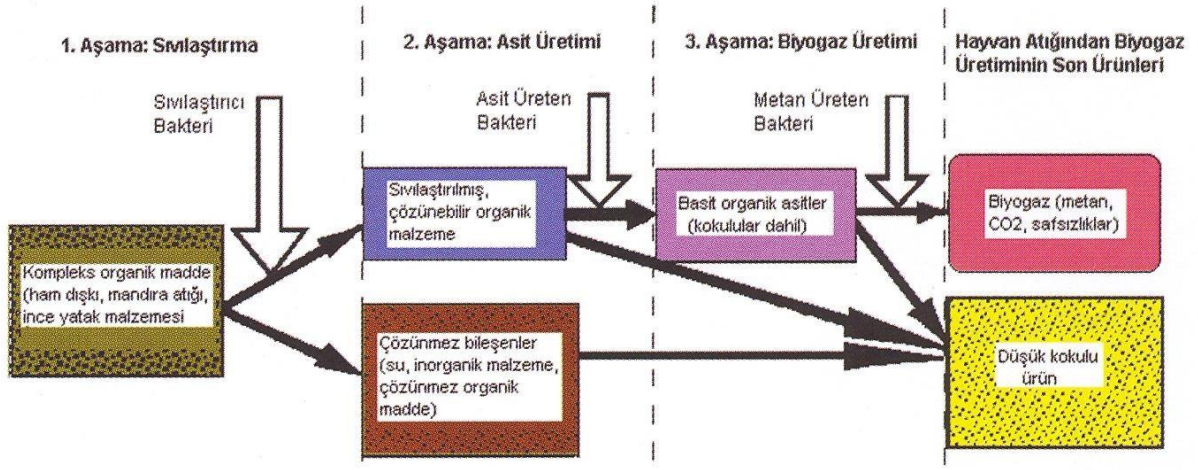
Biyogaz oluşumunu sağlayan denetimli havasız sindirim işlemi, Şekil 3'de görüldüğü gibi üç aşamada gerçekleşmektedir (Altın, 2003; Öztürk, 2007):

1. Aşamada, sıvılaştırıcı mikroorganizmaların salgıladıkları selular enzimler organik atıkları önce organik bir çamura dönüştürür. Bu çamur içinde yer alan bakteriler, karbon hidratları, yağlar ve proteinleri çözünür maddelere dönüştürürler ve çamur daha akışkan hale gelir. Hidroliz olarak tanımlanan bu aşamada sindirilmemiş gereçler düşük kokulu sıvılaşmış çıktıyı oluşturur.
2. Aşamada, çözünmüş organik gereçler asit üreten bakterilerin beslenmeleri sırasında şeker, aminoasitler, gliserin ve yağ asitleri gibi moleküllere dönüşür. Bu dönüşüm asit oluşturma aşaması olup yan ürün olarak CO_2 ve H_2 gazları ortaya çıkar.
3. Aşamada (Yani metan oluşturma aşamasında) ise, metan üreten bakterilerin yardımıyla aşağıdaki denklikte görüldüğü gibi metan gazı ve su buharı meydana gelir.

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

Sonuç olarak, kokuya yol açan uçucu asitler, yaklaşık % 60 metan, % 40 CO_2 ve az oranda su buharı, hidrojen sülfit ve amonyaktan oluşan biyogaz elde edilir. Bu işlemler sırasında ortaya çıkan

atıklar, sıvı çıktıyı temsil eder. Ayrıca atık çukurunda biriken gereçlere ise kompost denilir. Besin değeri yüksek olduğundan kompost, değerli organik bir gübredir. Bu da tarım alanlarına serilerek kullanılabilir.



Şekil 3. Biyogaz oluşumunun üç aşaması (Altın, 2003).

Biyogaz özü itibarıyla organik gereçlerin oksijensiz bir ortamda bozundurması ile üretilen bir gazdır. Oksijensiz bozundurmanın yararları dört başlıkta özetlenebilir:

1) Oksijensiz bozunma işlemi sonucu oldukça temiz bir gaz yakıt üretilmektedir. Bu daha önce kullanılan sıvı gaz, odun ve tezekten tasarruf anlamına geldiği gibi, daha az ağacın kesilmesi, daha az gübrenin yanarak yok olması demektir. Tesisten yeterli gaz elde edilirse aydınlatma ve motor çalıştırmada kullanılır.

2) Organik artıklar, içerdikleri azot ve fosfor miktarlarını, bozunup gazı alındıktan sonra niteliklerini aynen korudukları için, gübresel değerlerinden hiçbir şey kaybetmedikleri gibi, moleküler yapıları küçüldüğünden gübre değerleri de % 20'ye varan verim artışı sağlayabilmektedir.

3) Bozunma sırasında zararlı, asalak ve patojen bakterilerin üreme olasılığı ortadan kalkmakta, trahom gibi göz hastalıkları, sinek ve sivrisinek azalacağından diğer hastalıklar olmamaktadır. Bu şekilde, artıkların çevre sağlığını tehdit etmesi önlenmektedir.

4) Bozunma sonucu organik artıkların, su kirlenmesine neden olmaları ortadan kalkmaktadır.

Çizelge 5'te hayvan atıklarının mayalanma özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 5. Hayvancılık atıklarının mayalanma özellikleri

Materyal	Katman oluşumu	Mayalanma oluşumu	Önerilen süre (gün)	Sığır gübesi gaz üretimi
Sığır gübresi (idrar dahil)	Yok	Çok duraylı	60-80	% 100
Sığır gübresi (% 10 saman)	Var	Çok duraylı	60-100	% 120

Koyun/Keçi gübresi	Orta	Duraylı	80-100	% 70
Kanatlı hayvan gübresi	Orta	Duraylı değil	80	% 120

Hayvan atıkları (gübre + idrar + yem atıkları + yataklık ve altlık malzemesi) ile kurulan bir biyogaz birimi söz konusu artıkların kuru maddesi % 10'u geçmediği sürece sorunsuz olarak işletilebilir.

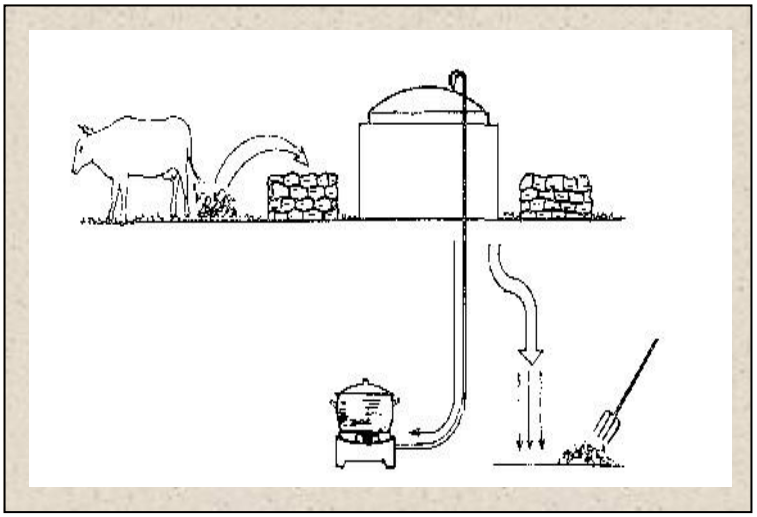
Tesiste sığır gübresi kullanılıyorsa önce ahırdan çıkan günlük gübre ölçüsü kadar su, gübre ile birlikte besleme ağzından içeriye konulur. Burada iyice karıştırılarak üretim kuyusuna verilir. Ancak kullandığımız gübrenin temiz olmasına dikkat etmeliyiz. Üretim kuyusu dolana kadar doldurma işlemine devam edilir. Tesis dolduktan sonra içerdeki sıcaklığa bağlı olarak 25-30 gün kadar beklenir. Gaz çıkmaya başlayınca borularla kullanılacak yerlere iletilir. Bundan sonra günlük beslenmelere geçilip sürekli olarak biyogazın elde edilmesine ulaşılır. Üretim kuyusuna günlük beslenmelere konulan gübre miktarı kadar gazı alınmış gübre uzaklaştırma (tahliye) bacasından dışarı çıkmış olur.

Üretim kuyusundaki gübre-su karışımını, kimi zaman karıştırmak gereklidir. Bu, tesis üzerindeki karıştırıcı ile sağlanır. Gazı alınmış gübre, değeri artmış olarak doğrudan toprağa verilebilir. Burada sözü edilen hayvan grupları içerisinde özellikle geviş getirenlerin gübresi, metan gazını oluşturacak bakterileri bünyesinde hazır bulundurmasından dolayı oldukça uygun olarak gözükmektedir.

Diğer taraftan geviş getirenlerin gaz üretimi kanatlılara göre daha azdır. Bunun nedeni ise sığır gübresindeki besin maddeleri çok fazla parçalanmakta ve ham selülozdan kaynaklanan ve mikrobiyolojik yolla çok zor parçalanan ligninin varlığıdır. İdrar ise çok organik madde içerdiğinden gaz üretimine çok büyük katkısı olmayıp sadece gerecin sulandırılmasında rol oynamaktadır.

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Esas itibarıyla gazlaştırma, organik gereçlerin termokimyasal yöntemlerle enerjiye dönüştürme işlemidir. Organik atıkların anaerobik arıtılması ise biyolojik bir süreçtir. Biyogaz tesisleri, başlangıçta organik artıkların oksijensiz bir ortamda ayrışması sonucu, yanıcı bir gaz üretmesini sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır (Şekil 4). Ancak günümüzde bir biyogaz tesisi sıvı atık taşıma donanımı, ısıtılmış bir havasız sindirici, gaz kullanım ve güvenlik donanımı, çıktı depolama ve taşıma donanımı gibi sistemlerden oluşur. Taşıma sistemi, sıvı atığı ahırdan depoya, oradan sindiriciye, daha sonra da gazı depolamaya ve dağıtım yerlerine kadar taşıyacak bir yapıda olmalıdır.



Şekil 4. Başlangıçta kurgulanan bir biyogaz tesisinin yapay görünümü (MTA, 1981).

Biyogaz tesisi türleri

Biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedirler. Biyogaz tesislerinin kapasite olarak sınıflandırılması aşağıda sunulmuştur (http://www.eie.gov.tr/).

- Aile tipi: 6-12 m^3 kapasiteli
- Çiftlik tipi: 50-100-150 m^3 kapasiteli
- Köy tipi: 100-200 m^3 kapasiteli
- Sanayi ölçekli tesisler: 1000-10.000 m^3 kapasiteli

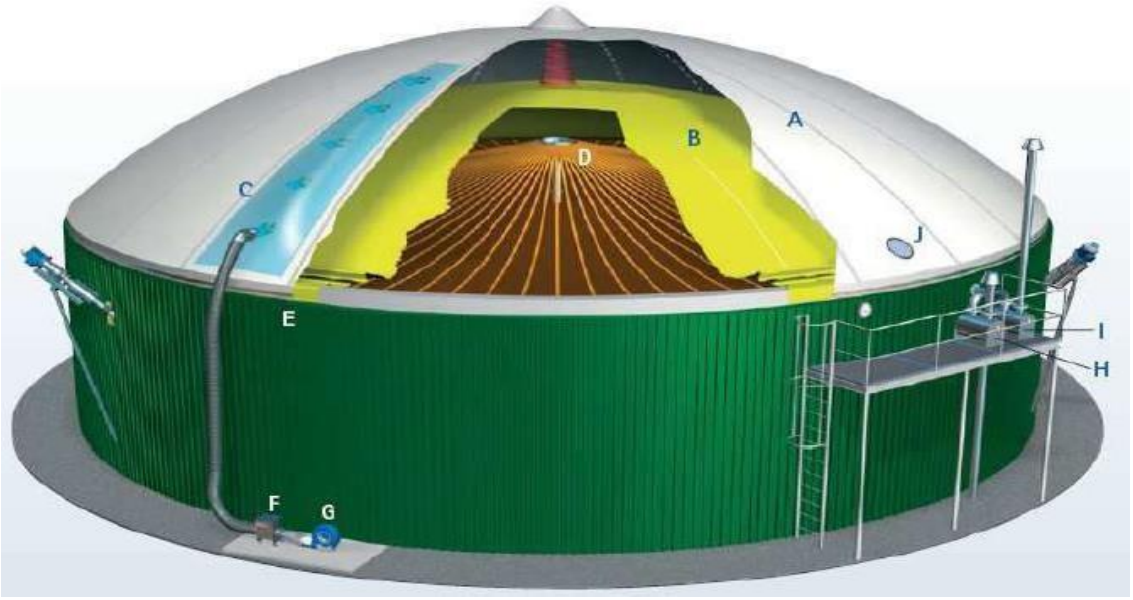
Aile tipi biyogaz tesisleri özellikle Çin'de çok yaygın bir şekilde kullanım yerlerine yakın yerlerde kullanılmaktadır. Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın ısıtılması biyogaz üretimi için gereklidir. Biyogaz üretiminde ortam sıcaklığının 35 ºC civarında olması istenir. Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve yaygın kullanılan sistem, tesisin içine yerleştirilen sıcak sulu serpantinlerden yararlanmaktadır (http://www.eie.gov.tr/).

Biyogaz tesisi tasarımının değişik yöntemleri vardır. Her ülke kendi iklim koşullarına göre değişik modeller geliştirmiştir. Çin, Hindistan, Nepal, Kore, Cezayir gibi kalkınmakta olan ülkelerin yanı sıra ABD, İngiltere, Fransa, Japonya gibi gelişmiş ülkeler de geniş ölçüde biyogaz üretmektedir. En iyi bilinen modeller, kubbeli yapıya sahip "Çin" ile hareketli gaz toplayıcısına sahip "Hindistan" tipleridir. Şekil 5'de daha çok Çin tipi bir tesisten esinlenerek tasarlanmış bir biyogaz tesisinin genel görünümü sunulmuştur. Günümüzde kullanılan tesisler ayrıntılı bir yapıya sahiptir. Şekil 6'da bir biyogaz tesisinin içyapısına dair ayrıntılar sunulmuştur. Bu konuda ARGE çalışmaları devam etmektedir.

Çin tipi: Bu tip tesis, sürekli çalıştırılabilir ya da düzenli beslenip, yılda bir iki defa boşaltılabilir. Bu kesik besleme olarak bilinir. Bu durumda, tesis zor tıkanacağından daha kaba artıklar değerlendirilebilir. Çok yaygın olan ev tipi biyogaz üreticileri ailenin yemek pişirme, aydınlanma gereksinimlerini büyük ölçüde karşılamaktadır.



Şekil 5. Bir Biyogaz tesisinin genel görünümü (Türk-Almanya Projesi; Krieg ve Fischer'den) (http://www.biyogaz.web.tr/).



Şekil 6. Günümüzde kullanılan bir biyogaz tesisinin içyapısının görünümü (Açıklamalar: A, Dış yüzey; B, İç yüzey;C, Hava üfleme sistemi; D, Halat sistemi; E, Çapa halkası; F, geri dönüşsüz valf; G, üfleyici; H, Düşük basınç valfı, I, Yüksek basınç valfı; J, Gözleme deliği (http://www.biyogaz.web.tr/).

Hindistan tipi: Hindistan tipi sürekli çalışan bir tesistir. Günlük olarak gübreyle beslenmekte ve otomatik bir akışla boşalmaktadır. Bu durumda, gübre su ile karıştırılmalıdır. Karıştırma oranı genellikle, bir ölçü gübre, bir ölçü sudur. Gübreden başka bir artık (sap, saman, ot gibi) kullanılacaksa, bu gereçler 2-3 cm uzunluğunda parçalanmalıdır. Aksi durumda, tesis tıkanabilir.

Biyogaz üretme yöntemleri

Biyogaz üretme yöntemleri, kesikli ve sürekli besleme olmak üzere iki biçimde uygulanabilir.

Kesikli besleme yöntemi

Bu amaçla hazırlanan tanka taze çiftlik gübresi doldurulur ve fermantasyon tankı hava almayacak şekilde kapatılır. Gübrenin havasız ortamda bozunması sonucunda meydana gelen madde cihaz üzerindeki bir boruyla gazometre denilen ikinci bir kapta toplanır. Gazometrede toplanan gaz daha sonra kurulu tesisat vasıtası ile kullanılır (Güldal, 1999).

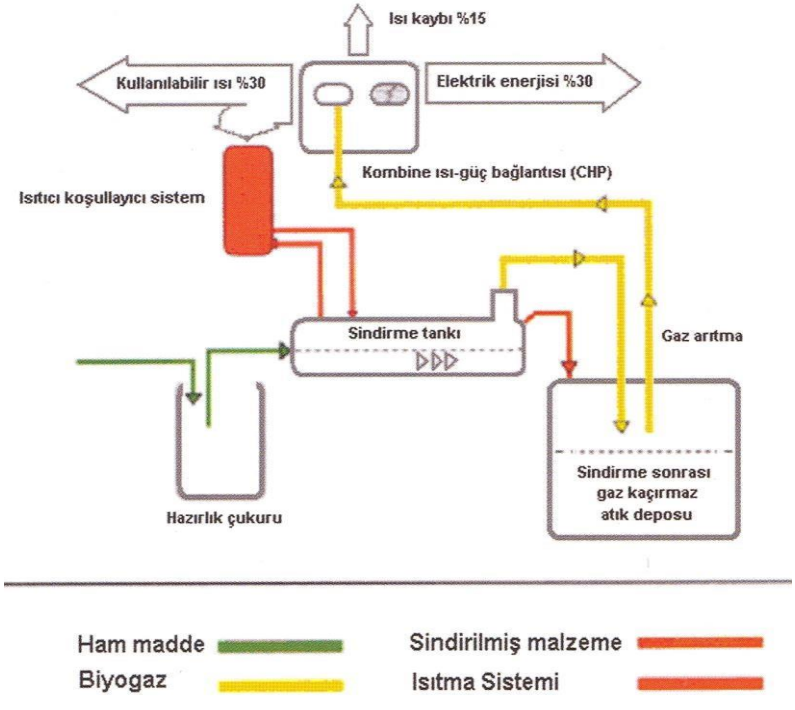
Kesikli besleme yöntemi ile üretilen biyogazın üretiminde fermantasyon tankı taze çiftlik gübresi ile doldurulduktan sonra havasız ortamda çalışan bakterilerin faaliyeti sonunda ancak 15 gün sonra gaz çıkmaya başlar ve gazın sürekliliği 60 gün devam eder. Bu sürenin sonunda gaz verimi düşer, bu durumda fermantasyon gazı boşaltılır ve tekrar taze çiftlik gübresi ile doldurulur, böylece olay tekrar edilmiş olunur, bu durumda gaz üretiminde kesiklik meydana geldiğinden, bu yöntem kesikli besleme yöntemi denilmiştir. Gazın kesikliğini giderebilmek için fermantasyon tankının 1 tane yerine 2-3 adet yapılması ile gazın sürekliliği sağlanmakta ise de bu durumda tesisin inşa maliyetinin artması nedeni ile fazla tercih edilmemektedir. Ayrıca gazın sürekliliğini sağlamak için fermantasyon tankının 30-35 dereceye kadar ısıtılması da uygulamada bu yöntemle gaz üretimine talebi azaltmaktadır.

Sürekli besleme yöntemi

Sürekli besleme yöntemi, kesikli besleme yöntemi ile gaz üretiminin uygulamada görünen sakıncalarını gidermek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemle gaz üretim tesisleri kuran ülkeler

yöntemin ana ilkelerini, amacını değiştirmeden tesis üzerinde bazı ufak değişiklikler yaparak, Çin, Hindistan, Nepal, Kore gibi isimlerle tesis projeleri hazırlamışlardır.

Biyogaz, içten yanmalı bir motorda yakılarak mekanik enerji elde edilebilir ve bu enerji hidrolik ya da hava pompalarının çalıştırılmasında kullanılabilir. Ayrıca motor bir jeneratöre bağlanarak elektrik üretilebilir. İşletmede sürekliliği sağlamak amacıyla bileşik ısı-elektrik üretim tesisleri tasarlanmıştır (Şekil 7).

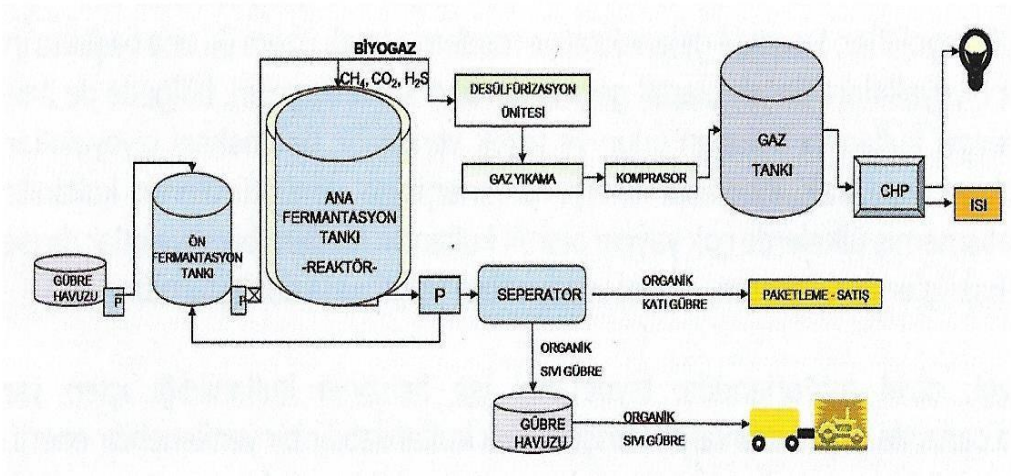


Şekil 7. Bileşik ısı-elektrik üretimli yapay bir atık işleme tesisinin görünümü (Altın, 2003).

Şekil 8'de bir başka biyogaz tesisi kurulum şeması görülmektedir. Bu kurulum şemasında görüldüğü gibi bir biyogaz tesisi hem elektrik hem ısı, hem de organik gübre çıktılarına sahip bazı avantajlara sahip olarak tasarlanabilir.

Bütün bu projelerin ortak noktası işletmelerin, çiftliklerin ve evlerin biyogaz gereksinimlerini sürekli olarak sağlamaktır. Sürekli besleme yöntemi ile gaz üretimi esasını;

- Tesisin kuruluşu
- Tesis için gerekli taze çiftlik gübresinin hazırlanması
- Tesisin hazırlanan çiftlik gübresi ile doldurulması oluşturur.



Şekil 8. Biyogaz tesisi kurulum şeması (TC Kalkınma Bakanlığı, 2012).

Biyogaz üretiminde dikkat edilmesi gereken hususlar

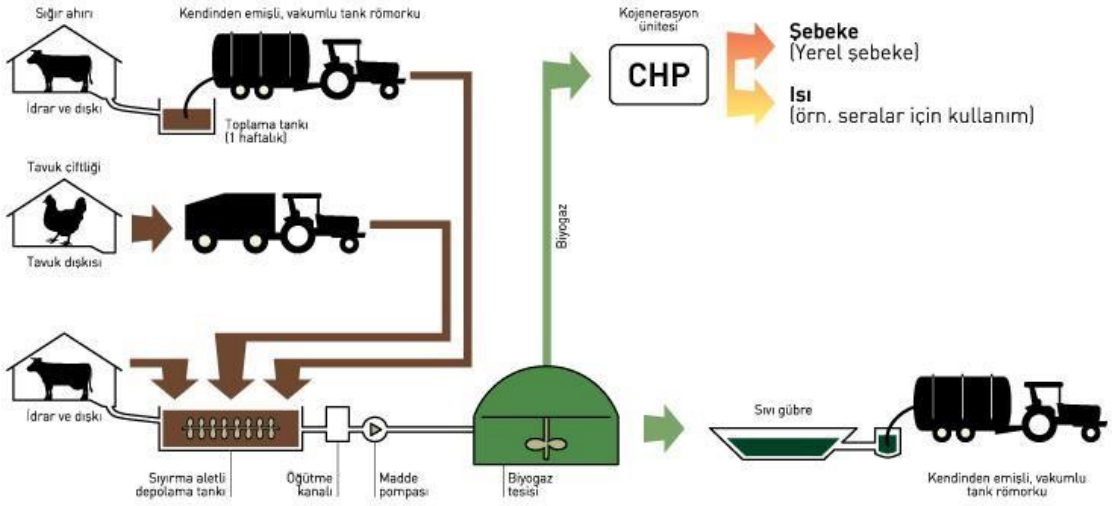
- Fermantörde (üretim tankı-sindireç) kesinlikle oksijen bulunmamalı,
- Antibiyotik almış hayvansal atıklar üretim tankına alınmamalı,
- Deterjanlı organik atıklar üretim tankına alınmamalıdır,
- Ortamda yeni bakteri oluşturulması ve büyümesi için yeterli miktarda azot bulunmalı,
- Üretim tankında asitlik 7,0-7,6 arasında olmalı,
- Metan bakterileri için substratta (S) sirke asidi cinsinden organik asit konsantrasyonu 500-1500 mg/l civarında olmalı,
- Fermantör sıcaklığı 35 ºC veya 56 ºC de sabit tutulmalı,
- Üretim tankına ışık girmemeli ve ortam karanlık olmalı,
- Üretim tankında minimum % 50, en uygunu % 90 oranında su olmalı,
- Ortamda metan bakterilerinin beslenmesine yetecek kadar organik madde parçalanmış-öğütülmüş olarak bulunmalıdır (http://www.eie.gov.tr/).

KULLANIM ALANLARI

Ülkemizde biyoyakıt başlangıçta sadece ısı enerjisi olarak kullanılmıştır. Son yıllarda biyoyakıt hem ısı hem de elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır. Isı ve elektrik enerjisinin aynı sistemde kullanılması ile meydana gelen kojenerasyon uygulamaları artık daha çok ilgi gören sistemler olmuştur. Kojenerasyon sistemler elektrik piyasasında da lisanslandırma dışı olduğundan birçok işletme, alışveriş merkezleri, oteller, havaalanları ve sitelerce yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca, Enerji Bakanlığı tarafından Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) hazırlanmıştır. BEPA'ya göre; Türkiye'nin biyokütle potansiyeli 8,6 mtep, tahmini kurulu güç 20.000 MW olarak belirlenmiştir. Biyogaz potansiyeli ise 2 mtep, tahmini kurulu güç miktarı ise 4.500 MW'tir. 2021 yıl sonu itibariyle atık ısı dahil biyokütleden elde edilen toplam elektrik enerjisi kurulu gücü 1.644 MW olmuştur (EPDK, 2021; Sav, 2022).

Biyogaz, çok yönlü kullanımı olan bir enerji kaynağıdır. Dolayısıyla biyogazın doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanılması, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye dönüştürülerek kullanılması ya da gübre üretiminde de kullanılması mümkün olmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Biyogazdan (biyokütleden) enerji ve gübre üretilmesine ilişkin bileşik (entegre) bir yapı (http://www.biyogaz.web.tr/).

Biyogaz, donanımda yapılacak küçük değişikliklerle LPG, propan ya da doğal gazın kullanıldığı tüm işlerde kullanılabilir. Biyogaz tesislerinden elde edilen gazın **yemek pişirmede** ve **aydınlatmada** kullanımı için özel bir gerece gereksinim duyulmamaktadır. Piyasada bulunan gaz ocakları ile lambalar ufak bir değişiklikle kullanılabilirler. Dizel ya da diğer motorlarda da yapılacak küçük düzenlemelerle biyogaz kullanılabilir.

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan gazından ileri gelmektedir. Biyogaz hava ile 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşir. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenlerde biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir.

Biyogaz hem doğrudan yanma hem de elektrik enerjisine dönüştürülerek aydınlatmada kullanılabilmektedir. Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabildiği gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilmektedir. Biyogaz, CO_2 ve H_2S'den arındırıp, doğal gaz olarak da kullanılabilir. Bu işlemlere H_2S'ün paslandırıcı etkilerini bertaraf etmek için gereksinim duyulur.

Ayrıca, biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de kullanılabilmektedir. Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir (Şekil 9). Deponi alanlarında bertaraf edilen evsel atıklardan ortaya çıkan metan gazı da elektrik üretiminde kullanılabilir. Biyogaz tesisleri, çeşitli türde organik atıkların bertaraf edilebileceği bir yapıda tasarlanabilir. Hatta, atıkların üzeri toprakla kapatıldıktan sonra oluşan metan gazları borular yardımıyla toplanarak elektrik üretilebilir. Yerel yönetimler, el birliği ile bu konuda yapılacak tesisler için çeşitli teşvikler sunmalıdır. Teşvikler doğrudan devlet tarafından yapılabileceği gibi, İller bankası aracılığı ile yapılabilir. Ayrıca Dünya bankası, Tarımsal ve Kırsal kalkınma Desteleme Kurumu (TKDK) gibi kurumların sağlayabileceği desteklerden gerçek ve tüzel kişiler faydalanabilmektedir.

Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık % 10 daha verimli olmasını sağlar (http://www.eie.gov.tr/).



Şekil 10. Biyogazın yan ürünlerinin kullanıldığı yerler (http://www.eie.gov.tr/).

ÇEVRESEL ETKİLER VE DENETİMİ

Alternatif enerjilerin çevre ile etkileşimi Özsayın (2013) tarafından irdelenmiştir. Buna göre, Biyogaz (biyokütle) genel anlamda çevreye uyumlu bir enerji kaynağı olmakla birlikte kullanılan organik malzeme türüne göre bazı çevresel etkiler yaratabilir. Örneğin, çöp ve benzeri bazı atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan katı-gaz atıklar Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) kapsamına girmekte ve bazı çevresel önlemlerin alınmasını gerektirmektedir.

Diğer taraftan, depolanması ile geçici görsel çevre kirliliği yaratan organik atıkların, enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla bertaraf da edilebilir (DPT, 2001).

Organik malzeme, ormanlardan elde edilen yakacak odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki atıklarının yanı sıra orman-ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesimindeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Günümüzde enerji tarımı adı verilen yeni bir tarım türü oluşmuştur. Bu tarım türünde C4 adı verilen (şeker kamışı, mısır, tatlı darı gibi) bitkiler yetiştirilmektedir. Bu bitkiler suyu ve karbondioksiti verimli kullanan, kuraklığa dayalı verimi yüksek bitkilerdir (Akkaya ve diğerleri, 2002).

Biyokütle yenilenebilir bir enerji kaynağı olmakla birlikte, günümüzdeki kullanım şekli ne yenilenebilir ne de sürdürülebilirdir. Dünyanın birçok yerinde nüfus artmakta ve insanlar ormanlık alanları açarak besinleri elde edecekleri tarla haline dönüştürmekte ve ormandaki geri kalan ağaçları da yakacak olarak kullanmaktadır. Dolayısıyla ormanlardaki doğal yaşamı olumsuz etkilemekte hatta türlerin nesillerini devam ettirmesini tehlikeye düşürmektedir. Ayrıca normal şartlar altında mükemmel gübre olabilecek bitki posası ve hayvan atıkları birçok yerlerde sobada yakılmaktadır.

Organik malzemenin gelişi güzel yakılması sonucunda karbonmonoksit, partiküller ve kansere neden olan çeşitli maddeler havanın kirlenmesine neden olmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerdeki biyokütle kullanımı sürdürülebilir değildir. Tarım uygulamalarının sağlıksız bir şekilde yürütülmesinden dolayı 1993 yılında 4 milyar litrelik etanol sağlamış olan ABD'nin mısır kuşağında toprak, oluşma hızından 18 katı hızla erozyona uğramaktadır.

Doğal ekosistemin yerini monokültürlerin alması ve bu sahalarda yeraltı ve yerüstündeki suları kirleten sentetik gübre ve haşarat ilaçlarının sürekli kullanılması çevre açısından sorun olmaktadır. Dünya enerji gereksiniminin bir bölümünün biyokütleyle karşılanması isteniyorsa, biyokütleyi daha verimli bir

şekilde yararlanabilecek forma dönüştürerek, çevreyi daha az kirletecek ve daha ekonomik olarak kullanılabilecek teknolojik yenilikler gerekmektedir (Akkaya ve diğerleri, 2002).

Biyogaz ile ilgili ÇED çalışmalarında biyogazın hammaddesinin üretildiği çitliklerin çevresel etkilerini de göz önüne almakta yarar vardır. Çiftlikleri gerek tükettikleri yem kaynaklarıyla ve gerekse hayvanların oluşturdukları gübre, idrar, gaz, toz, gibi hastalık yaratan değişik etkenleriyle değerlendirmekte yarar vardır. Hatta hayvanların verdiği çeşitli ürünlerin (et-süt gibi) işlendiği tesislerin çevre üzerinde bazı olumsuz koşullar oluşabilir. Dolayısıyla bu tesisleri ve izlenen süreçleri yakından tanımak ve bu çerçevede biyogaz üretiminde sınırlı ölçüde de olsa çevre kirliliğini önlemek mümkündür. Hayvansal gübrelerin değerlendirilmeden ortalıkta kalacağı düşünülürse, bunların çevreye yaydığı pis kokunun yanı sıra böcek ve sinekler vasıtasıyla hastalık kaynağı olacağı açıktır. Böyle bir ortamda gelişen mikroplarla, bu mikropların ortamda canlı kalma süreleri Çizelge 6'da özetlenmiştir.

Çizelge 6. Kirli ortamda gelişen bazı mikroorganizmalar ve bu organizmaların farklı ortamlarda canlı kalma süreleri.

Etken	Ortam	Canlı kalma süresi (gün)
Salmonella	Toprak	150
Salmonella	Atıksu	21-28
S. enteridis	Toprak (Yazın)	72
S. Abortus bavis	Toprak	382
S. typhi	Ev atıksuları	11
S. paratyehi B	Ev atıksuları	11
S. tphimurium	Kuru gübre	930
Marck virüsü	Tavuk gübresi	7
Gumboro	Tavuk gübresi	122
M. tuberculosiz	Mera otu	214
Mide-barsak kurtları	Silo yemi	80-90
Tenya	Katı gübre	10 gün

Biyogaz üretimi sırasında anaerobik bakterilerin mayalanmasıyla CH_4, CO_2, H_2S gibi gazlar ortaya çıkarken, gübrede hastalık yaratan mikroorganizmalar da yok olmaktadır. Ayrıca gazı alınmış gübrede böcek ve sinek larvalarının yaşaması da oldukça güçleşmektedir. Bundan dolayı biyogaz üretiminde, enerji kaynağı elde edilmesi yanında gübrenin çevre için tehlike oluşturması da önlenmektedir.

Biyogaz üretiminden sonra oluşan gübrenin bitki besleme yönüyle değerinde % 20 oranında artış sağlanmaktadır. Örneğin; gübreden biyogaz elde edildikten sonra, aynı gübrenin toprağa verilmesi sonucunda, buğday da % 16, pancarda ise % 25 verim artışı meydana geldiği, araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Ayrıca, gazı alınmış gübrede organik azotlar inorganik tuzlara döner ve daha küçük parçalara ayrılırlar. Dolayısıyla buradan elde edilmiş gübre sıvı halde olup, bu da toprağa hemen verilebilir. Gübre dağıtılırken yerleşim birimlerine doğru esen bir rüzgârın olmadığı bir zamanı seçmek daha yararlı olacaktır.

Biyogazın içerdiği hidrojen sülfit, yanma sırasında kükürt dioksite, bu da daha sonra su buharının varlığında sülfirik asite dönüşür. Bu asit, güçlü bir paslandırıcı etkiye sahip olduğundan pahalı kazanları ve motorları çürütebilir. Ancak sistem sürekli yüksek sıcaklıkta ve çalışır durumda bırakılırsa çürüme geciktirilebilir. Ayrıca ortaya çıkan asit buharlar etrafa yayılır ve kötü kokuya neden olurlar. Koku denetimi önemli bir sorun oluşturuyorsa, atıkların havasız sindirici bir sistemde değerlendirilmesi tercih edilir. Koku sorunu, aslında katı atıkların tarım alanlarında serpilmesinden sonra da devam eder.

Biyogaz, tehlike potansiyeli taşıyan bir gazdır. Örneğin içeriğindeki metan gazı hava ile % 5-15 oranında karıştığında patlayıcı olur. Dolayısıyla bir gaz hattındaki kaçak yangın tehlikesi yaratır. Biyogazın depolanması ve kullanımının olası zararlarını denetimi amacıyla bakım ve onarım çerçevesinde gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bu amaçla Şekil 10'da görülen türde uyarı işaretlerinin gerekli yerlere konulması ihmal edilmemelidir.



Şekil 11. Biyogaz tesislerinin dışına yerleştirilen bir uyarı işareti (Altın, 2003).

Biyogaz uygulamaları sırasında, amonyum (NH_4), amonyak (NH_3) gazına ve nitrata (NO_3) dönüşür. Amonyak, tarım alanlarına yüzeysel olarak serildiğinde havaya karışır. Nitrat ise toprakta süzülerek zamanla yeraltı sularına karışabilir. Dolayısıyla, yapılan uygulamaların yönetiminde izleme ve denetim önemlidir (Yılmaz, 2009).

Biyogaz ile ilgili çalışmalar henüz gelişme aşamasındadır. Bu çalışmaların da en azından ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-2 listesinde yer alması ve Proje Tanıtım Dosyasının hazırlanması koşulu ile teşvik edilmesinde yarar vardır.

SONUÇLAR

Enerji konusunda bir zaman sonra Dünya'nın mutlaka bir krizle karşılaşacağına ilişkin varsayımlar, geçmişte olduğu gibi günümüzde de göz önüne alınmaktadır. Bilim adamları, özellikle, çağdaş Dünya'nın gelişmesinde katkısı olan tükenebilir kaynakların nasıl olsa bir gün tümüyle bitebileceğini düşünmektedirler. Petrol, kömür, doğalgaz, madenler yeraltından çıkarılan ve yenilenemeyen doğal kaynaklardır (Yılmaz, 2009).

Oysa gelişen Dünya'da, nüfus artışına koşut olarak gereksinimler de artmakta, bilimsel çalışmaların yanı sıra daha çok teknoloji üretilmekte ve dolayısıyla giderek daha çok hammadde kullanılmaktadır. Dolayısıyla petrol, kömür, doğalgaz ve diğer madenlerin 100 yıl gibi kısa bir sürede biteceği gözetildiğinde yeni arayışların ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Dolayısıyla alternatif enerji kaynaklarının bulunmasına yönelik bilimsel çalışmalar ve yeni politikalar üretilemezse, gelecek kuşakların karşılaşabileceği korkunç durumu göz önüne getirmek bile insanı ürkütmektedir. Söz konusu arayışlardan biri de biyogaz olabilir. Biyogazın üretildiği organik malzeme doğal ekosistemlerin ürünüdür. Ekosistemler sağlıklı bir biçimde çalışırsa biyogaz yenilenebilir enerji türleri arasında yerini alır. Şekil 12'de bir biyogaz tesisi ile doğa ve insani yaşam arasındaki ilişkilerin bir döngü oluşturduğu görülmektedir. Böylesi bir döngünün işlemesi çevrenin korunmasına katkı da sağlar.



Şekil 12. Bir biyogaz tesisi ve yaşam döngüsü (http://www.eie.gov.tr/).

Yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisleri için sağlanan teşviklerin kaynak bazında yeniden düzenlenmesi ve söz konusu tesislerle ilgili yerli üretime verilecek ek teşviklerin belirlenmesi amacıyla 5346 sayılı Kanunda değişiklik yapan 6094 sayılı Kanun 8 Ocak 2011 tarihinde yürürlüğe girdi. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik" 19 Haziran 2011 tarih ve 27969 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girdi. Bu çerçevede, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan tesislerde yurt içinde üretilmiş ekipman kullanıldığı takdirde 0,4 ile 3,5 dolar/sent arasında ek destek veriliyor (http://slideplayer.biz.tr/).

Ayrıca hayvansal atıklardan elektrik üretmek isteyen girişimcilere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı toplamda 1 milyon liraya yakın hibe verileceğini açıkladı. Biyogaz üretiminin önemli olduğunu belirten yetkililer, özellikle büyük seviyede hayvan yetiştiren çiftçilerin ve işletmecilerin bu atıkları değerlendirmediğini açıkladı. Gübreden elektrik üretmenin biyogaz tesislerinde yapıldığını ve elektriğe dönüştürüldüğünü, arta kalan atıklarında organik gübre olarak tekrar değerlendirildiği, böylece ülke ekonomisine katkıda sağlanabilir (http://morfikirler.com/).

Sonuç olarak, biyogaz dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevre üzerinde etkileri olabileceği göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla bu enerjilerin de verimli kullanımına dair politikalar geliştirilmelidir (Atagündüz, 2001). Ayrıca, yetkililerin yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmaları teşvik etmesi ve biyogaz ile ilgili kararları önemlidir. Bu kararların enerji politikaları ile ilgili planların ve özellikle günümüzde sürdürülen politikalara alternatif B planlarının altyapılarının oluşumuna katkı sağlar.

KAYNAKLAR

Akkaya, A. V., Akkaya K. E., Dağdaş, A., 2002, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt I, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 16-18.

Altın, V., 2003, Biyogaz: Bilim ve Teknik, TUBİTAK Aylık Popüler Bilim Dergisi, Sayı 428, s. 42-48.

Atagündüz, G., 2001, Kentlerde ve Köykentlerde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkin Kullanımında Yerel Yönetim Politikaları Ne olmalıdır? Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir.

Bilgin, N., 2003, Biyogaz Nedir? Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.

Doğan, M., 2000, Biyogaz. Standard Dergisi, s. 39/468, s.28-36.

DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2569- ÖİK: 585, Ankara. EPDK. 2021, 2021 Yılı Aralık Ayı Sektör Raporu, Ankara.

Eryılmaz, H., 1981, Biyogazın Teknolojide ve Evlerde Kullanım İmkanları, Yurt Ekonomisi ve Tarımında Biyogaz'ın Önemi ve Biyogaz Potansiyeli, Biyogaz' Sempozyumu.
Gevrek, A., ve Şener, M., 1984, Çanakkale-Tuzla Jeotermal sahasının Hidrotennal Alterasyon Etüdü. MTA Derg. No. 78, Ankara.
Güldal A., 1999, Biyogaz Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Türkiye'deki Uygulamaları, TMMOB-MMO Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Türkiye'deki Uygulamaları Konferansı, İstanbul, 77 s.

http://morfikirler.com/ http://slideplayer.biz.tr/
http://www.biyogaz.web.tr/
http://www.eie.gov.tr/
http://www.normenerji.com.tr/
http://ziraat.uludag.edu.tr/

Kargı, F., 2001, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İZMİR.
Kaya O., 1999, Yemek Artıklarından Biyogaz Enerjisi Üreten Sistemin Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, ANKARA.
MTA, 1981, Biyogaz. MTA Genel Direktörlüğü tanıtım yayını, Ankara.

Öztürk, M., 2007, Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Özsayın, S., 2013, Enerji alternatiflerinin çevre ile etkileşimi. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 287- 299.
Saraçoğlu, N., 2000, 3. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Biyokütle Enerjisinin 21. Yüzyılda Dünya ve Türkiye İçin Önemi, Cilt 2, İstanbul.
Sav, M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli
https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcutpotansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022
T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2012. 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.
TÇV, 2006, Türkiye' nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Türkiye Çevre Vakfı (TÇV) yayını no. 175, Ankara, 368 s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348 s.

Yararlanılabilir diğer siteler: http://www.biogas.org.uk
http://www.biogas-international.com http
://www.britishbiogen.co.uk
http://www.kriegfischer.de/basics_inhalt.html http ://www.lior-
int. com/biogas/biogas 1.htm http
://www.energy.ca.gov/development/ biomass/anaerobic.html

4. 5, NÜKLEER ENERJİ HAMMADDELERİ: URANYUM VE TORYUM

GENEL BİLGİLER

Bugün Dünya'daki en önemli nükleer enerji hammaddesi olan Uranyumu; 1789'da Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth bulmuştur. Uranyumun radyoaktif özelliği ise ilk defa 1895 yılında Fransız fizikçi Henri Becquerel keşfetmiştir.

1932 yılında James Chadwick İngiltere'de, atom çekirdeğinden çıkan ve elektrik yükü olmayan bir parçacığın varlığını belirledi. Daha sonra adına nötron denilen bu temel parçacığın proton ağırlığında olduğu ve çekirdek içine rahatlıkla girebildiği gözlendi. Fizikçi Enrico Fermi, daha sonraki yıllarda İtalya'da nötron ile yaptığı deneylerde ilginç sonuçlar elde etti. Nötronlar ile bazı çekirdekleri bombardıman eden Fermi, yeni izotoplar üretiyordu. Aynı deney, tahta masada yapılınca metal masada yapılana göre daha fazla nötronun yutulduğu ve üretilen yeni çekirdeklerin daha fazla olduğu belirlendi. Daha sonra bu olaya tahtanın içinde bulunan hidrojen ile karbonun yol açtığı ve nötronların uygun maddeler ile yavaşlatılabildiği anlaşılmıştır.

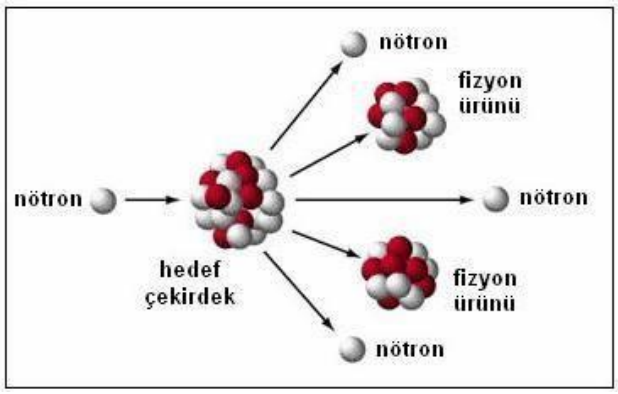
1939 yılında Otto Hanh ve Fritz Strassman, Almanya'da uranyumu yavaş nötronlar ile bombardıman ederek daha hafif çekirdekler ürettiklerini belirlediler. Ancak, bu işlemin nötronlar yardımı ile oluşan fisyon olduğu ortaya çıktı. 1939 yılında bulunan fisyon, 1942 yılında ilk CP1 (Chicago Pile 1) nükleer reaktörünün yapımı ile kullanılabilen bir enerji üretme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. 2. Dünya Savaşına kadar ekonomik önemi çok sınırlı bir element olan uranyum, yukarıda belirtilen gelişmeler ışığında bulunan Atom bombasıyla başlayan ve başka hiçbir metalde görülmemiş bir hızla stratejik önem kazandı. 1944 yılında yapılan üretim ve araştırma reaktörlerinden sonra ilk elektrik enerjisi üreten reaktör, 1954 yılında Rusya'da Obninsk'te 5 Mw gücünde üretime başlamıştır.

Nükleer enerjinin kullanılmaya başlamasından bugüne dek geçen yaklaşık yetmiş yıl içinde birçok nükleer reaktör türü üretilmiş ve çalıştırılmıştır. Ancak günümüzde ticari olan nükleer santral türleri çok az sayıdadır. Hafif su teknolojisi adı verilen ve normal su ile soğutulan reaktörleri kapsayan teknoloji ile ağır su teknolojisi adı verilen hidrojenin bir izotopu olan döteryumdan oluşan ağır su ile soğutulan reaktörleri kapsayan teknoloji, artık günümüzde ticari olarak kullanıma sunulmuş en yaygın türlerdir. **Ağır su,** hidrojen yerine döteryum atomlarından oluşan su **(D_2O)** olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli gereksinimi enerjidir. İnsanlığın enerji sorununa kalıcı çözümün nükleer enerji olduğu birçok teknisyen ve bilim adamı 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.

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 raktörlerin 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. Hava kirliliği yaşanmaz. Güvenli bir enerji olduğundan, füzyon enerjisinden yararlanma yolları bulunacak ve insanlığın hizmetine sunulacaktır.

Diğer nükleer enerji türü ise, halen insanlığın hizmetinde bulunan ve elektrik enerjisi üretim santrallerinin yapımında kullanılan fizyon enerjisidir. **Fizyon**, büyük bir çekirdeğe sahip elementin çekirdeğinin parçalanması ve buna bağlı olarak enerjinin ortaya çıkması olayıdır. Bu olay sonucunda orta ağırlıkta ve daha duraylı iki çekirdek meydana gelir (Şekil 1). Fizyon tesisleri çok pahalı ve tehlikelere açıktır. Örneğin Three Mile Island, Çernobil ve Fukuşima teislerinde yaşanan facialar unutulamaz.



Şekil 1. Fizyon, bir çekirdeğin parçalanması (http://www.nukte.org/node/119).

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 tepkimeyi sürdürme gereği ortadan kalkar. Bu uygulama olası yakıt menüsünü de çeşitlendirir. Fizyon olayının keşfinden sonra dünyanın önde gelen laboratuvarların da gerek uranyum gibi fisil, gerekse toryum gibi fertil (doğurgan ya da üretgen) nüklitlerin fizyonu ile ilgili araştırmalar başlamıştır.

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.

ÖZELLİKLERİ

Nükleer enerji hammaddesi olarak kullanılan en önemli radyoaktif elementler uranyum ve toryumdur. Bu iki element de çeşitli minerallerin bileşiminde yer almaktadır. Uranyum ve toryum gibi radyoaktif ışıma içeren minerallere radyoaktif mineraller adı verilir. ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th elementleri kararlı atom çekirdeklerine sahip olmadıklarından dolayı, parçacık, parçacık grupları, elektromanyetik dalgalar ve bir miktar ısı yayarak sürekli bir şekilde parçalanırlar ve yeni elementlere dönüşürler. Bu radyoaktif parçalanma sonucu ortaya çıkan yeni elementler de parçalanarak başka elementler oluştururlar. Bu olay kararlı kurşun izotopları oluşana kadar aşamalı bir biçimde devam eder.

Radyoaktif mineraller sürekli olarak yaydıkları alfa ve beta parçacıkları ile gama ışınları nedeniyle yakın çevrelerindeki mineralleri ya da mineral gruplarını etkileyerek bunların fiziksel ve mineral yapılarında değişikliğe neden olurlar. Bu değişikliklerin çoğu yalnız bilimsel yönden önem taşır. Bazı değişiklikler, örneğin radyoaktif minerallerin komşu kaya minerallerinin renklerini değiştirmesi ise, radyoaktif minerallerin araştırılmasında yararlanılabilecek özelliklerdir.

Bir diğer etki, radyoaktif minerallerin etkisinde kalmış bazı minerallerin ısıtıldıklarında ışık yaymalarıdır. Radyoaktiviteye bağlı olarak oluşan **termolüminesans** özelliği birkaç dakika içinde kaybolur. Ayrıca radyoaktif mineraller, içinde bulundukları bir diğer mineral ya da kayada, birleşme noktalarını kendilerinin oluşturduğu, her yönde uzanabilen, ışınsı konumlu bir dizi çatlaklar oluştururlar. Bu çatlakların boyları birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişebilir.

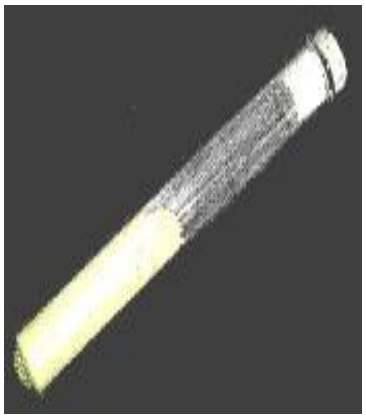
Uranyum

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, 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).

Adı	Kimyasal bileşimi
Uraninit	UO_2
Penblend	$xUO_2.yUO.z.PbO$
Koffinit	$USiO_4(OH)_4$
Brannerit	UTi_2O_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 ^oC (1405.15 ^oK, 2069.6 ^oF)

Kaynama Noktası: 3818.0 ^oC (4091.15 ^oK, 69004.4 ^oF)

Proton ve Elektron Sayısı: 92

Nötron Sayısı: 146

Sınıfı: Aktinitler (Yeryüzünde nadir bulunuyor)

Kristal Yapısı: Ortorombik **Yoğunluk:** 18.95 g/cm $_3$

Bulunuş Tarihi: 1789

Şekil 2. Uranyumun özellikleri (MTA, 1994).



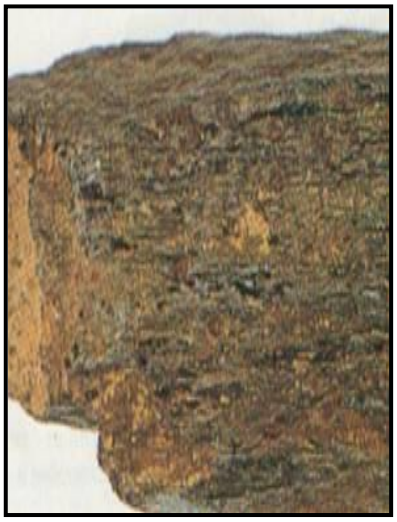
Şekil 3. Uranitit'in özellikleri (MTA, 1994).

Adı: URANİNİT
Kimyasal bileşimi: UO^2
Kristal Sistemi: Kübik
Kristal Biçimi: Genellikle kübik kristali, dendritik agregatlar, masif tanesel ikizlenme, {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: Pegmatitlerde, granitik ya da siyenitik kayalarda, hidrotermal damarlarda ve çökel kayalarda da görülebilir.

İkincil uranyum mineralleri: Birincil uranyum minerallerinin yüzeydeki değişimlerinden meydan gelen ikincil uranyum mineralleri, +6 değerlikli uranyumun ve $(UO_2)^{-2}$ uranil karmaşığının bileşikleridir. Uygun yüzeysel koşullarda ekonomik önemi olan zenginleşmeler yapabilen ikincil minerallerin sayısı 70'i aşmaktadır. Bunlar içinde en çok bilinen ve uranyum yatağı oluşturabilen mineraller aşağıda sunulmuştur.

Adı	Kimyasal bileşimi
Karnotit	$K_2(UO_2/VO_4).3H_2O$
Otinit	$K_2(UO_2/VO_4)_2.3H_2O$
Torbernit	$Cu(UO_2/PO_4)_2.12H_2O$
Zenerit	$Cu(UO_2/AsO_4)_2.12H_2O$
Tujamunit	$Ca\ (UO_2/AsO_4)_2.8H_2O$
Kasolit	$Pb(UO_2/SiO_4).H_2O$
Uranosirsit	$Ba(UO_2/PO_4)_2.8H_2O$
Uranofan	$Ca(UO_2)(SiO_7)_6.H_2O$

Aşağıda, en çok bilinen ve ekonomik yatak oluşturan minerallerden, otinit, torbernit ve karnotitin özellikleri sunulmuştur (Şekil, 4, 5 ve 6).



Adı: OTİNİT **Kimyasal bileşimi:** $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 . 10\text{-}12\ H_2O$

Kristal Sistemi: Tetragonal

Kristal Biçimi: Kristal şekli torbernite benzer. Kare şekilli levhaması ve yapraklara ayrılabilir kristallere sahiptir.

Sertlik: 2-2.5

Özgür Ağırlık: 3.05-3.2

Dilinim: {001} mükemmel

Renk ve Kükürt sarısı, limon sarısı, yeşilimsi sarı, yeşil-koyu yeşil;

Şeffaflık: şeffaf-yarı şeffaf

Çizgi Rengi: Sarı **Parlaklık:** Camsı

Ayırıcı

Özellikleri: Rengi, dilinimi, kristal şekli.

Bulunuşu: Otinit minerali de torbenit gibi uranyum mineralini içeren pegmatitlerde ve diğer damarlarda ikincil olarak oluşur. Otinit, suyunu kaybederek metaautinite dönüşür.

Şekil 4. Otinitin özellikleri (MTA, 1994).

Adı: TORBERNİT

Kimyasal $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2.8\text{-}12H_2O$

bileşimi:

Kristal Sistemi: Tetragonal

Kristal Biçimi: Çoğunlukla kare şekilli levhamsı, kristalli, nadiren piramidal ve tanesel

İkizlenme: {110} yüzeyinde olağan

Sertlik: 2-2.5

Özgür Ağırlık: 3.22-3.28

Dilinim: {001} mükemmel

Renk ve Zümrüt yeşili-çimen yeşili ve yeşilin diğer tonları;

Şeffaflık: şeffaf-yarı şeffaf

Özellikleri:

Bulunuşu: Uraninit ve bakır minerallerini içeren damarların oksidasyon zonunda ikincil olarak oluşur

Çizgi Rengi: Soluk yeşil



Parlaklık: Camsı

Ayırıcı
Rengi ve dilinimi

Şekil 5 Torbernitin özellikleri (MTA, 1994).

Adı: KARNOTİT

Kimyasal bileşimi: $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2.1\text{-}3H_2O$

Kristal Sistemi: Monoklinik

Kristal Biçimi: Çoğunlukla toz halde, nadiren ince levhamsı kristaller halinde

Sertlik: 2

Özgür Ağırlık: 4.70-4.95

Dilinim: {001} mükemmel

Renk ve Şeffaflık: Parlak sarı, yeşilimsi sarı

Parlaklık: Toprağımsı, donuk, mat

Ayırıcı Özellikleri: Rengi, X-ışını ile diğer minerallerden ayrılır. Pudramsı oluşu ve floresans özelliğinin olamaması ile otinitten ayrılır.

Bulunuşu: Karnotit, birincil uranyum ve vanadyum mineralleri ile kontakt halinde sular tarafından sedimanter ortamda depolanmış, ikincil bir uranyum mineralidir.

Şekil 6. Karnotitin özellikleri (MTA, 1994).

Toryum

Toryum elementinin özellikleri Şekil 7'de, toryum içeren monazit mineralinin özellikleri ise Şekil 8'de sunulmuştur. Uranyum dışında doğada yaygın bulunan 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 minerallerinin yapısında 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 ^{o}C (2023.15 ^{o}K, 3182.0 ^{o}F)

Kaynama Noktası: 4790.0 ^{o}C (5063.15 ^{o}K, 8654.0 ^{o}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 7. Toryumun genel özellikleri (1994).



Adı: MONAZİT,

Kimyasal bileşimi: (Ce,La, Th) PO_4

Kristal Sistemi: Monoklinik

Kristal Biçimi: Kristalleri genellikle levhaması, kısa prizmatik

Sertlik: 5,5.5

Özgür Ağırlık: 4.60-5.4

Dilinim: (100)

Renk ve Kırmızımsı ya da sarımsı kahverengi,

Şeffaflık: 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 8. Monazit (MTA, 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 % 514 ThO_2 bulunur.

Torit ($ThSiO_4$), en saf örneklerde % 70 ThO_2 ve %1 U_3O_8 bulunabilir. Bileşimi itibari ile bir toryum silikatıdır. Zirkon kristallerine benzer, sarımtrak, turuncu renkte ise de kahverengi ve siyah olanları da vardır. Bileşiminde % 5'den fazla U_3O_8 bulunursa uranotorit adını alır. Toriyanit ($ThO_2.UO_2.UO_3$), siyah-kahverengi, gri renkte yarı metalik parlaklığı olan bir mineraldir. Granitler içinde orijinal olarak oluşur. Torianit en zengin toryum minerali olup, % 90 ThO_2 içerir. Uranyum % 15'den fazla olursa uranotoriyanit adını alır.

Ayrıca, uygulamalarda, toryum ve uranyum sistemlerinin termo-fiziksel özelliklerinin de özenle gözetilmesi gerekmektedir. Örneğin, Uranyum radyoaktif fisil bir elementtir. Yani kendiliğinden ışıma yapabilmektedir. Toryum fisil değil fertil (doğurgan) bir elementtir. U-238 bir nötron yakaladığında 2.35 günde Pu-239'a dönüşürken Th-232 nötron yakalayınca yaklaşık 27 günde U-233'e dönüşmektedir. Th bu yöntemle U yerine radyoaktif nükleer yakıt görevi görmektedir. Th'un U'a göre hem enerji içeriği daha yüksek hem de üretimi daha kolaydır. Uranyum üretimi ise daha karmaşık ve daha kirli daha pahalı ve daha zor bir iştir. Olasılıkla bu iş bir nükleer santral kurmaktan daha da kolay bir iş değildir. Ayrıca birkaç nükleer santrali olan bir ülke genellikle bu yatırıma girmez ve yakıt yönünden dışa bağlı olmak durumundadır. Toryumda durum böyle değildir. Diğer taraftan dünya genelinde U'a göre Toryum 5-6 kat daha yüksek bir rezerv miktarına sahiptir (Sevinç, 2022).

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Uranyum, magmatik, çökel ya da metamorfik kayaların içinde yer alabilir. Bu kayaların kökeni Yer'in kendisidir. Dolayısıyla uranyumun kökeni de yeryuvarının bizzat kendisidir. Uranyum yataklarının türleri ve oluşumları aşağıda sunulmuştur (Nakoman, 1979; Yaman, 2006; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Magmatik ve volkanik kökenli uranyum yatakları

Magmatik ve volkanik kayalarda ppm düzeyinde uranyum olabilir. Buna rağmen bu kayaların içinde önemli bir cevherleşme gelişmez. Ancak magmatik kökenli pegmatitlerde, karbonatitlerde, pirometasomatik ve hidrotermal süreçlerde oluşan damarlarda uranyum cevherleşmesi olabilir.

Çökel (Sedimenter) kökenli uranyum yatakları

Magmatizma, volkanizma ve metamorfizma sırasında uranyum ya da uranyumca zengin kaya türlerinden yüzey suları ile yıkanan uranyum, çökel bir havzada birikerek cevherleşme meydana getirebilir. Bu tip cevherleşmeler kumtaşları, kuvars taneli çakıltaşları, uranyumlu fosfatlar, karstik oluşumlar, uranyumlu kömürler ve radyoaktif diğer hidrokarbonların içinde yer alabilir.

Metamorfik kökenli uranyum yatakları

Metamorfizma sırasında etkin hale geçen uranyum, çeşitli damarlarda ya da ezik zonlarda birikebilir. Metamorfizma öncesi çökellerde bulunan uranyum metaçökeller içinde saçılmış olarak yerleşebilir. Hidrotermal cevherleşmelerin bir bölümü ekonomiktir. Bu tür yataklar granitlerin kırık ya da ezik zonlarında ve metasomatizma yolu ile açılan boşluklarda oluşur. Bunlar, metagranitlerde, metaçökellerde, granit kökenli gnayslarda ve kloritik şistlerde bulunabilir. Hidrotermal uranyum yatakları, genellikle granitik plütonların yerleşimi sırasında oluşurlar.

Radyoaktif parçalanmaya kolaylıkla uğrayan izotopları olması nedeni ile uranyum, toryumdan çok daha önemlidir. Yeryüzündeki uranyum ve toryumun tümü yerkabuğunun 10 km kalınlığındaki üst kısmında toplanmıştır. Bu zonda toryum tenörü uranyum tenörüne göre 6-7 kat daha fazladır. Daha derinlere gidildikçe uranyum ve toryum yüzdesi aniden düşmektedir. Bu elementlerin yerin ilk soğuması sırasında ilkel üst mantodan dış kabuğa doğru göç ettiklerine ve daha sonra yeniden bir değişim geçirdiğine inanılmaktadır. Genel olarak, Sial kabuğunun farklılaşmasını (diferansiyasyonunu), uranyum, toryum, rubidyum ve potasyum gibi elementlerin derişimi izler. Bu birikim yukarıda belirtildiği gibi, konu edilen elementlerin üst mantodan, ilkel Sial'e göçünün bir sonucudur. Göçün nedeni, uranyum ve toryum ile üst manto bölgesinde yer alan diğer elementler arasındaki farklılıktır.

Nükleer enerjinin oluşumu

Bu arada nükleer enerjinin oluşumu üzerinde durmakta yarar vardır. "Nükleer", "çekirdeksel" anlamına gelir. Burada söz konusu olan çekirdek, atom çekirdeğidir. Atom santimetrenin yüz milyonda biri, atom çekirdeği ise atomun yüz binde biri boyutundadır.

Atomun çekirdeğinde proton ve nötron denilen küçük parçacıklar yer alır. Örneğin doğal uranyumun çekirdeğinde 92 proton ve 146 nötron, yani toplam 238 parçacık bulunmaktadır. Dolayısıyla bu çekirdeğe, Uranyum- 238 ya da kısaca **U-238 çekirdeği,** bu çekirdeğin etrafında 92 elektron bulunan atoma ise **U-238 atomu** denilmektedir. Doğal uranyum, U-238'in yanı sıra U-235'i de içermektedir. U-235'in çekirdeğinde nötron sayısı, öncekinin nötron sayısından üç tane daha az, Proton sayısı ise aynıdır.

U-235 çekirdeği, uzaydan gelen kozmik bir ışınımda dahi bir nötron ile çarpışırsa parçalanabilir. O zaman çok büyük bir enerji açığa çıkar. Bu enerji yeni parçalanmalara yol açabilir ve böylece çok kısa bir sürede zincirleme bir parçalanma gerçekleşir. Ortaya çok büyük bir enerji ortaya çıkar. Ayrıca, hafif atom çekirdeklerinin kaynaşmasıyla da nükleer bir enerji açığa çıkar. Bu enerji de Güneş'ten başlayarak tüm yıldızlara canlılık veren enerjidir.

Yaklaşık 1 ton U-235 ile Keban Barajı'nın ya da 1000 Megawatt gücündeki bir santralin bütün bir yıl boyunca sağladığı kadar enerji üretmek mümkündür. U-235 ise doğal uranyumun içinde % 1 oranında bulunur (Yarman, 2006).

TEKNOLOJİ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Üretim yöntemlerine geçmeden mevcut nükleer reaktör türlerine değinmekte yarar vardır. Çünkü üretim yöntemleri, tesislerin yer seçimi ve reaktörlerin niteliği arasındaki ilişkiyi göz önüne almakta yarar vardır. Nükleer reaktörlerin 1950'de başlayan üretim ve gelişme süreci içinde dört farklı nesilde nükleer reaktörler ve türleri üretilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Nükleer reaktör nesilleri ve türleri (Altın, 2007; Sevinç, 2022a).

1950	**1970**	**1990**	**2010**	**2020 ve Sonrası**
1. Nesil	**2. Nesil**	**3. Nesil**	**3+. Nesil**	**4. Nesil**
İLK PROTOTİP NER	İLK TİCARİ NER	İLERİ NER	GÜVENLİĞİ GELİŞTİRİLMİŞ NER	İNNOVATİF NER
PWR	PWR	AP1000	VVER 1200	GFR
BWR	BWR	EPR	SMR	LFR
CGR PHWR LWGR	VVER-1000 PHWR BWR	ACP-1000	ABWR ESBWR	MSR SFR VHTR SCWR

Nükleer reaktörlerin temelleri ve reaktör türleri konularında pek çok tanıtıcı çalışma vardır (Altın, 2007; STM, 2017; Bays ve diğerleri, 2019). Sultansoy (2021 a,b) tarafından yapılan sunum ve çalışmalar da geleceğe yönelik olarak yol göstericidir.

1. Nesil reaktörler ekonomik ömrünü doldurmuştur. Piyasada halen ticari olarak 2. Nesil ve 3. Nesil reaktörler kullanılmaktadır. Asya'da bazı ülkeler 3. Nesil ticari reaktörleri de inşa etmişlerdir. 4. Nesil rektörler evrimsel rektörler olup bunlar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. 4.Nesilden dünyadan 6 adet reaktör tipi seçilerek bunların güvenlik, ekonomiklik ve nükleer silahlanmaya karşı en optimal reaktörler olarak uluslararası iş birliği ile IAEA gözetiminde GİF-IV isimli uluslararası forum tarafından geliştirilmesi ve 10 yıl içerisinde ticarileştirilmesi üzerinde çalışılmaktadır. Bu teknolojilerin yakın gelecekte daha da gelişeceği öngörülmektedir. Ülkemizde büyük toryum rezervlerini enerjiye dönüştürmek üzere 4. Nesil Reaktörlerden Molten Salt Reaktörün geliştirilmesi (MSR) üzerinde özel sektörden FİGES AŞ ve ANKARA SANAYİ ODASI iş birliği ile bu yıl bir çalışma başlatmış bulunmaktadır (Sevinç, 2022a).

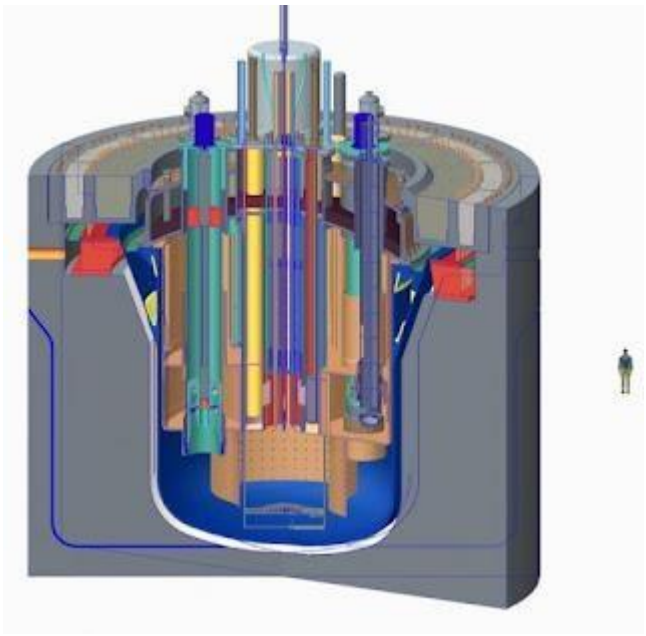
4. Nesil nükleer enerji projelerinden genel beklentiler ortaya koyulmuştur. Buna göre ekonomi, güvenlik ve güvenilirlik, radyasyonun yayılma direnci ve fiziksel koruma ile sürdürülebilirlik başta olmak üzere nükleer enerjiye yönelik kaygılar en alt düzeye indirmek için yoğun bir çaba gösterilmektedir (Altın, 2007).

Nükleer Enerji Santralleri'nde (NES'nde) kullanılan çok sayıda da yakıt türü vardır. Bunların tümü günümüzde zaman zaman nükleer diye bir başlık altında toplanmaktadır. Ancak yakıt olarak ya da teknoloji olarak yakıtların tümünü aynı kefeye konulması mümkün değildir. Örneğin, Uranyum ve Plütonyum fisyonda yakıt iken, yeni nesil reaktörlerde uranyum, plütonyum ile birlikte Toryum da ve hatta karışık MOX denilen karma ürünler de yakıt olarak değerlendirilmektedir. Füzyon reaktörlerinde teknoloji fisyondan farklı olduğu gibi kendi içinde de iki farklı teknoloji de füzyondan söz edilebilir. Burada yakıt Döteryum, Trityum ve Helyum olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda Soğuk Füzyon denilen teknolojide, yakıtı da farklı olan bir başka nükleer enerji üzerinde çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu çerçevede ağırlıklı olarak BOR'un da bir enerji kaynağı olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak ticari olarak dünyada kullanılan nükleer reaktörler fisyon reaktörleri olup aşağıdaki tabloda bu geleneksel ve ticarileşmiş reaktörlere ilişkin bazı temel kriterleri esas alarak bir sınıflandırma sunulmaktadır. Ticari nükleer reaktör türlerine bağlı olarak yakıt peleti kaplaması, moderatör, kontrol çubuğu ve soğutucu özellikleri tanımlanmıştır (Sevinç, 2022a).

Günümüzde Avrupa Birliği'nde yürütülen Accelerator Driven System (ADS) çalışmalarının ana eksenini Belçika'daki **MYRRHA** (Multi-purpose Hybrid Research Reactor for High-tech. Applications) projesi oluşturmaktadır. Bu nükleere rahmetli şehit Prof. Dr. Engin ARIK Yeşil Nükleer tanımlaması yapılmaktaydı. Bu reaktörler Hızlandırıcı Sistemlere (ADS-Accelerator Driven System) dayanan en güvenilir reaktörler olarak tanımlanmaktadır. MYRRHA tasarımı olan böyle bir reaktörün genel yapısı Şekil 9'da görülmektedir. MYRRHA reaktörü birçok açıdan benzersizdir. Havuz tipi reaktör 7.800 ton **kurşun bizmut ötektik (LBE)** ile soğutulur. Tüm birincil sistemler 16 m yüksekliğinde ve 10 m genişliğinde çift cidarlı kaplar içindedir.

Radyoaktif mineral kaynaklarının **üretim süreçleri** de ortaya çıkması olası sorunlar nedeniyle en çok tartışılan konulardan biridir. Dolayısıyla Uranyum ve Toryum gibi radyoaktif mineral kaynaklarının planlama ve arama, ocak işletmesi ve cevher zenginleştirmesi evreleri ile kullanım evresinde reaktörlerin yer seçimine ve işletmesine dair süreçlerin bir bütünsellik içinde titizlikle ele alınması gereken konulardır. Yani, söz konusu kaynakların nerede yer aldığı, nerede zenginleştirileceği ve nerede kullanılacağı özenle planlanmalıdır. Bu konularla ilgili bazı ön bilgiler aşağıda sunulmuştur:



Şekil, 9. MYRRHA tasarımı çok amaçlı hibrit bir reaktörün genel yapısı (Sevinç, 2022b).

Planlama ve arama evresi

Uranyum yatakları, arama yöntemleri yönüyle ana grupta toplanabilir. Bunlar, yüzeyde yer alan yataklar ve örtülü yataklardır.

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 yataklarda bulunabilir. Ancak bu yolla bulunan çökel türde bir yatağın rezervinin büyük olma şansı çok azdır.

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.

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.

Arama sondajları başlangıçta 3-4 km aralıklarla yapılırken son aşamada 25 m aralığa kadar sıklaştırılabilir.

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.

Cevher zenginleştirme evresi

Öncelikle, fiziksel süreçlerle zenginleştirilen cevherin daha ileri düzeyde de zenginleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için sıra ile yerçekimi (gravite), flotasyon, kavurma ve özütleme gibi yöntemler denenmektedir. Örneğin özütleme yönteminde atmosfer basıncında asitle ya da alkali; otoklavlarda asitle ya da alkali özütlemenin yanı sıra güçlü asitle ıslatma ve yıkama, yerinde özütleme, yığında özütleme ve bakteri özütlemesi gibi teknikler kullanılmaktadır (Yıldız, 2017). Yığında özütleme işleminin sonunda uranyum çözeltisi elde edilir. SX ve IX işlemleriyle çözeltinin uranyum derişimi artırılır. Sonunda zenginleştirilmiş uranyum, 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 tekniklerle sarı pasta elde edilmektedir. Dünyada eriyik madenciliği (ISL-in situ Leaching) olarak tanımlanan bu yöntemle dünya uranyum üretiminin yaklaşık % 40'nın yapıldığı ileri sürülmektedir. Ülkemizde Yozgat-Sorgun ilçesi dolayında belirlenen 6000 ile 7 000 ton kadar uranyum rezervlerinin bu yöntemle üretilebileceğine dair görüşler de vardır.

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 1 g uranyum için 300 ppm'den fazla olmaması gerekmektedir.

Sonuç olarak uranyum cevheri ocaktan nükleer reaktörde kullanılacak yakıt haline getirilinceye kadar birçok evrelerden geçer. Özetle bunlar:

1- Planlama ve arama,
2- Ocak işletilmesi 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.

Kullanım evresi

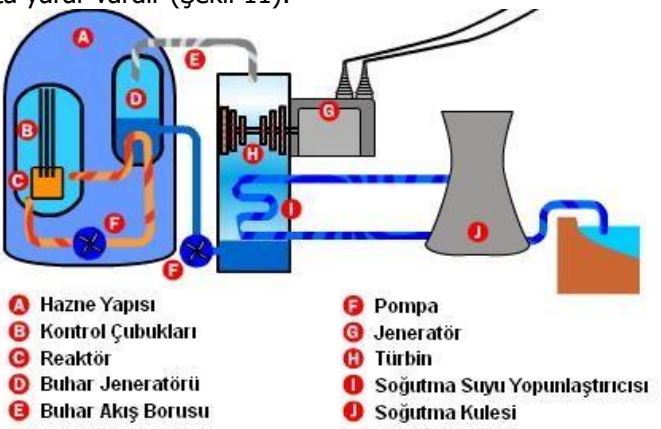
Nükleer enerji ürünleri özellikle uranyum genellikle **nükleer rektörlerde** kullanılmaktadır. Günümüzde çeşitli türde nükleer reaktörler işletilmektedir. Bunlar basınçlı, kaynar su ya da basınçlı su reaktörleri olabileceği gibi ileri gaz-soğutmalı reaktörler (Yıldız, 2017) ve 4. Nesil Ergimiş Tuz Reaktörleri'nin yanı sıra Sıvı Florör Toryum reaktörü olarak tanıtılan reaktörler vardır. Nükleer reaktör, nükleer tesisin en önemli bileşenidir. Şekil 10'da nükleer bir tesisin genel görünümü sunulmuştur. Bu tesis, Yüksek Teknoloji Uygulamaları için Çok Amaçlı Hibrit Araştırma Reaktörü (Multi-Purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications (MYRRHA)) kompleksi https://myrrha.be/ olarak tanımlanmıştır (Erişim:05 Ekim 2021) (Sultansoy, 2021a'den). Böylesi nükleer bir tesisin kapsamlı yapısı gözetildiğinde, tesisin planlama evresinden yer seçimine, inşaat evresinden işletme evresine değin tüm düzeylerde özen gösterilmesi gerektiği kabul edilmelidir.



Şekil 10. Dünyanın büyük ölçekli Hızlandırıcı Sürümlü Sistemini (Accelerator Driven System- ADS) içeren bir nükleer tesis (Sultansoy, 2021a'den).

Nükleer tesislerin planlanması ve **yer seçimi** önemlidir. Özellikle bölgenin depremsellik dâhil tüm doğal afetlere ilişkin riskler açısından ayrıntılı olarak incelenmesi zorunluluğu vardır. Yer seçiminde (yeraltı suyu hareketleri, kaya birimlerinin yapısı, erozyon, sel, deprem, volkanik hareketler, doğal kaynaklar, nüfus yoğunluğu, gibi) jeolojik ve çevresel faktörler gözetilir. Yeraltına gömülü nükleer atıkların biyosfere ulaşmasını sağlayabilecek tek mekanizma, yeraltı suyu hareketleri olduğundan, jeolojik yapının yeraltı suyundan etkilenmeyen bir uzaklıkta olması istenir. Nükleer bir santralin planlama ve hazırlık ile **inşaat evrelerindeki** çevresel etkiler de küçümsenmemelidir. Şekil 10'da sunulan tesise bakıldığında özellikle inşaat evresinde alanın hazırlanması ve yapıların inşaatı sırasında da önemli çevresel etkilerin ortaya çıkabileceği öngörülebilir.

Tesisin planlama ve inşaat evrelerinin yanı sıra, özellikle **işletme evresinde** çok geniş bir alanın etkilenebileceği gözetilmelidir. Nükleer tesislerin çevresel etkileri küreseldir. İşletme sırasında çeşitli 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. Dolayısıyla deniz ya da büyük göl ortamlarına yakın yerler tercih edilmektedir. Nükleer bir santralin işletme evresi ise en önemli aşamadır. Bunun için nükleer bir tesisin şematik yapısına bakmakta yarar vardır (Şekil 11).

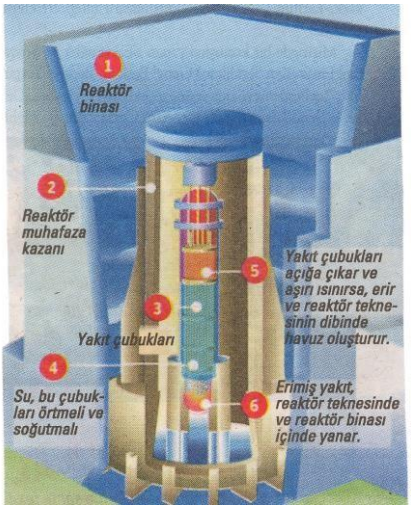


Şekil 11. Nükleer bir santralin şematik yapısı (http://www.bilgiustam.com/).

Son derece kapsamlı olan böylesi bir yapıda, uranyumun fizyon tepkimesine girmesiyle oluşan enerji, su buharının çok yüksek sıcaklıklara ulaşmasına yol açar. Yüksek sıcaklıktaki buhar, elektrik jeneratörüne bağlı olan türbinlere verilir. Türbin kanatçıklarına çarpan yüksek enerjili buhar, bilinen şekilde türbin şaftını çevirir ve jeneratörün elektrik enerjisi üretmesi sağlanır. Jeneratörde oluşan elektrik ise iletim hatları denilen iletken teller ile kullanılacağı yere gönderilir. Türbinden çıkan basınç ve sıcaklığı düşmüş buhar, tekrar kullanılmak üzere yoğunlaştırıcıya gider ve su haline geldikten sonra tekrar bölünme ile açığa çıkan enerji ile ısıtılıp buhar haline getirilir ve döngü devam eder.

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 bir 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.

Şekil 12'de nükleer bir reaktörün yakın çevresi ile birlikte genel yapısı görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi reaktör, ona uygun yapılmış bir yapının içinde olup, yapının duvarları radyasyonu geçirmeyen uygun malzemelerden yapılı olması beklenir. Şekil 13'de ise nükleer bir reaktörün içyapısı yani kalbi görülmektedir. Bu görüntüler reaktörün önemli ayrıntılarını gözler önüne sermektedir.

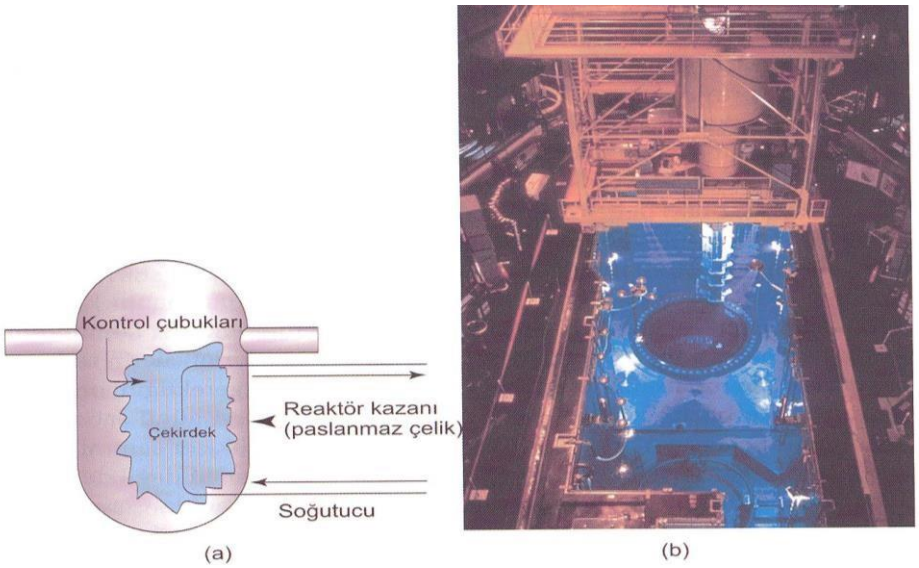


Şekil 12, Bir nükleer reaktörün yakın çevresi ile birlikte genel yapısı (Oksay, 2011).

Günümüzde çeşitli türde reaktörler kullanılmaktadır. Yüksek ısıda çalışan gaz soğutmalı reaktörler ve sıvı metal soğutmalı reaktörler ise, gelecekte kullanıma girmeye adaydırlar. Bugün uluslararası nükleer santral piyasasında iki tip nükleer reaktör egemen durumdadır:

1- Zenginleştirilmiş nükleer yakıt kullanan **hafif su soğutmalı reaktörler**: Bunların kazanları yaklaşık 350 °C ve 160 atm 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 °C sıcaklığa maruz kalır ve düşük nitelikli, 2.5 cm kalınlığında sacdan yapılabilir. Bir ülkede yeterli düzeyde doğal uranyum varsa dışa bağımlı bir durum ortaya çıkmaz.



Şekil 13. Bir nükleer reaktörün kalbi http://www.neutron.kth.se/gallery/reactor_main_gallery.htm/

Kullanım evresine dair bir husus da vurgulamakta yarar vardır. Nobel 1984 Fizik Ödülü sahibi İtalyan Bilim İnsanı Carlo RUBİA'nın alt kritik reaktörleri isimli çalışması incelendiğinde, O'nun hesaplarına göre 1 Ton toryum, 200 ton uranyuma ve 3 500 000 ton kömüre eşdeğer enerji üretmektedir (Sevinç, 2022a).

Sonuç olarak, yukarıda sunulan üretim ve teknoloji ışığında, nükleer tesislerin planlama ve hazırlık, inşaat ve işletme, hatta işletme sonrası evrelerde katı, sıvı ve gaz atıkların ortaya çıkabileceği ve bunların çevrenin tüm bileşenlerini etkileyebileceği göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla tesislerin yapımında yer seçimi, proje yönetimi, mali yönetim, teknik kontrol, işletme ve güvenlik altyapısı için doğru kararlar verilmelidir (Yıldız, 2017).

KULLANIM ALANLARI

Nükleer enerji hammaddelerinin başında uranyum ve toryum gelir. Bu iki kaynağın kullanım alanlarını ayrı ayrı sunmakta yarar vardır.

Uranyum

Uranyumun en önemli kullanım alanı, **nükleer reaktörlerdir.** Bu reaktörlerde maddenin enerjiye dönüşümü ilkesine dayanılarak nükleer enerji elde edilir. Gelişmiş ülkeler, toplam elektrik üretimlerinin önemli sayılacak bir bölümünü nükleer enerji santrallerinden karşılamaktadır. Fransa, Belçika, Tayvan gibi ülkeler ürettikleri elektriğin % 50'den fazlasını İsveç, İsviçre, Finlandiya, Bulgaristan ve Almanya ise ürettikleri enerjinin takriben 1/3 ünü nükleer santrallerden sağlamaktadır.

Nükleer reaktörlerde enerji elde edilmesinin temeli fizyon tepkimesine dayanır. Nükleer enerji, klasik enerji teknolojileri arasında yer almaktadır. Fizyon adı verilen tepkime, evrendeki en kuvvetli güç olan "Güçlü Nükleer Kuvvet" ile bir arada tutulan atom çekirdeğinin parçalanmasıdır.

Fisyon tepkimesi deneylerinde kullanılan ana madde "uranyum"dur. Çünkü uranyum atomu en ağır atomlardan biri olup çekirdeğinde çok yüksek sayıda proton ve nötron bulunur. Fisyon deneylerinde bilim adamları uranyum çekirdeğine, büyük bir hızla nötron göndermişler ve bunun sonunda çok ilginç bir durumla karşı karşıya kalmışlardır. Nötron uranyum çekirdeği tarafından soğurulduktan (yutulduktan) sonra, uranyum çekirdeği çok kararsız duruma gelmiştir. Burada çekirdeğin "kararsız" olması demek, çekirdek içindeki proton ve nötron sayıları arasında fark oluşması ve bu nedenle çekirdekte bir dengesizliğin meydana gelmesi demektir. Bu durumda çekirdek, meydana gelen dengesizliği gidermek için belli miktarda enerji yayarak parçalara bölünmeye başlar. Ortaya çıkan enerjinin etkisiyle de çekirdek, büyük bir hızla içinde barındırdığı parçaları fırlatmaya başlar.

Deneylerden elde edilen bu sonuçlardan sonra "reaktör" adı verilen özel ortamlarda, nötronlar hızlandırılarak uranyum üzerine gönderilir. Yalnız, nötronlar uranyum üzerine gelişigüzel değil, çok ince hesaplar yapılarak gönderilmektedir. Oysa uranyum atomunun üzerine gönderilen herhangi bir nötronun uranyuma hemen ve istenilen noktadan isabet etmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu deneyler belli bir olasılık göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmektedir. Ne kadar büyük bir uranyum kütlesi kullanılacağı, uranyum üzerine ne kadar bir nötron demeti gönderileceği, nötronların uranyum kütlesini hangi hızla ve ne kadar süre bombardıman edeceği çok ayrıntılı olarak hesaplanmaktadır.

Tüm hesaplar gözden geçirildikten sonra, hareket eden nötron, uranyum kütlesindeki atomların çekirdeklerine isabet edecek şekilde bombardıman edilip bu kütledeki atomlardan en azından birinin çekirdeğinin iki parçaya bölünmesi sağlanır. Bu bölünmede çekirdeğin kütlesinden ortalama iki ya da üç nötron açığa çıkar. Açığa çıkan nötronlar kütlenin içindeki diğer uranyum çekirdeklerine çarparak zincirleme reaksiyon başlatırlar. Her yeni bölünen çekirdek de ilk baştaki uranyum çekirdeği gibi davranır. Böylece zincirleme çekirdek bölünmeleri gerçekleşir. Bu zincirleme hareketler sonucu çok sayıda uranyum çekirdeği parçalandığı için ortaya olağanüstü büyüklükte bir enerji çıkar.

Nükleer santraller, açığa çıkan nükleer enerjinin sürekli-güvenli ve denetimli biçimde ısı enerjisine dönüştüren yapılardır. Bu yapılar, ortaya çıkan ısı enerjisi ile buhar elde ederek, herhangi bir termik santralde olduğu gibi buhar türbini ve jeneratör ikilisinden elektrik üretmektedir. Buharın bir türbinde genişletilmesi ile ısı enerjisi mekanik enerjiye, türbinin çevirdiği jeneratör ile mekanik enerji de elektrik enerjisine dönüştürülür.

Nükleer enerjinin kullanılmaya başlamasından bugüne dek geçen yaklaşık elli yıl içinde birçok nükleer reaktör tipi tasarlanmış, üretilmiş ve çalıştırılmıştır. Ancak günümüzde ticari olan nükleer santral tipleri çok az sayıdadır. Hafif su teknolojisi adı verilen ve normal su ile soğutulan reaktörleri kapsayan teknoloji ile ağır su teknolojisi adı verilen hidrojenin bir izotopu olan deteryumdan yapılan ağır su ile soğutulan reaktörleri kapsayan teknolojiler, günümüzde ticari olarak kullanıma sunulmaktadır. Yüksek sıcaklıkta çalışan gaz soğutmalı reaktörler ve sıvı metal soğutmalı hızlı üretken reaktörler ise, gelecekte kullanıma girmeye adaydırlar.

Nükleer santrallerde zincirleme reaksiyon denetimli bir şekilde yapılmaktadır. Ancak denetimsiz bir zincirleme reaksiyon, çok kısa bir süre içinde, çok büyük bir enerjinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Atom bombasının patlaması da bu şekildedir.

Ayrıca uranyum **renkli cam üretiminde, gemi ve saatlerde, gereksinim duyulan kimi yüzeylerin parlatlmasında** kullanılır. **Ziraat ve tıp alanında** da radyoaktif hammaddelerin radyoaktivite özelliğinden yararlanılmaktadır.

Toryum

Toryum, **enerji üretiminde** kullanılması planlanan ikinci hammaddedir. Ancak toryum, tek başına Hızlandırıcı Sürümlü Sistemlere (ADS) dayalı reaktör tasarımları dışında nükleer yakıt olarak kullanılamaz. Bu reaktörlerde ışınsal ateşleme için reaktör dışında üretilmiş hızlandırılmış proton demetlerinin reaktör içinde bir hedefe, örneğin bir kurşun hedefine çarparak ondan nötron saçılmasına neden olurlar. Yüksek enerjili bir çarpışmada belli bir enerji düzeyinin üzerinde oluşan nötronlar fisyon reaksiyonunu meydana getirirler. Th-233 için bu enerji seviyesi 1.3 MeV'tın üzerinde olmalıdır. 10 MeV dolayında enerjiye sahip olan nötronlar hızlı nötronlar olarak algılanır ve bu nötronlar uranyumun fisyon yapmasında daha az verimli olmakla birlikte geniş bir izotop yelpazesi üzerinde etkili olabilmektedirler (Sevinç, 2022a)**.**

Hızlandırıcı sürümlü sistemlerde (ADS), kurşuna çarpan protonlar buradan nötronu koparınca, önce Th-232'yi, U-232'ye sonra U-233 ve U-235'e dönüşerek reaktör içinde fertil halden fisil hale geçerler. Bu dönüşüm sürecinde Pu-239 üremez. Bu nedenle bu sistem nükleer silahlanmaya da geçit vermez. Böylece bu dönüşüm ile oluşan fisyondan kaynaklanan ısıdan elektrik üretilir. Yani bu sistemde, Th-232'ye nötron, konvansiyonel reaktörlerde olduğu gibi, U-235 ya da Pu-239'dan gelmez, buna gereksinim de yoktur. Dolayısıyla bu sistem daha temiz ya da daha az kirlidir. Toryum da temiz enerji unvanını diğer yöntemlerle değil sadece bu yöntemle kazanmaktadır.

Hatta CARLO RUBİA döteron ve proton gibi yüklü parçacıklarla reaktör içindeki bir hedef bombardıman ederek yaptığı deneylerde, "500 MeV'luk bir hızlandırıcı ile hızlandırılan ve çarptırılan döteron, döteron başına 50 dolayında nötron üreterek fisyon reaksiyonunu rahatlıkla sürdürebilir bir döngü yaratabilmektedir" ifadelerini kullanmaktadır. Burada kurşunun seçilmesinin nedeni, kurşundan elektron koparmanın daha kolay olması ile ilgilidir. Bir kurşun atomunda 82 adet elektron vardır. En dış elektronu koparmak için 7.38 eV gereklidir. Ancak en içteki elektronu sökmek için 88 keV gereklidir. Atomdan elektron koparma işleminin adı ise iyonizasyondur (Sevinç, 2022a;b)**.**

Ayrıca, Prof. Dr. E. Arık'ın ''CERN'de katıldığı «n-TOF» deneyine dayanarak yaptığı sade anlatımıyla: 'Toryum, kurşun bir kaba konulur. Kurşunun üzerine proton gönderilir. Kurşuna çarpan protonlar, nötron ortaya çıkarır. Bu nötronlar toryuma çarptıklarında toryum parçalanır ve enerji açığa çıkar. Yani, zincirleme reaksiyon yok. Dolayısıyla patlama olmaz. Alet bozulursa bile protonlar durur, Toryum da artık yeniden parçalanmaz' diyordu (Sevinç, 2022a;b)**.**

Bugün için toryumla çalışan ticari ölçekte santraller bulunmamakla birlikte, bu santrallerin prototipleri İngiltere, Almanya ve ABD'nde uzun zamandır denenmektedir. Ticari ölçekte tüketimin olamaması nedeniyle, halen toryumun enerji hammaddesi olarak tüketimi yok denilecek düzeydedir.

Toryum reaktörü (ya da sıvı florid toryum reaktörü) aslında lityum florid gibi erimiş tuzun içinde eriyik halde bulunan toryum elementi ile doldurulmuş bir odadır. Tuz birkaç yüz derece (680ºC) sıcaklıktadır. Toryum tek başına çok az oranda radyoaktiftir. Ancak Toryum-232 nükleer reaksiyonu başlatmak için, bazı süreçlerle uranyum-233'e dönüştürülebilmektedir. Uranyum-233'de Uranyum-235 gibi parçalanabilir bir maddedir. Bu parçalanma sonucunda da büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Ne var ki, Toryum reaktöründe ortaya çıkan atığın yaklaşık % 90'a yakını yok edilebilir ya da kısa yarı ömürlü ürünlere dönüştürülebilir. Ancak kalan radyoaktif atıklar için güvenilir bir depolama gerekmektedir.

Aslında toryumun ve bileşiklerinin kullanım alanı geniştir. Örneğin, Toryum ThO2 olarak 3300°C gibi yüksek ısı dayanımına sahiptir. Böyle bir bileşik havacılık ve uzay araştırmalarında, lamba fitili, fener, lüx, piknik lambalarında, pota ve seramik parça üretiminde, yüksek kaliteli mercek üretiminde, petrol damıtmada, sülfürik asit üretiminde, amonyağın nitrik aside dönüştürülmesinde katalizör olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca Th metal olarak Tungsten lamba filamentleri kaplamasında, elektronik cihazlarda ve TV'lerde; Th-Mg alaşımı olarak %2-3 Th içerikli hafif Th-Mg alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda dayanımı ve çatlamaya karşı direnci yüksektir. Bu özelliği ile hava taşıtlarının üretiminde, Toryum nitrat olarak, Toryum ergime sıcaklığı ve bu sıcaklıklarda dengeli bir ark oluşturması nedeniyle gaz altında tungusten ark kaynaklarında, magnetron katot tüpleri ve hareketli dalga tüpleri (TWT) üretiminde kullanılmaktadır. Bu tüpler mikro dalga frekansında elektron yaydıklarından hava trafik kontrolü, gözlem, hava tahmini radar sistemlerinde, silah sistemlerinde ve mikro dalga fırınlarda kullanılmaktadır (Yıldız, 2017).

Enerji hammaddesi olarak kullanımı dışında, değişik kullanım alanlarında tüketilen toryum miktarının fazla olmaması ve yıllık 700 ton ThO_2 dolayında olan Dünya üretiminin tamamen monazitten yan ürün olarak elde edilmesi nedeniyle, halen sadece toryum için işletilen yatak yoktur. Doğrudan toryum madenciliği Dünyanın hiçbir ülkesinde bulunmamaktadır. Toryum nadir toprak elementleri çıkartılırken yan ürün olarak elde edilir.

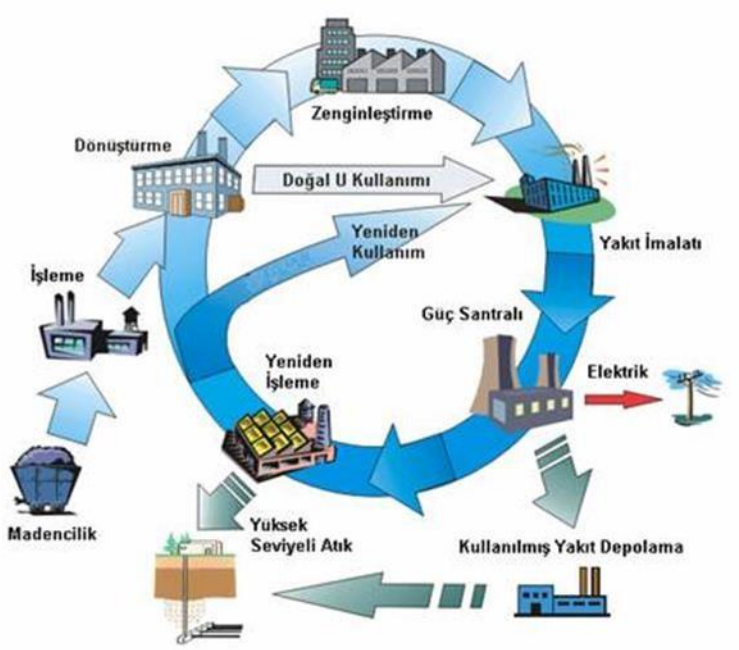
Ayrıca, ThF4 içeren eriyik tuz kullanarak 1000 MWel gücündeki ARIES-ST reaktörünün hibrid modellenmesi incelenmektedir. ARIES-ST füzyon reaktöründe tuz DT sürücüsü için yeterli TBR değeriyle, önemli miktarda bölünebilir ağır eriyik kullanılarak yakıt üretimi mümkündür. Dolayısıyla, daha ileri çalışmalar için, fisil yakıt ıslahı ile ARIES-ST'de UF4 içeren ağır erimiş tuz füzyon reaktörü düşünülebilir. Özellikle yapısal malzemelere radyasyon hasarı açısından iç ve dış ilk duvarlar gözden geçirilebilir (Übeyli ve Altınok, 2002).

Toryum enerji üretimi dışında; **gaz fitilleri yapımında, kimya endüstrisinde, tıpta, özel lambaların ve katotların yapımında** ve **hidrojenlendirme işlerinde katalizör olarak** az da olsa tüketilmektedir. Toryum, yarılanma özellikleri gözetilerek bazı birimlerin jeolojik yaşını belirlemede (radyoaktif yaş yöntemleri çerçevesinde) de kullanılmaktadır. Toryum ile ilgili çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Gelecekte toryuma dair yeni teknolojiler sayesinde yeni kullanım alanlarının da keşif

edilmesi beklenmektedir. Ülkenin enerji sorunu da gelecekte toryuma Hızlandırıcı Sürümlü Teknolojiler (ADS) ekleyerek çözülebilir.

ÇEVRESEL SORUNLAR VE ÇÖZÜM YOLLARI

Yukarıda nükleer hammaddelerin üretimi süreçlerinde planlama ve hazırlık, ocak işletmesi, cevher zenginleştirme ve kullanım evrelerinde kapsamlı çevresel etkilere dair ayrıntılar sunulmuştur. Zenginleştirilmiş nükleer hammaddeler de çeşitli nükleer tesislerde kullanılmaktadır. Nükleer tesislerin de planlama ve hazırlık, inşaat, işletme ve hatta işletme sonrası evrelerde katı, sıvı ve gaz atıkların ortaya çıkabileceği ve bunların çevrenin tüm bileşenlerini etkileyebileceği öngörülmelidir. Dolayısıyla, nükleer temel döngünün (Şekil 14) dikkate alınarak çevresel sorunların tanımlanmasında ve denetimini ele almakta yarar vardır. Bu çerçevede, çevresel sorunları ve bu sorunlara dair çözüm yolları aranırken, madencilik evresi, nükleer tesislerin yer seçimi ve yönetimi, atıklardan kaynaklanan sorunlar ve nükleer kazalar ayrı ayrı irdelenmiştir.



Şekil 14. Nükleer temel döngü

http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/837-bolum03-nukleer-yakit-cevrimi.html

Madencilik evresi

Yukarıda Şekil 14'de görüldüğü gibi, 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).

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.

Denetimin amacı, **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.

Örneğin, ocak işletmesinde cevherin çıkarılması sırasında da ortaya çıkan **radon gazı** da insan sağlığını tehdit eden bir diğer tehlike unsurudur. 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. 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.

Nükleer radyasyonun başta tiroyid kanseri başta olmak üzere kan ve kemik kanserlerine de yol açtığı bilinmektedir. Onun için nükleer malzemenin tıpta kullanımına özen göstermek gerekmektedir. Tiroyid 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 zararsızlaşıyor. 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.

Nükleer Tesislerin yer seçimi ve yönetimi

Nükleer bir tesisin değerlendirilmesinde izlenmesi gereken aşamalar Adair (1979) tarafından tanımlanmıştır. Buna göre öncelikle yer seçimine özgü ön çalışmalar yapılmalıdır. Ön çalışmalar çerçevesinde, yere özgü mevcut verilerin değerlendirilmesi yapıldıktan sonra, yer seçimini sağlıklı bir çerçeveye oturtmak için gereksinim duyulan bölgesel ve yerel arazi çalışmalarına başlanmalıdır. Öncelikle seçilen 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 doğrudan 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.

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: JMO, 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.

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından gerçekleştirilen 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayında '**Nükleer Santrallerin Yer Seçimi ve Yönetimi'** çalışma grubu tarafından sunulan 'Sonuç Raporu'nun özetini sunmakta da yarar vardır (JMO, 2019): Nükleer enerjinin kullanımına dair, çok farklı görüşler ve bilgi kirliliği vardır. Nükleer enerjiye karşı ya da yanında olunsa da bu enerji türü ve teknoloji yakından izlenmelidir. Bu durum mühendis olmanın yanında, tüm yurtseverlere düşen bir görevdir. Aynı zamanda bu görev, çağdaş yaşamın dayattığı bir zorunluluktur. Çünkü nükleer enerji, teknolojik gelişmelere koşut olarak tıp, tarım, sanayi ve elektrik üretimi olmak üzere yaşamın her alanında kullanılmaktadır.

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 süreçler gözetilerek oluşturulan acil durum planlarının iyi bir şekilde düzenlenmesine ve yönetimine bağlıdır.

Sonuç olarak nükleer enerji tesislerinin, nükleer hammaddelerinin üretiminden kullanımına değin tüm aşamalarında çevresel etkilerin varlığı bir bütün olarak göz ardı edilmemelidir. Söz konusu çevresel etkilerin denetiminde yer seçimi elbette önemlidir. Ancak, yer seçiminin yanı sıra inşaat ve özellikle işletme evrelerinde de önemli çevresel etkilerin ortaya çıkması olasıdır. Söz konusu etkilerin ilk yansıyacağı yer jeolojik ortamdır. Dolayısıyla, nükleer tesislerin yer alacağı ve kısa sürede etkileyeceği alanın jeolojik yapısı ayrıntılı olarak irdelenmelidir.

Atıklardan kaynaklanan sorunlar

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.

Ancak 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.

Hiçbir yakıt, enerji üretmek üzere yakıldığında 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.

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.

Bilimsel 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 algılanmaktadır. 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.

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. Rezervuar olarak bazı volkanitler, özellikle tüf ve tuz domları yeterli özelliklere sahiptir. Kullanılmış nükleer yakıtlar son derece radyoaktif olmalarının yanı sıra, reaktörü soğutmayı geciktirecek ölçüde ısı da üretirler. Bu nedenle de reaktörden alınan yakıtlar sonra havuzlarda su ile soğutularak korunurlar.

Kullanılmış yakıtlar, uzaklaştırma öncesinde paslanmaz çelik (ya da titanyum) silindirlere konur, sonra bu silindirler metal muhafazalara konur ve yeraltındaki tünellerde (ya da odalarda) açılmış deliklere

yerleştirilirler. Deliklerin üstüne bir tıkaç konup dolgu malzemesi (muhtemelen kil) ile kapatılır. Yeraltı deposu dolunca tüneller de doldurulur ve depo kapatılır. Böylece ek bir koruma sağlanmış olur.

Kullanılmış yakıtlar, içerdikleri uranyum ve plütonyumu geri kazanmak üzere işlenirlerse, fisyon 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. Cam, 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.

Camlaştırılmış nükleer atık ile dolu silindirler, bir metal muhafaza içine konulup yeraltı deposundaki deliklere yerleştirilirler. Bu atık formu (örneğin camlaştırma) yüksek güvenlikli kaplar, bu kapların etrafını dolduran ve yeraltı suları ile teması engellenen malzeme yüz bin yıl dayanacak şekilde yapılabilir. Oysa atıklar, 300- 500 yıl arasında zaten zararsız hale gelmektedir.

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 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. Dolayısıyla denizel ekosistemlerin nükleer santralların yaratabileceği termal kirlenmeden etkilenmesi kaçınılmazdır. Böyle bir durumda önlem olarak atık suların iyice soğuması için daha uzun süre bekletilip alıcı ortama verilmelidir.

Nükleer hammaddelerin yakıt olarak kullanıldığı bir nükleer santralların yapımı ve işletilmesi için uluslararası yetkili kuruluşlardan lisans alınması gerekmektedir. Bu yetkili kuruluşlar, bulunduğu ülkenin yasalarına ve yönetmenliklerine göre çalışmalarını sürdürür. Ancak önümüzdeki yıllarda, büyük bir olasılıkla, bu teknolojinin de kapsamlı olarak ülkemize girmesiyle karşılaşılacak tüm süreçlerin şimdiden gözetilip, alınması gereken önlemlerin belirlenmesi, çevre ve yaşam sağlığı bakımından önem taşımaktadır.

Nükleer kazalar

Çoğu nükleer kazalar da reaktörlerin çalışması sırasında meydana gelmektedir. Doğa kaynaklı 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 ^{0}C'ye ulaştığında, çubukların üzerini kaplayan zirkonyum buhar ile etkileşime girer ve hidrojeni sudan ayrıştırır. Hidrojen reaktörün içinde % 4 düzeyine ulaşırsa patlayabilir. Şekil 15'de Nükleer bir tesiste meydana gelen bir patlama anı görülmektedir.

Patlamadan sonra ortaya çıkan radyasyon sadece tesisin yakın dolayını değil, su kaynaklarına ve atmosfere yayılarak tüm ekosistemleri etkisi altına alabilir. Böyle bir durumda radyo-ekoloji 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.



Şekil 15. Nükleer santral kazasından bir görünüm (https://www.youtube.com/).

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 bir afete (tsunami) uğraması sonucu meydana gelmiştir. Bu afet sonunda meydana gelen sorun, reaktörün çekirdeğindeki suyun devri-daimî sürdürülerek önlenebilirdi. Bu gibi durumlarda pompa kullanmadan 'pasif su döngüsü' kullanmak gerekmektedir. Ancak Japon reaktörlerinde bu sistem tasarlanmamıştır (Bağdatlıoğlu, 2011).

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 diğeri 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.

YASAL ÇERÇEVE

Dünya'da Nükleer güç santrallerinin gelişimini nükleer tekniklerin gelişmesi izlemiştir. Her iki alanda da nükleer güvenlik öne çıkan ana konudur. Bununla beraber söz konusu bu iki farklı konu arasında değişik koşullar söz konusu olduğundan çoğu kez farklı mevzuat gruplarıyla muhatap olunmaktadır. Günümüzde, iki tüzük bulunmaktadır. Bunlar; **"Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük"** ve **"Radyasyon Güvenliği Tüzüğü"** ismini taşımaktadır. Bilindiği üzere, 2690 Sayılı Kanun ile "Barışçıl amaçlarla Türkiye'de atom enerjisinin kalkınma planlarına uygun olarak ülke yararına kullanılmasını sağlamak, temel ilke ve politikaları belirleyip önermek, bilimsel, teknik ve idari çalışmaları yapmak, düzenlemek, desteklemek, koordine etmek ve denetlemek üzere" Türkiye Atom Enerjisi Kurumu yapılanmıştır. Söz konusu mevzuatlar da klasik mevzuat düzeni içinde ulusal ve uluslararası diğer mevzuatla da desteklenmektedir (Dinçer, 2019).

Öte yandan, ülkemizde, milletlerarası antlaşma ile ve **"yap-işlet"** modeli ile nükleer santral kurdurulması benimsenmiş bulunmaktadır. Türkiye nükleer santral kurmak konusunda benimsediği bu model ile aynı zamanda nükleer teknoloji transferi için de farklı bir yol izlemek durumu ile karşı karşıyadır. Benimsenen nükleer teknoloji transferinin böylesi farklılık içermesi nedeniyle nükleer mevzuatı da buna göre düşünmek gerekmektedir. Örneğin, tasarımı ve işletimi üstlenen ülkenin veya ülkelerin mevzuatlarının da etkin olması söz konusu olacaktır. Türkiye'de kurulması planlanan 3 farklı bölgedeki

nükleer santrallerin Akkuyu'dan sonraki 2 bölgedeki nükleer santrallerin yapımı farklı ülke veya ülkelerle "yap işlet" modeliyle veya "yap-işlet-devret" modeliyle antlaşma yoluyla yapılmasının benimseneceği izlenimi edinilmektedir. Bu durumda "çok sayıda" ülkenin mevzuatının Türk mevzuatı ile uyumunun sağlanması gerekecektir (Dinçer, 2019).

Yukarıda belirtilen mevzuatlarla ilgili uyum çalışmaları yürütülürken, nükleer tesislerin yönetimi ve denetimi mutlaka ulusal güvenlik çerçevesinde ele alınmalıdır. Ülkemizde nükleer güç santralleri ve yakıt tesisleri ile 25 hektar ve üzeri arazi yüzeylerinde planlanan açık ocak işletmeleri ÇED yönetmeliğinde (2022) EK 1 Listesinde yer almaktadır. Buna göre söz konusu faaliyetler için kapsamlı ÇED raporlarının hazırlanması zorunluluğu vardır. Ancak bu konuda da gerekli özenin gösterilmediği Akkuyu ve Sinop nükleer tesisleriyle ilgili ÇED süreçleri nedeniyle yeterince bilinmektedir.

GÖZETİLMESİ GEREKEN BAZI ÖZEL HUSUSLAR

JMO'nun (2019) çalıştayında özenle dikkat edilmesi gereken bazı hususlara dikkat çekilmiştir. Bu hususların bazıları aşağıda sunulmuştur:

1- Uranyumun çıkartılması ve daha sonra zenginleştirilmesi sürecindeki rafine etme çalışmaları çok büyük miktarlarda radyoaktif kirlenmeye neden olmaktadır.
2- Düzgün çalışmayan nükleer santraller büyük sorunlara neden olabilir. Buna örnek olarak Çernobil felaketi verilebilir ve bu felakette tonlarca radyoaktif atık atmosfere bırakılmıştır.
3- Santraldeki fisyon tepkimeleri çok iyi denetim gerektirir ve hata toleransları çok azdır. Hiçbir nükleer santralin tamamen güvenli olduğundan söz edilemez ve mutlaka uzman ekipler tarafından ve emniyet katsayısı yüksek tutularak üretim yapılmalıdır. Bu da bizim gibi nükleer santral inşasına yeni adım atmak isteyen ülkeler için ciddi sorunların ortaya çıkma riskini artırmaktadır.
4- Ortaya çıkan radyoaktif atıkların doğaya zarar vermeyecek şekilde taşınması ve gözetim altında uzun yıllar güvenle saklanması gerekmektedir.

Ayrıca nükleer atıkların bertaraf edilmesine yönelik yeni gelişmelere açık hususların olabileceği göz ardı edilmemelidir. Örneğin, Rusya Bilimler Akademisi Federal Biyoteknoloji Araştırma Merkezi'nden bilim insanlarının, Sibirya'daki bir nükleer atık depolama alanında nükleer atıklardaki radyasyonun yayılarak çevreye zarar vermesini önleyebilen bir bakteriyi tanımladığı ileri sürülmektedir (https://tr.sputniknews.com/20181009/rus-bakteri-cevre-nukleer-1035590176.html; 09.10.2018). Bu ve benzeri olumlu gelişmeler, nükleer enerji çalışmalarında her zaman beklenebilir.

Nükleer enerjinin küresel ısınmaya dair sorunların çözümünde önemli bir kaynak olabileceği değerlendirilmektedir (Kakaç, 2005). Ancak, Türkiye'de nükleer tesislere yönelik bir tepki de vardır. Tepkinin başlıca nedenleri yüksek güvenlikli nükleer santrallerin yer seçimi, tasarımı ve işletme süreçlerindeki kaygılardan ve uluslararası standartlara uyum konusundaki yetersizliklerden kaynaklanmaktadır.

Nükleer enerji politikalarında çeşitli kaygılar ileri sürülmekle birlikte, söz konusu enerjinin bazı avantajlarına da dikkat çekilmektedir. Örneğin Sultansoy'a (2021a ve b) göre Nükleer enerjinin kapasite faktörü, süreklilik, kapladığı alan-çevre ve iş kazaları açısından da diğer enerji kaynaklarına göre tercih edilebilir. Şekil 16'da Kömürün, Uranyumun ve Toryumun bir yılda 1 GW'lık kesintisiz güç üretme kapasitesi ve çevre üzerindeki etkileri açısından karşılaştırılması da görülmektedir. Bu değerlendirmeye göre Toryumun gelecekte önemli bir kaynak olarak değerlendirilebileceği; Uranyum ile Toryuma dayalı reaktörleri tesis etmenin, CO_2 oluşumunu düşürebileceği, dolayısıyla küresel ısınma ile ilgili sorunların çözümüne katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Yenilenebilir enerjiler de pahalılık, depolama ve sürekliliğinin olmaması gibi sorunlara açıktır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevre üzerinde kimi olumsuz etkileri olduğu göz ardı edilmemelidir. Sonuç olarak, yapılan değerlendirmeye göre gelecekte teknolojilerin gelişmesiyle birlikte özellikle toryumun avantajları açıkça görülmektedir.



Şekil 16. Kömür, Uranyum ve Toryumun bir yılda kesintisiz 1 GW'lık kesintisiz güç üretme kapasitesi ve çevre üzerindeki etkileri açısından karşılaştırılması (Sultansoy, 2021a ve b).

SONUÇLAR

Dünya'da ve ülkemizde mevcut radyoaktif hammadde yatakların potansiyeli ve bu kaynakların sürdürülebilir bir çerçevede değerlendirilmesi yapılmaktadır (TAEK, 1988; 2000).

Dünya enerji gereksinimini verilerine göre dünyanın enerji gereksinimi giderek artacaktır. Enerji açığı, bugünkü yapının devamı halinde fosil yakıt, (kömür petrol, doğalgaz) nükleer, hidrolik ya da yenilenebilir (rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, odun, tezek) enerji kaynaklarından karşılanacaktır. Bunlardan hidrolik enerji, ancak coğrafi yapı elverdiği durumlarda sağlanabilir. Bunun da potansiyeli belli ve sınırlıdır. Yenilenebilir enerji ise Uluslararası Enerji Ajansı 1998 öngörülerine göre 2021 yılında enerji gereksiniminin ancak % 1'ini karşılayabilecektir. Bu durumda nükleer enerji kaynaklarının önemi daha da artmaktadır.

Dünya'nın enerji gereksinimi, özellikle elektrik enerjisi nükleer enerji kaynakları da gözetilerek planlanmalıdır. Bunun için öncelikle, reaktör teknoloji gereksinimi, nükleer atıklar ve nükleer silahların yayılmasından ileri gelen sorunlara çözüm bulmak gerekmektedir. Örneğin; nükleer atıklar, uluslararası anlaşma ve ölçütlere uygun olarak gözlemcilerin denetiminde okyanus dibinde belli yerlerde ve belli koşullarda özel kaplar içine yerleştirilerek uzaklaştırılabilir. Jeolojik açıdan iyi incelenmiş yerlerde derin enjeksiyon yöntemleri ile atıkların bertaraf edilmesi uzun süre çevrenin korunmasına katkı sağlayabilir.

Hammadde aramalarındaki hedef, ucuz üretim yapmaya uygun, yüksek tenör ve büyük rezervli uranyum yataklarının ortaya çıkarılmasıdır. Ayrıca, bu dönemde uranyumun nihai ürünü sarı pastadan yakıt üretim tesisleri konusunda daha kapsamlı çalışmalara başlanması gerekmektedir. Uranyum diğer madenler gibi kolayca alınıp satılamaması, nakliyesinin çok sıkı kurallara, ülkeler arasındaki bazı anlaşmalara ve uluslararası denetime bağlı olması nedeniyle, nükleer santral kuran ya da kurmayı planlayan ülkeler, kendi uranyum kaynaklarını değerlendirmeyi zorunlu kılmaktadır.

Bu yaklaşımdan yola çıkarak Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA) ile ortak bir proje hazırlanmış, gerekli cihazlar ve uzmanların yardımıyla Türkiye'nin, uranyum yatağı olması olası bölgelerinin havadan taranması, MTA Genel Müdürlüğü'nce programlanmış ve 1987-1988 yıllarında bazı uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Ancak, 1988'den sonra bu program durdurulmuştur. Nükleer santral inşasına olasılıkla çok yakın bir gelecekte yeniden başlanabilir.

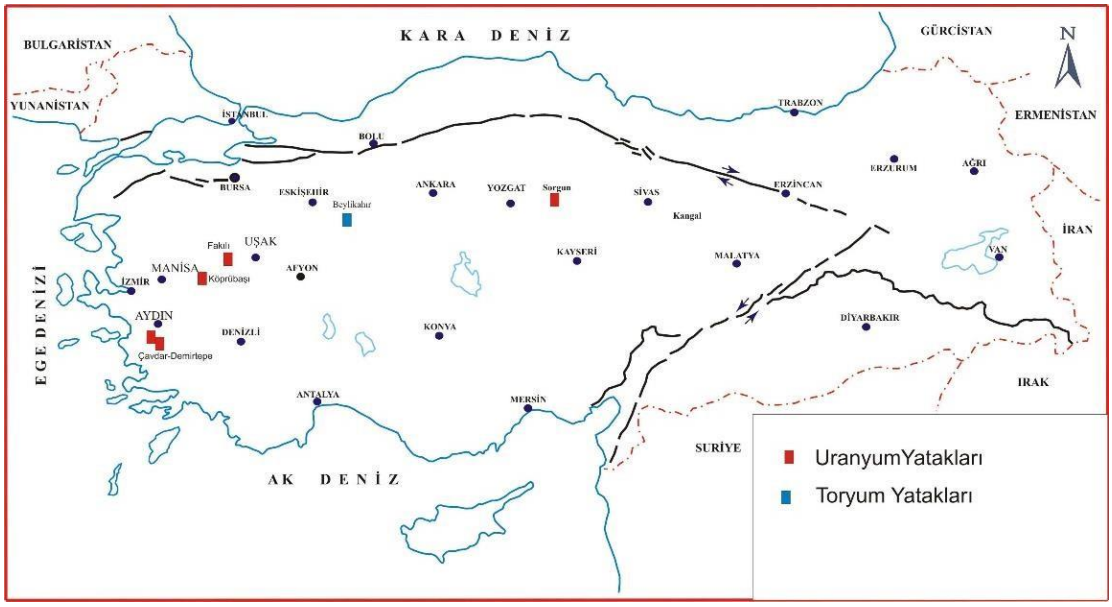
Ülkemizde bilinen uranyum ve toryum yatakları sınırlıdır. Şekil 17'de görüldüğü gibi uranyum yatakları daha çok Ege bölgesinde yer almaktadır. Ayrıca Şebinkarahisar'ın kuzeyinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Bilinen en önemli toryum yatağı ise Eskişehir'in GB'ındaki Beylikahır ve Sivrihisar mevkiindedir. 1977'de

MTA tarafından yapılan çalışmada, Eskişehir-Sivrihisar bölgesinde 380.000 ton toryum jeolojik rezerv belirlenmiştir. Bu bölgenin, ruhsat sahibi Eti Holding olup, daha ayrıntılı incelendiği bilinmektedir.

Ayrıca, ülkemiz için çeşitli enerji seçenekleri ve yol haritasının yanı sıra Akkuyu ve Sinop Nükleer tesisleri için çeşitli değerlendirmeler yapılmaktadır (Akça ve diğerleri, 2013; Dinçer, 2019). Bu değerlendirmeler de enerji seçeneklerinin çeşitlendirilmesi, yenilenebilir enerjilerin yanı sıra nükleer enerji seçeneğine yer vermenin gelecekte ülkenin enerji bağımlılığını azaltacağı öngörülmektedir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalardan elde edilen bilgi ve deneyimler ışığında, belirlenmiş olan rezervlerin henüz ülkemizin tüm potansiyelini ifade etmediği, dolayısıyla aramalara gereken kaynağın ayrılması ve daha kapsamlı çalışmalar için çaba harcamalıdır. Aslında, Türkiye, Dünya'nın kayda değer toryum yataklarına sahip olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmaların, en azından radyoaktivite çalışmalarının geleceği ve önemi açısından, yapılması gereklidir.

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, nükleer çalışmalara dair çeşitli teknolojileri yakından izlemek gerekmektedir.



Şekil 17. Türkiye'nin uranyum ve toryum yatakları (www.mta.gov.tr).

Öte yandan, UAEA'nın belirlediği mevzuata göre, bir ülkenin nükleer enerji hususunda düzenleyici kuruluşu yönetimden bağımsız olması zorunludur. Ülkemizde bu konuda sorumlu olan kuruluş ise TAEK olup, o da enerji bakanlığına bağlıdır. 5710 sayılı yasanın birinci maddesine göre, yeni bir kurum kurulana kadar TAEK'in düzenleyici bir kurum görevi devam edecektir. Oysa Romanya ve İspanya gibi ülkeler bile nükleer güvenlik ve lisans alma alt yapılarını uluslararası mevzuata uygun bir düzeye getirmişlerdir. Dünya'da meydana gelen nükleer felaketler de gözetildiğinde bir nükleer santrale karar vermeden önce bir referans santralin doğru dürüst tanımlanması ve güvenli işletme deneyimine sahip teknik kadroların olup olmadığı ciddi bir biçimde sorgulanmalıdır.

Nükleer enerjinin kullanılmasında en önemli sorunlardan biri de nükleer atıkların bertaraf edilmesidir. En etkin nükleer atık madde, nükleer yakıt işlemleri sonucu elde edilen plütonyum239'dur. Bu da nükleer silahların yapımında kullanılmaktadır. Ancak, plütonyum-239'u ayırmadan doğrudan tekrar yakıt olarak döngüye aktaran nükleer reaktörlerin geliştirilmesi daha uygun bir yoldur.

Sonuç olarak; ülkenin kalkınmasının çevresel uyumluluk ölçütleri çerçevesinde nükleer enerji, mevcut enerji üretim teknolojileri arasında yer alabilir. Nükleer enerji de dâhil tüm enerji kaynaklarının doğayı etkilememesi mümkün değildir. Doğayı koruma, insan hakları gibi, yalnızca bir ülkenin değil, tüm insanların sorumluluğundadır. Çevre ve teknoloji gibi politik ve sosyal yaptırımı çok güçlü iki değişken arasındaki denge, Dünya'nın olduğu gibi Türkiye'nin de gündemindedir. Birleşmiş Milletler, Avrupa Topluluğu, OECD, UAEA ve buna benzer kuruluşlar çevre ve teknoloji arasındaki dengeyi sağlayan **sürdürülebilir kalkınma** kavramı içinde değerlendirmektedir. Teknolojik gelişmeler, **çevreyi korumayı** ve **doğayı kirletmemeyi** esas alacak şekilde teşvik edilmelidir. Sürdürülebilir kalkınmanın temeli de bu iki kavram arasındaki dengeyi bilimsel verilere göre kurmaktır.

Göz ardı edilmemesi gereken hususlar, nükleer enerjiye yönelik gelişmelerden kopmadan nükleer tesislerin ve bu konuda yapılan tüm çalışmaların şeffaf bir ortamda sürdürülmesi, çalışmalara dair Acil Eylem Planlarının kamuoyunun bilgisine sunulması ve ilgili tüm kesimlerin görüşleri doğrultusunda ülkemiz için uluslararası standartların oluşturulmasıdır.

TEŞEKKÜR

Bu bölüm değerli arkadaşım Makine-Endüstri Yüksek Mühendisi ve Ekonomist Canip Sevinç tarafından irdelenmiştir. Sayın Sevinç'in katkıları ve önerileri bu bölümün daha iyi bir düzeye erişmesini sağlamıştır. Kendisine teşekkürlerimi sunuyorum.

KAYNAKLAR

Adair, M.J., 1979. Geologic evaluation of a site for nuclear power plant, Reviews in Engineering Geology, vol. IV, Geology Society of America.

Akça, A. Z. ve Çalışma Grubu, 2013, Perspektif Enerji. AK Parti Ekonomi İşleri Grubu Başkanlığı, Enerji Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 86 s.

Akoğlu, A., 2011, Nükleer Santraller ve Güvenlik. Tubitak Bilim ve Teknik, 521, 32-36.

Altın, V., 2006, Nükleer enerji (http://www.nukte.org/node/119).

Altın, V., 2007, Yeni Ufuklara, 4. Nesil Nükleer Santraller, Bilim ve Teknik Aralık 2007'nin ücretsiz eki, Ankara, 19 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).

Bağdatlıoğlu, C., 2011, Nükleer Enerji ve Japonya'daki Son Durum. Tubitak Bilim ve Teknik, 521, 2431.

Bays, S. Abou Jaoude, A. Borlodan, G. 2019. "Reactor Fundamentals Handbook", ABD Idaho National Laboratory. https://www.tesab.org.tr/attachments/article/94/SMR.pdf (Erişim: 05.01.2023).

ÇED Yönetmeliği, 2022, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği, 29.07.2022 tarihli ve 31907 Sayılı Resmî Gazete.

Dinçer, İ., 2019, TÜBA- Nükleer Enerji Raporu. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), Ankara, 68 s.

DPT, 2000, Nükleer Enerji Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu (ÖİK), Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, No:2569-ÖİK:585, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

http://www.bilgiustam.com/ http://www.neutron.kth.se/gallery/reactor_main_gallery.htm/

http://www.nukleer.web.tr/nukleer_santral_turleri/nukleer_santral_turleri.html (Erişim: 05.01.2023).

http://www.nukte.org/node/119 http://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/837-bolum-03-nukleer-yakit-cevrimi.html

https://tr.sputniknews.com/20181009/rus-bakteri-cevre-nukleer-1035590176.html (09.10.2018)

https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclearfuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclearpower-reactors.aspx, (Erişim: 10 Haziran 2021

https://www.youtube.com/

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).
JMO, 2019, 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı (01-02 Kasım 2019, Sonuç Raporu, Ankara, 364 s.
Kakaç, S., 2005, Küresel ısınma ve nükleer enerji: TÜBA (Türkiye Bilimler Akademisi) Günce, sayı 32. s.11-13.
MTA, 1984, Türkiye'nin Radyoaktif Mineralleri Hakkında Rapor, Arama-Potansiyel ve Teknolojinin Dünü Bugünü ve Geleceği, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara.
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.
Nakoman. E., 1979, Radyoaktif Hammaddeler Jeolojisi, MTA Enstitüsü yayınları, Eğitim Serisi No:20, Ankara.
Oksay, R., 2011, Japonya' nın Nükleer Felaketle İmtihanı, Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji, 25 Mart 2011, 1253, s. 6-7.
Sevinç, C., 2022a, Türkiye Toryum Rezervlerinden Nükleer Enerji üretmek için yararlanılmalıdır. OAPGD Enerji Çalışma Grubu Başkanlığı Raporu, Ankara. s. 11.
Sevinç, C., 2022b, Hızlandırıcı sürümlü sisteme dayalı nükleer reaktör teknolojisinde Belçika'dan MYRRHA (çok amaçlı hibrid yüksek teknoloji uygulamaları için araştırma reaktörü) deneyiminin bugün geldiği nokta (http://toryumendertopraklarplatformu.blogspot.com/2020/06/hizlandirici-surumlu-sisteme-dayali.html).
Sultansoy, S., 2021a, Neden Toryum? 'Sunum'. TOBB ETÜ Mühendislik Fakültesi, Ankara, 69 s.
Sultansoy, S., 2021b, Nükleer Enerji Tehdit mi, Alternatif mi? 'Makale'. TOBB ETÜ Mühendislik Fakültesi, Ankara. 14 s.
STM, 2017, Nükleer Enerji ve Türkiye, Sektör Değerlendirme Raporu. Thinktech STM Future Technology Institute (www.stm.com.tr), 94 s.
TAEK, 1988, Dünya Uranyum Kaynakları, Yeterliliği ve Türkiye'nin Uranyum Potansiyeli, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) yayını, Ankara.
TAEK, 2000, Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.
Übeyli, M. ve Altınok, T., 2002. Neutronic investigation of the ARIES-ST fusion reactor by using molten salt with ThF4. Politeknik Dergisi (Journal of Polytechnic) 5, 3, 227-231.
www.mta.gov.tr
Yarman, T., 2006, Nükleer enerji nedir ve nasıl oluşur? TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, Haber Bülteni, sayı, 3, Ankara, s. 8-9.
Yıldız, N., 2017. Uranyum Toryum. TMMOB Maden Mühendisleri Odası (www.maden.org.tr), Ankara, 86 s.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.
Zabunoğlu, H. O., 2015. Nükleer Yakıt Çevrimi: Mevcut Durum, Özgün Hususlar, İlgili Meseleler. Enerji ve Diplomasi Dergisi, 1, 4, 13-45.

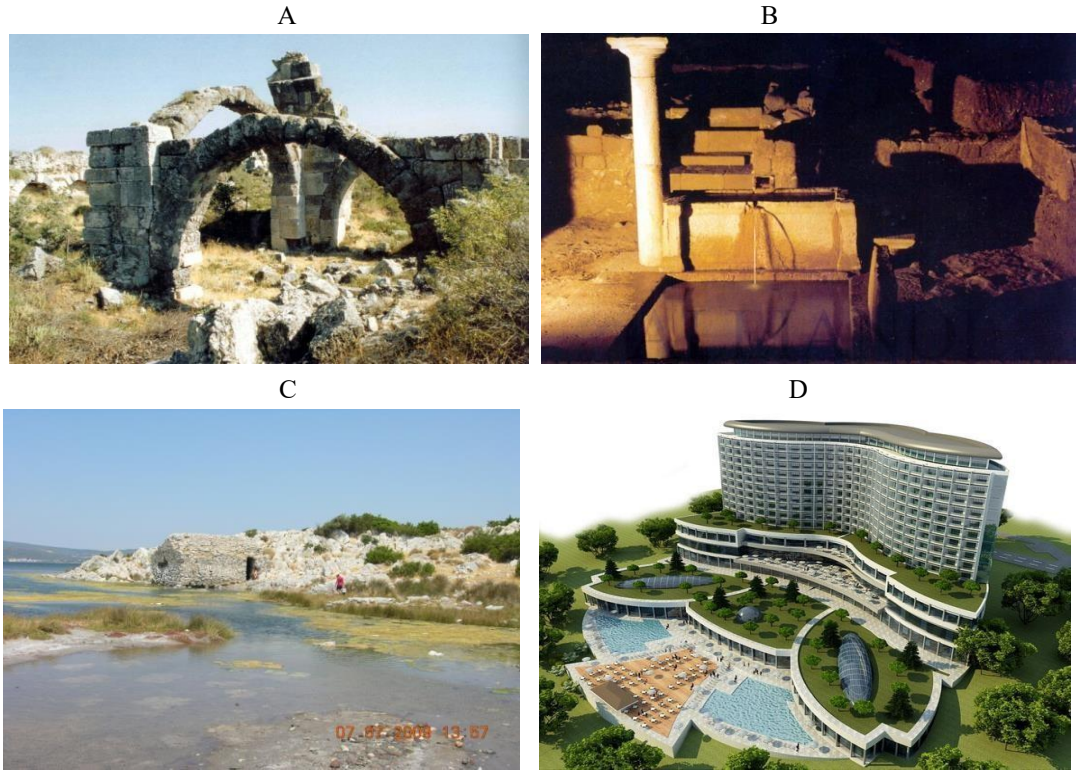
4. 6, JEOTERMAL ENERJİ

GENEL BİLGİLER

MÖ 10.000 yıllarında Akdeniz Bölgesi'nde jeotermal akışkanlardan çanak, çömlek, cam, tekstil, krem üretiminde yararlanılıyordu. MÖ 1500'de Romalılar ve Çinliler doğal jeotermal kaynakları banyo, ısınma ve pişirme amaçlı olarak kullanmıştır. MS 630'da Japonya'da kaplıca geleneği yaygınlaşmaya başladı.

1800'de kaplıca turizmi oluşmaya başladı. 1920'de Kaliforniya eyaletindeki The Gaysers tesislerinde ilk jeotermal kuyular açıldı. 1963'de Türkiye'de ilk jeotermal sondaj kuyusu İzmirBalçova'da açıldı. 1979'da Endonezya'da ilk jeotermal elektrik üretimi gerçekleştirildi. 1996'da Türkiye'de 15.000 konut ana kapasiteli İzmir-Balçova'nın jeotermal merkezi ısıtma sistemi devreye girdi. 2009'da Türkiye'nin en büyük jeotermal santrali (47,4 MWe) olan Aydın-Germencik Jeotermal Enerji Santrali faaliyete başladı.

Yukarıda sunulan bilgiler (https://tr.wikipedia.org/'dan) Dünyada ve Türkiye'de jeotermal kaynakların kullanım tarihinin çok eski olmakla birlikte, son yıllarda jeotermal enerjide önemli gelişmeler olduğuna işaret etmektedir. Şekil 1'deki görüntüler jeotermal enerjinin tarihi ve günümüzdeki kullanımı hakkında bir fikir vermektedir.



Şekil, 1. Jeotermal enerjinin tarihi ve günümüzdeki kullanımı (Baba ve Murathan, 2006). A, Alexandria Troas'daki Herot Attikus'un büyük hamamının kalıntıları (MS 2. yy); B, Allianoi (Bergama) Roma Çağı; C, Gülbahçe (Urla) Cenevizliler; D, Günümüz.

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren doğa kaynaklı sıcak su

ve buhar içeren (Şekil 2) ısı enerjisi olarak tanımlanabilir. Bu enerjiden doğrudan ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılabilir. Eski volkanik bir arazide yüksek sıcaklıkları işaret eden bozuşma zonu, bu sahanın bir zamanlar var olan volkanik faaliyetlerin izlerini temsil eder.



Şekil 2. Jeotermal bir kaynaktan çıkan buharlar (http://www.bilgizenginleri.org/).

Jeotermal sistem, çevresiyle bir bütünsellik sunan ısı kaynağı, ısı taşıyan akışkan, rezervuar, basınç ve sıcaklık koşulları, kimyasal bileşenler, bunların beslenme ve boşalma cephelerini içeren, doğal yollarla birbiri ile bağ oluşturan sistemdir. Jeotermal alan ise, derindeki jeotermal rezervuarın, jeolojik araştırmalarla ve aletsel ölçümlerle sınırları tanımlanmış yüzeydeki iz düşümü olan yeryüzü parçasıdır.

Jeotermal enerji hem düşük karbondioksit oranı ile hava kirliliği yaratmaması ve hem de yenilenebilir olması nedeniyle önemli alternatif bir enerji kaynağıdır. Güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında jeotermal enerjinin kesintisiz üretilebilir olmasından dolayı avantajları vardır. Bu açıdan da bakıldığında jeotermal kaynakların önemi tartışılamaz (Akkuş, 2017).

Ülkelerin kalkınma ve büyüme hızına bağlı olarak enerji gereksinimleri de sürekli olarak artmaktadır. Günümüzde enerji tüketimi gelişmişlik düzeyi ile eş tutulmaktadır. Dünyadaki enerji tüketimi yaklaşık % 90'nı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenecek olması ve yakıldığında havaya verdiği yüksek orandaki kirlilik nedeniyle, alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle son yıllarda fosil yakıtların yerine geçebilecek alternatif enerji kaynaklarının incelenmesi ve yararlanılması konusunda çalışmalar hızlanmıştır.

ÖZELLİKLERİ

Jeotermal akışkanların temel özellikleri aşağıda sunulmuştur (DPT, 2001; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

Jeotermal akışkanların jeokimyasına bakıldığında, özellikle jeotermal sularda yüksek derişimlerde silika, arsenik ve bor bileşiklerinin bulunduğu görülür. Silika derişimi genellikle 100-300 ppm arasında değişir. Bu değer silisyum minerallerinin ortamda çözünmesine bağlı olarak 700 ppm'e kadar çıkabilir. Çözünen silika ortam koşullarına bağlı olarak kuvars, kristobalit, kalsedon, opal veya amorf formda olabilir.

Arsenik, asit olarak H_3AsO_3 veya H_3AsO_4 formlarında bulunur. Bor, sularda borik asit (H_3BO_3) olarak bulunur. Derişimi, organik maddelerce zenginleşmiş çökel kayalarda 1000 ppm'e kadar çıkabilir. Andezitlerden gelen sularda diğer volkanik kayalara oranla çok daha fazla bor bulunur. Klorürlü sular genellikle 10-50 ppm arasında bor içerir. Jeotermal suların özelliklerinin, bu suların içerdikleri katyonlar, anyonlar ve gazlar gözetilerek incelenmesinde yarar vardır.

Katyonlar

Jeotermal sularda Na^+, K^+ gibi alkaliler, Li^+, Rb^+, Cs^+ gibi nadir alkaliler, NH^{+4}, Ca^{+2}, Mg^{+2} gibi toprak alkaliler, Al^{+3} ve Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mn^{+2} gibi geçiş elementleri görülmektedir.

Sodyum ve potasyum, jeokimya değerlendirmelerinde çok karşılaşılan katyonlardır. Jeotermal sulardaki Na/K oranları fazla değişmediğinden jeotermometre uygulamalarında sıkça kullanılırlar. Sıcak sularda Na/K oranı 10'dan büyüktür. Na derişimi 200-2000 ppm arasında değişir. Na/K oranının 15'e yakın ve küçük olması, akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğu "yukarı akış" bölgesini gösterir. Daha yüksek değerler ise yanal akışları ve yüzeye yakın soğumayı belirtmektedir. Ender alkali elementlerden Li, Rb, Cs derişimleri yüzeye yaklaştıkça azalmaktadır.

Termal sulardaki tipik derişimleri Li<20 ppm, Rb<2 ppm, Cs<2 ppm'dir. Bu derişimler, riyolitik, andezitik karakterli rezervuar kayalardan veya benzer bileşime sahip çökel kayalardan gelen sularda 1-10 ppm arasında değişirken, bazaltik ortamdan gelen sularda 0.1 ppm'den küçüktür. Jeotermal sulardaki Ca derişimi, doğada yaygın olarak gözlenen $CaCO_3$ (kalsit, aragonit), $CaSO_4$ (jips), $CaSO_4$.2H2O (anhidrit) ve CaF_2 (florit) ve diğer kalsiyum minerallerinin ortamdaki çözünürlüğü ile ilgilidir.

CO_2 gazının kısmi basıncı $CaCO_3$'ün çözünürlüğü ve çökelmesini etkiler. Ortam basıncı CO_2'nin kısmi buhar basıncının altına düşerse, serbest kalan CO_2 açığa çıkar ve ortamdaki $CaCO_3$ çökelir. Yüksek sıcaklığa sahip sistemlerde, sıcak su içerisinde çözünmüş Ca derişimi genellikle 50 ppm'den küçüktür. Yüksek değerlerin doğrudan rezervuardan beslenmeyi gösterdiği kabul edilmektedir (Nicholson, 1993).

Sulardaki Mg derişimi, suyun içinden geçtiği başta ferro-magnezyum içeren ultrabazik kayalar ve dolomitin çözünürlüğü ile ilgilidir. Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sularda Mg derişimi 0.01- 0.1 ppm arasındadır. Daha yüksek derişimler yüzeye yakın kayaçlardan ya da sığ sulardan karışımı göstermektedir. Alüminyum, klorürlü sularda saptanamayacak derecede az bulunurken, asit sularda kayaların liçi yolu ile binlerce ppm'e ulaşır.

Demir, klorürlü sularda tuzluluk ve pH değerlerine bağlı olarak 0.001-1 ppm arasında bulunmaktadır. 180 °C'den daha yüksek sıcaklığa sahip sular pirit ile denge halindedir. Bu sıcaklığın altında protit ve markazit aşırı doygun haldedir ve buharlaşma ya da soğuma ile çökelme başlamaktadır. Klorürlü sularda demirin daha da fazlalaşması, yüzeye yakın minerallerin asidik sular ile liç olduktan sonra klorürlü sulara karıştığını göstermektedir (Nicholson, 1993). Mangan, jeotermal sularda eser miktarda bulunur. Nadiren 0.01 ppm'i aşar.

Jeotermal sularda amonyum (NH_4^+) iyonu ve amonyak gazı (NH_3) da bulunur. Yüksek miktarda NH_4^+ yüzeye yakın yerde buhar etkisiyle ısınan suların bir ürünüdür. Derin çökel kayalardan gelen sularda da yüksek miktarda NH_4^+ bulunur.

Anyonlar

Jeotermal sularda HCO_3^-, SO_4^{-2}, Cl^-, F^-, Br^- ve I^- gibi anyonlar bulunmaktadır. Bikarbonat derişimi, jeotermal sulardaki toplam karbonat ($CO_{2(suda)}$, H_2CO_3, HCO_3^-, CO_3^{-2}) derişimi, akışkanın pH'sı ve karbondioksit gazının kısmi basıncı ile değişir. Karbon dioksit ile bikarbonat ve karbonat iyonlarının su kimyası üzerinde büyük etkisi vardır. Bu türlerin birbirine oranı suyun pH'sını tamponlayabileceği gibi, özellikle karbonat birçok mineralin çökmesine neden olabilir (Manahan, 1994).

Derin jeotermal sularda sülfat miktarı 50 ppm'den azdır. Yüzeye yakın yerlerde hidrojen sülfürün devreye girmesi ile artış gösterir. Yüzey sularındaki sülfat artışı yüzeye yakın buhar yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır.

Klorür, jeotermal sistemlerin aranması ve yorumlanmasında çok kullanılan bir iyondur. Bir kez çözüldükten sonra başka minerallerin bünyesine kolay girmemesi nedeniyle doğrudan jeotermal suyu karakterize eder. Yüksek derişim doğrudan, derinden ve yüksek debili bir beslenmeyi gösterir. Eş klorür haritaları yüksek sıcaklık bölgelerinin ve fay sistemlerinin bulunmasında kullanılır. Düşük klorür derişimi yüzey sularının giriş doğrultularını belirtir. Kaynama ya da karışım etkilerini gidermek için Cl/B, Cl/As, Cl/ HCO_3^- oranlarından yararlanılır.

Jeotermal sularda florür miktarı genellikle 10 ppm'den daha azdır. Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sularda, CO_2 kısmi basıncının etkisiyle Ca çökelirken, çok miktarda açığa çıkmadığı sürece florür derişimi düşüktür. Volkanik gazların yoğunlaşması sonucu yüzey sularında miktarı artar. Bromür, jeotermal sularda çok az bulunur. Sadece deniz suyu girişimi olan ya da denizden beslenen sistemlerde ve evaporitik serilerden gelen sularda ölçülebilecek seviyededir. Br/Cl, Br/I oranları deniz suyu karışımını gösterir. İyot, evaporitler ve yüzeye yakın organik maddelerce zengin çökel kayaçlardan jeotermal sistemlere geçer.

Jeotermal sular, genellikle alkali nitelikte klorit- bikarbonat- sülfatlı sularla temsil edilir. Bu sular, derinden olası ısı kaynağından kaynaklanan ve yükselen konveksiyon akımı ile uzun bir yol alarak (14 km kadar) Zilan, Diyadin ve Çaldıran alanlarında yüzeye çıkmaktadır (Ercan ve diğerleri, 1993; Ölmez ve diğerleri, 1994). Bu yol boyunca mermer ve kireçtaşı gibi kayalardan geçerken yaygın su/kaya etkileşimi geçiren akışkan, özellikle yöre kayalardan HCO_3^-'i çözer ve bu arada seyrelmiş alkali klorit bikarbonatlı suyu oluşturur. Bu karışım nedeniyle, akışkanın sıcaklığı düşer (Ölmez ve diğerleri, 1994).

Jeotermal sistemlerde azalan sıcaklığa bağlı olarak sistemin kimyasal bileşimi de değişmekte ve bikarbonatın egemen olduğu su oluşmaktadır. Tendürek jeotermal alanında olduğu gibi, sular ve gazlar farklı çıkış yollarını kullanarak yüzeye çıkmaktadır (Ölmez ve diğerleri, 1994).

Bir sistemdeki su / kaya oranı ile ilgili parametreler akışkanın yeraltındaki kalışı ile ilgili olarak değişmekte, bu da akışkanların farklı yollar izlemleri sırasında farklı oranlarda su ile kaya etkileşimine ve karışımlarına yol açmaktadır. Bunların dışında özellikle Batı Anadolu'daki sahalarda alkali klolit – bikarbonat – sülfatlı sular yaygındır. Buradaki sülfatın kökeni derinde ısınmış ve yüzeye çıkmış suyun içinden ayrılan H_2S'in oksidasyon olayı ile karşılaşmasından ileri gelmektedir. Bu tip sulardaki Cl'in bazen düşük derişimde olmasının nedeni yükselmekte olan sıcak akışkanın bu arada soğuk yeraltı suyu ile karşılaşmasından ileri gelmektedir. Bu tip akışkanlardaki azalan Cl ve artan HCO_3^- seyrelme ve artan su ile kaya etkileşimine işaret eder.

HCO_3 kapsayan sıcak akışkanlar, CO_2 nin düşük sıcaklıklarda HCO_2 'e dönüşmesiyle, yani CO_2'nin kısmi basıncının düşmesi olayı ile oluşur. Aynı ortamda bulunan SO_4'ün kökeni ise yine ortamda bulunan H_2S in farklı seviyelerde oksijenle reaksiyona girmesiyle oluşur. Bu arada Cl derişimi azalır ve HCO_3^- artar.

Yüksek bikarbonat içerikleri, CO_2'ce zengin suların yöredeki kayalarla ile reaksiyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Sodalı kaynakların düşük sıcaklıklarda tam dengeye ulaştıkları bilinmektedir (Ölmez ve diğerleri, 1994). Bu olaylarda özellikle yükselen derin kökenli alkali kloritli suların CO_2'ce zengin soğuksular içinde uzun süreli yanal hareketinden seyrelmiş alkaliklorid- bikarbonat- sülfatlı sular oluşmaktadır, Zilan, Diyadin, Nemrut, Acıgöl, Ziga sahaları bu tip suların oluşumuna sahne olmaktadır. Bir sistemdeki su, kapsadığı çözünmüş CO_2 nin kaybı ve dolayısı ile silikat çözme kabiliyetini kaybetmesi sonucu, yörede yaygın kalsiyum karbonat çökelmesi gerçekleşmektedir (Browne, 1991) Yüksek sıcaklıktaki derin kökenli alkali kloritli akışkanların özellikle rezervuar kayasının mermer/kireçtaşı olduğu durumlarda uzun süreli etkileşimleri sürecinde yüksek oranda soğuksu ile karışmaları ve kireçtaşından

çözünmeleri sonucu seyrelmiş alkaliklorid - bikarbonatlı akışkanları oluştururlar. Bunların boşalım yaptığı yerlerde ya da yeraltında sarı, bej, kahve renkli, beyaz renkli traverten katmanları oluşur. Böyle bir çökelmede kalsit CO_2 kaybına bağlı olarak oluşmaktadır. Çökelmenin nedeni boşalan suyun soğuması ile ilgili değildir (Ölmez ve diğerleri, 1994).

Türkiye'deki çoğun jeotermal sistemlerde rastlanan bir olay yükselen alkali kloritli ve bikarbonata doygun suyun yükselimi sırasında CO_2'nin kısmî basıncının, bu akışkanın bir kırıkla karşılaşması durumunda aniden düşmesiyle, akışkandaki $CaCO_3$'ün kırk ya da boşluklar boyunca çökelerek bu kırığı doldurması ile sonuçlanmasıdır.

Jeotermal sistemlerdeki anormal ısının bir miktarı da sıcak mantodan sağlanmaktadır. Üretim yapılabilen kuyulardaki H_2S miktarı ile demiroksit ve sülfid arasında yakın ilişkiler vardır. Bir jeotermal sistemde akışkanlar farklı yollar izleyerek yüzeye çıkıyorlarsa, bu yollar boyunca akışkanların farklı nitelikler kazanmaları doğaldır.

Bazı gazlar

Türkiye'deki aktif kuşaklarla (Tendürek, Hasan Dağı Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Batı Anadolu) ilişkili çeşitli jeotermal sistemlerden alınan gazların laboratuvar incelemeleri sonucu yapılan analizlerle birleşimlerinin büyük bir kısmının CO_2 ve az olarak da O_2, N_2, CH_4, C_2H_6 ve H_2S olduğu saptanmıştır (Ercan ve diğerleri, 1993). He gazlarının bulunduğu bir sistemde He'un kaynağı mantodur. He, kabukta bulunan U ve Th'un radyoaktif parçalanması sonucu ortaya çıkmaktadır.

Jeotermal akışkanlarda bulunan Ne, Ar, Kr içerikleri havada ya da yeraltısuyunda çözünmüş gazlarda bulunur. Bu yüzden, gazlar jeotermal akışkanlardaki meteorik katkıları denetlemede kullanılır. Nemrut kalderasından alınan gaz örneklerinde manto kökenli helyum gazına ek olarak Ne, Ar ve Kr' a rastlanılmıştır. Nemrut jeotermal alanında bulunan manto kökenli gazlara ek olarak havada ve yeraltı suyunda çözünebilen gazları da saptanmıştır. Nemrut jeotermal alanında derin yerlerde bulunan jeotermal akışkanlara ek olarak meteorik kökenli katkıları (soğuk yeraltı suyu) vardır. Bu da olasılıkla Nemrut gölüne ait soğuk suyun aşağı doğru sızması sırasında yükselen derin kökenli jeotermal akışkanların karışmasından ileri gelmektedir (Ölmez ve diğerleri, 1993).

Türkiye'deki çoğu derin kökenli jeotermal akışkanları yüzeye taşıyan faylar, aynı zamanda manto derin kesimlerde bulunan uçucuları yüzeye taşır. Türkiye'deki çoğu hidrotermal sistemlerden boşalan gazlara ait He izotopik bileşimleri; volkanizma ile ilişkilidir (Ölmez ve diğerleri, 1994; Ercan ve diğerleri, 1993). Boşalım yapan CO_2 ise özellikle CO_2'ce zengin magmatik ortamdan sağlanmaktadır.

Doğu Anadolu'da Tersiyer yaşlı volkanizma derin kırık sistemlerinden yüzeye çıkmıştır. Çarpışma sonrası kabuk kalınlaşması oluşmuş, kabuk kalınlaşması ile ilişkili olarak oluşan volkanizmaya bağlı olarak Doğu Anadolu'da şimdilik sönmüş olan Ağrı, Süphan, Nemrut ve Tendürek volkanları meydana gelmiştir. Doğu Anadolu'daki jeotermal sistemler, çarpışma sonrası magmatizmanın güdümünde olasılıkla manto ile bağlantılı derin faylar boyunca oluşmuşlardır.

Türkiye' nin termal sularının debi ve sıcaklıkları, fiziksel, kimyasal ve şifa özellikleri, coğrafi konumları Avrupa' daki termal sularla kıyaslandığında, ülkemizdeki termal suların daha nitelikli özellikleri olduğu söylenebilir.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Jeotermal akışkanların kökeni Yer'in kendisidir. Yer' in içi sıcaklığını koruduğu sürece, jeotermal kaynakların yenilenebilir bir enerji formu olduğu kabul edilebilir. Ne var ki, bir jeotermal kaynağın oluşabilmesi için asgari bazı koşulların da olması gerekmektedir. Bu çerçeveden bakıldığında Jeotermal sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır. Bunlar, başlıca ısı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan ya da ileten akışkandır (Yılmaz 2009; ve içindeki kaynaklar):

Örneğin, yer kabuğunun altında yer alan mağma, yer kabuğunun yüzeye yakın yerlerdeki çatlak ve yarıklarından sızarak aşağıya derine inen yağmur ve kar sularını ısıtır. Yer altında oluşan büyük basıncın etkisiyle tekrar yukarıya yönelen ısınmış sular; kuru buhar, yüksek ısılı su veya her ikisi birden, yine çatlak ve kırıklardan yeryüzüne çıkarlar. Bu olay sürekli yinelendiğinden jeotermal enerji "tükenmeyen bir doğal güç" olarak enerji türleri arasında yerini alır (Kagel, 2008). Yer içinin sıcaklığı jeotermal enerjinin oluşumunda önemli bir unsur olup, sıcaklığın düzeyine göre Jeotermal enerjiler üç gruba ayrılırlar (Akkuş ve Alan, 2016). Bunlar:

1. Düşük entalpili sahalar (20-70 °C sıcaklıkta),
2. Orta entalpili sahalar (70-150 °C sıcaklıkta),
3. Yüksek entalpili sahalar (150 °C yüksek sıcaklıkta).

Genel olarak hidrotermal sistemler irdelenirken ısıtıcıların volkanizma ile ilişkileri ve sıcak suların bir zamanlar bulunduğu ortamlardan zamanımıza kadar geçirdikleri evreler de gözetilmektedir. Bu sistemler değişik araştırmacılar tarafından sınıflandırılmıştır. Muffler (1976) tarafından yapılan sınıflama genel kabul görmektedir. Muffler (1976) yer kabuğundaki ısı transferi, mağmatizmanın bileşimi ve yapısı ile levha tektoniğindeki yerini gözeterek, hidrotermal sistemleri mağmatizma ile ilişkili olanlar ve mağmatizma ile ilişkisi olmayanlar biçiminde ayırmıştır.

Mağmatizmaya bağlı sistemleri, sıcak kuru kaya, konvektif hidrotermal sistemler olarak; mağmatizmaya bağlı olmayanları da düşük gözenekli ve yüksek gözenekli sistemler olarak tanımlamıştır. Ancak, yukarıda sunulan sistemlerden doğal çatlak ve gözenek geçirgenliği taşımayan, ancak yine de yüksek geçirgenliğe sahip (granit gibi) kayalar sıcak kuru kaya, ya da kısaca HDR (hot dry rock) olarak adlandırılmaktadır (Burçak, 2015).

Son yıllarda ABD, Kanada ve Yeni Zelanda'da yapılan çalışmalarda, yaşlı ve sönümlenmekte olan magmatizmanın genç daykların etkisiyle sıcak bir ivme kazandığı ileri sürülmüştür. Örneğin, Tuzla jeotermal alanında sıcak suların ısıtıcı kayası granitlerdir (Gevrek ve Şener, 1984). Oysa Batı Anadolu ve İç Anadolu'da görülen granitlerin yaşı Alt Miyosen (21.5 m.y.) dir. Tuzla sahasında, Dünya'da ve Türkiye'de örnekleri görülen birçok yer gibi, graniti keserek yüzeylenen ve bu granitten daha genç olan dayklar, granit kütlesini besleyerek hidrotermal sistemin etkisini sürdürmesini sağlamaktadır.

Türkiye'deki çoğu sıcak suların ısıtıcıları volkanik kökenli olmakla birlikte, sıcak suların çoğunlukla ısıtıcı kayaları olan granitler oldukça yaşlıdır. Türkiye'de tüm ısıtıcı kayalar yaşlı olmakla birlikte bu kayaları kesen genç dayklar da vardır. Örneğin, Nemrut volkanında en son püskürme 1453 yılında olmuştur (Ölmez ve diğerleri, 1993).

Volkanik kökenli bir jeotermal sistemde, ısı kaynağı olan derinlik kayalarının kabukta yükselerek yeniden kristallenmesi ve soğumasıyla içinde, hidrotermal konveksiyon sistemi oluşur. Bu hidrotermal konveksiyon sistemini çalıştıran ısı kaynağı, daha derinde yer alan bir magma kütlesi olmalıdır. Bu kütle, bazaltik ve riyolitik kayaların yanı sıra dayk karmaşığı ve magma odalarından oluşur.

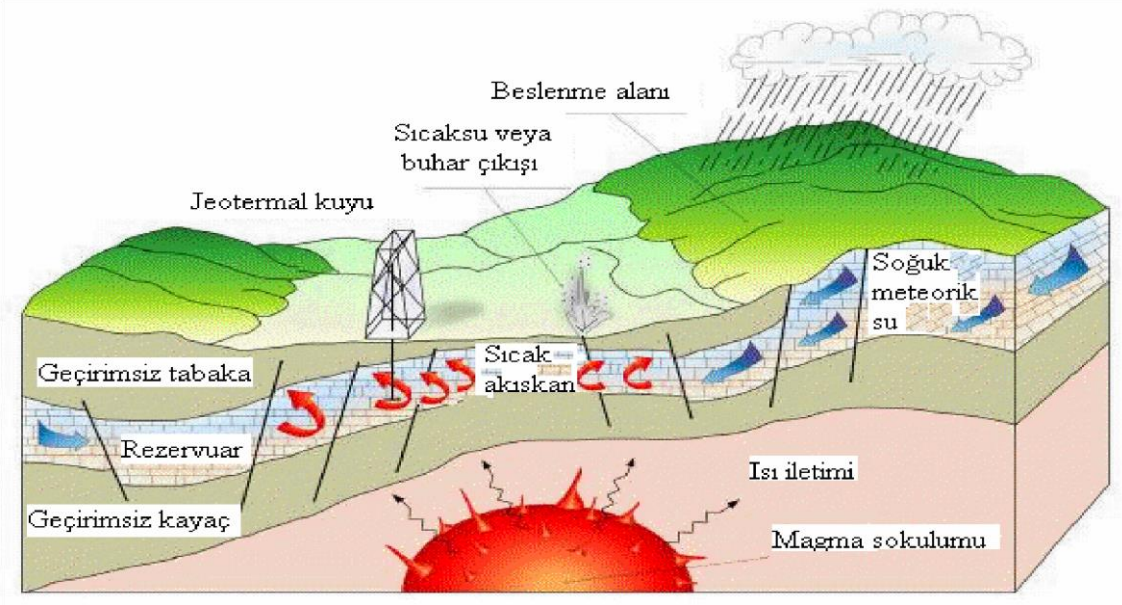
Bir volkanik arazide, farklı birimler farklı zamanlarda oluşmuştur. Bir sistemdeki hidrotermal konveksiyon olayı, altta yer alan magmatik potansiyele bağlı olarak gelişir. Aktif bir jeotermal sistem, aktif bir magmatik sistem tarafından desteklenmektedir. İşletilebilir derinlikteki bir jeotermal sistemde yüksek gözeniklilik, yüksek geçirgenlik (permeabilite), uygun boyut, yüksek sıcaklık ve akışkan kalitesi gibi özellikler aranmaktadır. Ayrıca sistemin geçirgenliğini koruyabilmek dolayısıyla etkinliğini sürdürebilmek için bölgede periyodik faylanma / kırıklanma olayları sürmelidir (Muftler, 1986).

Türkiye'de aktif ya da eski volkanik bölgelerde bulunan manto kökenli helyum, sıcak sularla birlikte boşalan gazlarla atmosfere taşınmaktadır. Ayrıca bazı boşalım yapan jeotermal sistemlerde (Nemrut Kalderası) bulunan asal gazların varlığı, yükselen jeotermal akışkanlara meteorik kökenli katkıların

olduğunu göstermektedir. Örneğin, mantodan kaynaklanan CO_2'ce zengin gazlar, CO_2'ce zengin magmatik ortamlardan sağlanmaktadır.

Jeotermal kaynaklar jeolojik yapı gözetilerek bir sistem dâhilinde irdelenir. Bir jeotermal sisteme ait jeolojik model, üç bölümde irdelenebilir: Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan (Şekil 3). Bunlar ayrıca, konveksiyon sisteminin ısı kaynağı, magmatik kaya biriminin varlığı ve ısı transfer mekanizması ile geometrisi olarak tanımlanabilir. Jeotermal akışkanlar fay kuşakları boyunca yer yüzeyine çıkarlar. Yüksek sıcaklıklı sular, alkali kloritli jeotermal akışkanlar olarak tanımlanır. Sıcak sularda bulunan gazlar başlıca CO_2 H_2S ve SO_2'dir.

Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı (>600 °C) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle birlikte artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan- ortalama 2,5-3 °C/100 m) olabilir. Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devir daim edebileceği çatlaklı (permeable) kayalardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz katmanlar bulunmaktadır. Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO_2, H_2S gibi) içerir.

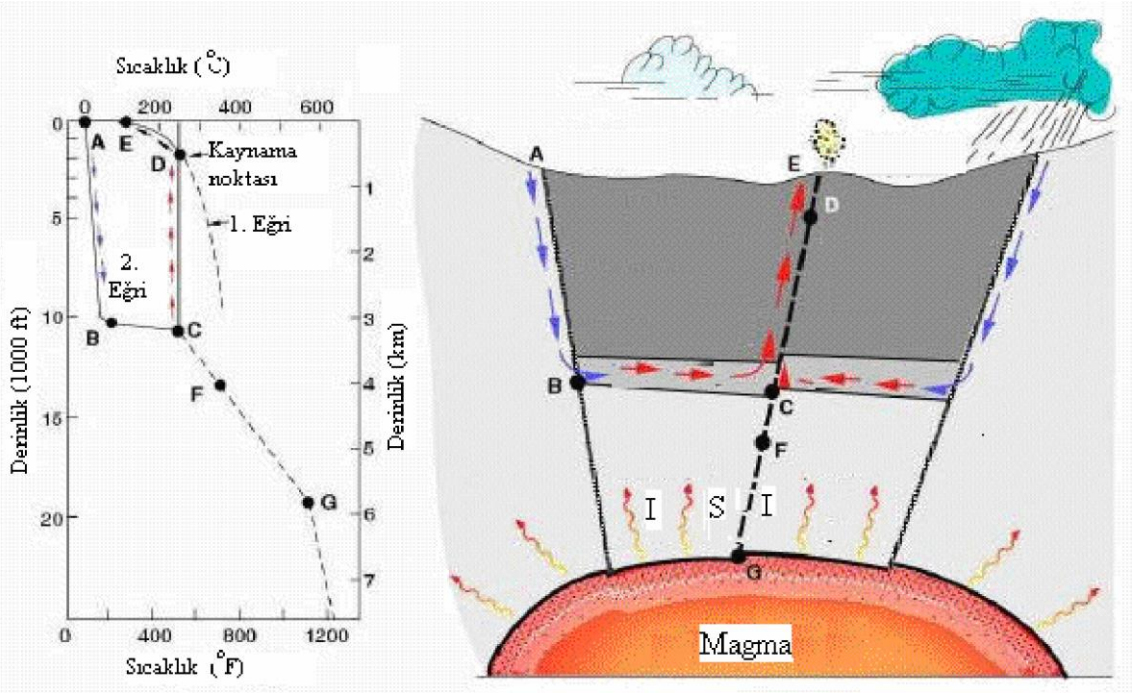


Şekil 3. İdeal bir jeotermal sistemin yapay görünümü (www.maden.org.tr).

Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletmesi üzerinedir. Şekil 4'de orta sıcaklıklı jeotermal sistemdeki mekanizma basitçe gösterilmektedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genleşmesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak geleneksel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir.

Yukarıda gösterilen modelleme oldukça basittir. Gerçek jeotermal sistemler için yapılacak iyi bir modelleme oldukça zordur. Yapılacak modellemede yüksek sıcaklığa bağlı olarak çok disiplinli ve geniş bir çalışmaya gereksinim vardır. Jeotermal sistem jeolojik özelliklerin yanı sıra fiziksel ve kimyasal özelliklerin de değişimine bağlı olarak oluşur.

Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır. Diğerleri sisteme sonradan eklenebilir. Örneğin, elektrik üretiminde kullanılan akışkan faz su ve buhar olarak ikiye ayrıldıktan sonra atık hale gelen su tekrar yeraltına enjekte edilerek tekrar kullanıma sunulabilir.



Şekil 4. Jeotermal sisteme dair bir model. 1. eğri saf suyun kaynama noktasını, 2. eğri ise A noktasından beslenen ve E nokrasından boşalan suyun devir daim sıcaklık profilini göstermektedir (www.maden.org.tr).

1980'li yıllarda Ellis-Henley'ce geliştirilen başka bir kurama göre jeotermal sistemler iki şekilde oluşmaktadır.

1) Düz arazide (Flat terrain) oluşan sistemler:

Altta gömülü, üstte izi olmayan, volkanizma ile ilişkili sistemlerdir. Bu modelde, üstte uzanan geniş hidrotermal sistemin altında yine geniş, aktif bir magmatik sistem tarafından desteklendiği, ya da zayıf, düşük potansiyelli bir hidrotermal sistemin altında ise bunu destekleyen zayıf bir magmatik sistemin olabileceği düşünülmektedir.

2) Engebeli arazide oluşan (Step terrain) sistemler:

Özelikle kaldera gibi yapıların bulunduğu bir volkanik arazide oluşan volkanlar ve bunların altındaki ısı kütlesi ile ilgili olarak oluşan hidrotermal sistemlerdir. Böyle bir kaldera ortamında altta uzanan batolit, kütlesi termal bir kaynak olabilir.

Jeotermal enerji üretebilen bir hidrotermal konveksiyon sistemin potansiyeli, altta uzanan magmatik sistemin potansiyeline bağlı olarak değişmektedir. Tendürek jeotermal alanı, Doğu Anadolu'da, İran sınırına yakın bir yerde bulunur. Tendürek volkanı iki koni kapsamaktadır. Birinci koni, kuru olup sadece gaz çıkışı yapmakta, ikinci koni ise bir göl ve bu gölü çeviren ring fayı boyunca buharla ısıtılmış su kapsayan çıkışlar bulunmaktadır. Tendürek volkanından ısınarak, Çaldıran, Zilan ve Diyadin (Ağrı) jeotermal alanlarını oluşturan hidrotermal sistemler, Tendürek volkanından itibaren yaklaşık 14 km'lik bir yol almaktadır. Bu sistemler, kıta içi volkanizmanın ürünü jeotermal sistemlerdir (Ölmez ve Ercan, 1996).

Eski volkanik sahalarda yaygın ve değişik bozuşma sistemleri, bu sahaların bir zamanlar geçirmiş oldukları geniş hidrotermal sistemlerin varlığını göstermektedir. Bu hidrotermal sistemler başlıca 4 evre ile (Çizelge,1) karakterize edilmektedir (Ölmez ve Ercan, 1996).

1. Evre ile karakterize edilen sistem, ısıtıcısının volkanizma olduğu, fakat yeterli sıcaklık içermeyen ve dolayısıyla **düşük entalpili bir akışkanın** bir zamanlar ısıtıldığı bir sistemdir. Bu sisteme ait suların sıcaklığının da ısıtıcısının soğumasına bağlı olarak düşmesi de olağandır.
Türkiye'de özellikle ana kayası ofiyolitli karışıklıklarla temsil edilen bir birimde, fay zonu boyunca yükselen bir jeotermal akışkan varsa, bu zon boyunca çökelen bozuşma minerali de lisvenittir.

Daha önceleri de belirtildiği gibi, bir jeotermal sistemin varlığını sürdürebilmesi için bölgede olması gerekli aktif faylanmalar, tıkanan akışkanın yeni bir akış kanalı bularak yükselmesine neden olur. Bu tip sistemlerde rezervuar sıcaklıkları genelde % 70 CO'dir. Bu evreyi karekterize eden bir diğer örnek de Afyon Hüdai yöresidir. Sahada sistemin bir zamanlar düşük sıcaklık evresi geçirdiğini belgeleyen yaygın traverten domları bulunmaktadır. Şu anda ise sistemin soğumakta olduğunu belgeleyen güncel Fe ve traverten çökelleri bulunmaktadır.

Çizelge 1. Kıta içi hidrotermal sistemlerin gelişim evreleri ve bazı özellikleri (Galley and Jomasson, 1992).

1. Evre > 150 °C	Soğumakta olan volkanik etkinlik	Sığ orijinli ve düşük sıcaklıklı yarı uygun bozuşma zonları	Saçılmış halde hidrotermal Fe ve Mn oksit ve karbonat oluşumları
2. Evre 250-350 °C	Yüksek kodlara ulaşan subvolkanik intrüzyon	Stok halde, düşükten yüksek sıcaklığa kadar değişen yarı uygun bozuşma zonları	Fay zonları boyunca sülfat- silikat çıkışları
3. Evre 250-350 °C	Sinvolkanik faylar boyunca uzanan besleyici subvolkanik dayk toplulukları	Yüksek sıcaklıkta rezervuarı besleyen akışkan zonları	Fay zonları boyunca silikat çıkışları
4. Evre >150 °C	Soğumakta olan subvolkanik intrüzyonlar	Yüksek sıcaklıklı bozuşma sistemlerinin sona ermesi	Sülfitli tepeler üzerinde uzanan düşük sıcaklık belirteci olan Fe-Mn oksit ve çört oluşumları

2. Evreyi karakterize eden (500 ^{0}C - 350 °C), ısıtıcı kaya ise **yüksek kotlara ulaşan subvolkanik sokulumlardır.** Bu evreyi temsil eden hidrotermal sistemlere örnek, Tuzla sahasıdır. Tuzla jeotermal alanı, bir zamanlar yüksek sıcaklık geçirmiş, fakat volkanik etkinliğin zamanla azalması ile hidrotermal sistem eski sıcaklığını, yitirmiştir. Bu bölgede yaygın hidrotermal silis bulunmakta olup saha bir zamanlar 180 ^{0}C'nin çok üzerlerinde bir sıcaklığa sahipti. Günümüzde ise fosilleşmiş eski yüksek sıcaklıklı sistemin izlerini taşıyan bozuşmaların üzerine, güncel boşalımları karakterize eden Fe, Mn ve traverten oluşumları görülmektedir (Gevrek ve Şener, 1984).

Tuzla tepe sahası iki taraflı doğu-batı gidişli faylarla sınırlı (güncel boşalıma ait sistem) bir jeotermal alan ile karekterize edilir. Burada görülen yüksek kotlara ulaşmış volkanik sokulumlar, Tuzla tepe boyunca uzanan fay ve kırıklar boyunca yüzeylenen jeotermal akışkanlara ivme kazandırmıştır ve bu genç volkanitler sistemin tekrar canlanmasına neden olmuştur.

3. Evreyi içine alan ve volkanizmaya eşlik eden faylar boyunca uzanan besleyici **subvolkanik dayk toplulukları**nın oluşturduğu hidrotermal sistemler ile ilgili yapılardır. Bunlara ait

rezervuar sıcaklıkları 250 ^{0}C ile 350 ^{0}C arasında değişmektedir. Bu evreyi karekterize eden sahalar, Tuzla jeotermal alanı ile Acıgöl (Aksaray) jeotermal alanıdır.

4. Evreyi (<150 ^{0}C) karakterize eden sahalar ise oldukça yaygındır. Bu sistemler, **soğumakta olan subvolkanik intrüziyonlann** oluşturduğu hidrotermal sistemlerce temsil edilmektedir. Burada üzerinde yüksek sıcaklıklı fosil sisteme ait bozuşma izleri ve bunların üzerinde de bu fosil bozuşma sistem üzerine gelen güncel bozuşma izleri görülmektedir. Fe, Mn oksitler ve çört, düşük sıcaklık belirteci olarak kabul edilmektedir (Ölmez ve diğerleri, 1994).

4. Evreye en güzel örneklerden biri de İzmir- Aliağa jeotermal alanıdır. İncelenen alanında yaygın subvolkanik intrüzyonlar bulunur. Yörede bir zamanlar sistemin kapsadığı yüksek sıcaklık izleri olan fay zonları boyunca uzanan fosil hidrotermal silis yer almaktadır. Bu da 210 ^{0}C'yi göstermektedir. Sisteme bağlı olarak yüksek Fe ve az traverten oluşmaktadır. Bu ise bir zamanlar yüksek sıcaklık kapsayan sistemin zamanla soğuyan ısıtıcısına bağlı olarak soğuduğunu göstermektedir. Güncel sistemin yaklaşık hazne sıcaklığı 70-80 ^{0}C arası olup sistemin aktivitesi sürmektedir. Şu anda sahada boşalan sıcak akışkanların kaynak sıcaklıkları 40–56 ^{0}C arası değişmektedir.

4. evreye ait bir diğer örnek Ankara- Beypazarı Dutlu jeotermal sahasıdır. Sahada birbirine koşut fay sistemleri bulunur. Bu fay sistemlerinde yüksek sıcaklıktaki akışkanlarım boşaldığı zonlarda hidrotermal silis ve diğer bozuşmalar gelişmektedir. Sistemin bir zamanlar 230 ^{0}C'ın üzerinde olan bir sıcaklıkta boşaldığı kabul edilmektedir. Jeotermal sistemde bölgedeki periyodik deprem hareketleri yüzünden daha sonraları oluşan yeni fay sistemleri ile sıcak akışkanın devamlılığı sağlanmıştır. Bu sahada güncel Fe ve traverten çökeltmekte olup, sistemin çalışması diri faylarla sağlanmaktadır.

Bir zamanlar yüksek sıcaklık geçirmiş bu evreye ait bir başka örnek de Acıgöl sahasıdır (Ölmez ve diğerleri, 1992). Sahaya ait veriler özellikle Narköy yöresinde sistemin bir zamanlar 200 ^{o}C'nin çok üzerinde boşaldığı, aktüel sistemin şu andaki sıcaklığının 120 ^{0}C (hazne) olduğu düşünülürse, en azından 80 ^{0}C'lik bir düşmenin olduğu kabul edilebilir.

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Öncelikle, jeotermal enerji tesisleri, sıcak erimiş kayanın yeryüzünün kabuğuna yakın olduğu ve sıcak su ürettiği jeolojik "sıcak noktaların" yakınında yer almalıdır. Diğer bölgelerde, daha derin jeotermal kaynaklara ulaşmak için daha derin kazının da yapılmasını içeren sondajlarla enerjiye ulaşılabilir. Bu gibi durumlarda yeraltındaki jeotermal rezervuarların tatlı su akiferlerinin de altında olduğu göz ardı edilmemelidir. Böyle bir durumda tatlı su akiferlerinin korunması son derece önemlidir.

Son yıllarda jeotermal enerjinin üretiminde ve teknolojisinde yeni gelişmeler olmaktadır. Özellikle, yeni enerji dönüşüm teknolojileri ve geleneksel sistemlerin dışında yeni jeotermal sistemler denenmektedir. Jeotermal elektrik santralleri ve kuyu içi pompaları gibi yeni teknolojilerin yanı sıra sıcak kuru kaya çalışmaları ve rezervuarlardan daha yüksek verim elde etmek üzere geliştirilen teknikler önemli gelişmelerdir. Özellikle ikili sistemler ülkemiz için önemlidir. Bu sistemler iki fazlı, kombine ve modüler olarak geliştirilmiştir. Bu sistemlerin verimliliği giderek artırılmaktadır. Ayrıca yüksel entalpili jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisinin elde edilmesi söz konusu olduğunda, verimi daha yüksek olan radyal iç akışlı türbinlerin tercih edilmesi de kaynak kullanma verimini artıracaktır (Akkuş ve Alan, 2016).

Doğal çatlak ve gözenek permeabilitesini içermeyen ve yüksek sıcaklığa sahip kayalar (örneğin granit) "Hot Dry Rock: Kızgın Kuru Kaya" kısaca HDR olarak adlandırılmaktadır. Doğal çatlak ve permebilitesini içeren ancak ekonomik miktarda akışkan içermeyen sistemler ise "Geliştirilebilir Jeotermal sistemler" olarak adlandırılır. Bunlara da kısaca EGS (Enhanced Geothermal Systems) sistemleri denilmektedir. Bu iki tanımlama birbirine yakın sistem tanımlamaları olup, tek fark tanımlanan kaya tipidir. HDR sistemlerinde kaya tipi magmatik genellikle granitik kayalar iken, EGS sistemlerinde kaya tipi çökel havza tipi kayalardır. Son zamanlarda EGS sistemleri her ikisini de kapsayacak bir terim olarak da kullanılmaktadır (Burçak, 2015). Bu çerçevede, jeotermal kaynakların arama, planlama ve hazırlık,

kullanılacağı amaca uygun yapıların inşaat, işletme ve işletme sonrası iyileştirme evreleri gözetilerek üretim yöntemi ve teknoloji ele alınmalıdır.

Arama, planlama ve hazırlık evresi

Jeotermal kaynaklara yönelik arama geliştirme çalışmalarında jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve jeofizik gibi ilgi alanlarının katkısı büyüktür. Ağırlıklı olarak jeotermal kaynaklar konusunda deneyimli bir jeoloji mühendisinin sorumluluğunda jeolojik prospeksiyon, jeolojik harita ve kesitler, jeokimya, hidrojeokimya, sondajlar, kuyu içi loglar, test ve ölçümler, korunması gereken duyarlı alanlara dair raporlar hazırlanmalıdır. Kuyular özenle açılmalı ve kuyuya dair verilerin çok iyi toplanıp raporlanması gerekmektedir.

Jeotermal sahaların mevcut durumunun 'havza düzeyinde' tanımlanması ve geliştirilmesi tercih edilmelidir. AR/GE projelerinin de bir strateji çerçevesinde yürütülerek yeni sahaların keşfi, geliştirilmiş jeotermal sistemler ve kızgın kuru kaya araştırmalarının yapılması hedeflenmelidir.

Jeotermal kaynakların **arama evresi** çalışmalarında görünürde önemli bir çevresel sorun beklenmemektedir. Ancak, sondaj çalışmaları da bu evreye dâhil edilirse ve buna planlama ve hazırlık evresi eklendiğinde çevrenin mutlaka etkilenebileceği göz ardı edilmemelidir, Şekil 5'de bu evreyi karakterize eden bazı görüntüler sunulmuştur. Sondajların yere özgü planlaması ya da uygun ekipmanın kullanılmaması halinde çevrede kolaylıkla görüntü ve su kirliliği meydana gelmektedir. Oluşan bu kirliliğin, yerüstü ve yeraltı sular ve toprak dâhil çeşitli kaynakları kirletmesi kaçınılmazdır.



Şekil 5. Sondajların uygun teknikler ve yere özgü yapılmaması ile oluşan kirlilikler (Baba ve Murathan, 2006).

Jeotermal reenjeksiyon kuyuları, soğutulmuş jeotermal akışkanlardan enerji çekildikten sonra tekrar toprağa enjekte etmek için kullanılır. Bu kuyular, jeotermal enerji üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak ve jeotermal rezervuarların tükenmesini önlemek için önemlidir. Jeotermal reenjeksiyon kuyularının güvenli ve etkin çalışmasını sağlamak için dikkatle kontrol edilmeli ve izlenmelidir. Özellikle enjeksiyon kuyularındaki muhafaza borularında kaçak olup olmadığını ve boru arkasında kötü çimento, kanallaşma veya hiç çimento olmaması nedeniyle üst taraflarla irtibatlı olup olmadığı testlerle belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bu işlemler henüz Türkiye'de mevzuat eksikliği nedeniyle yapılmamaktadır. Özellikle enjeksiyon kuyuları denetlenmelidir. Bütün enjeksiyon kuyularının % 100

sağlam olması mümkün değildir. Mutlaka yer altı sularına karışan ya da istenildiği yere basılamayan akışkanlar vardır. Bu nedenle kuyuların periyodik olarak denetimi gereklidir (Tuğran, 2022).

Dolayısıyla, bu aşamada, kuyu planında yüzeye yakın yer alan tatlı su akiferinin tüm kalınlığı boyunca muhafaza borusu ile kapatılarak çimentolanması ve delinen kuyu ile ilişkisi kesilmelidir. Bu bağlamda planlanan jeotermal sondajların çevreye olası etkilerini en alt düzeye indirmek için aşağıdaki hususlara uyulmasında yarar vardır (Şimşek ve Rabet, 2016):

1- Jeolojik yapıya uygun kuyu planının ve risk analizinin yapılması,
2- Kuyu planına uygun makine ve ekipmanın seçilmesi,
3- Tatlı su akiferini koruyacak şekilde çamur ve çimentolama malzemelerinin seçilmesi, 4- Uygun kuyu başı donanımı ve kuyu denetim sistemlerinin seçilmesi, 5- Deneyimli bir ekip ile çalışmaların yürütülmesi.

Ayrıca, su ile sondajın yapılması kirlilik oluşturduğundan, hava paketi ile sondajın tercih edilmesinde yarar vardır. Ülkemizde hava paketi ile yapılan sondajlar çok az yerde yapılmış ve ne yazık ki yaygınlaştırılamamıştır (NTS 2403, 2014; Tuğran, 2022'den). Yapılan sondajlarda, çimentolama genellikle sağlıklı yapılmamaktadır. Çimentolamada sirkülasyon kesilmeden işlem sonlandırıldıysa, çimento düzeyinin düşeceği hesaba katılarak anülüse hiç su kaçırılmaması ve prizlenme sonrasında spool vanadan çimento basılması gerekir (Tuğran, 2022).

Planlama ve hazırlık evresinde jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verilerin yanı sıra jeofizik ve sondaj verilerinden de yararlanarak jeotermal alanın üç boyutlu bir modelinin oluşturulmasında yarar vardır. Böyle bir model inşaat ve işletme evrelerindeki çalışmaları yönetmede kolaylıklar sağlar. **'Jeotermal Model'** oluşturmanın güçlükleri olmasına karşın, bu konuda yoğun bir çaba vardır (Grant ve Bixley, 2011). Bu tür modellerin güvenilir verilere dayalı oluşturulması, jeotermal kaynakların yerüstü ve yeraltı su kaynakları ile ilişkilerini izlemede, dolayısıyla çevrenin korunmasına katkı sağlayabilir.

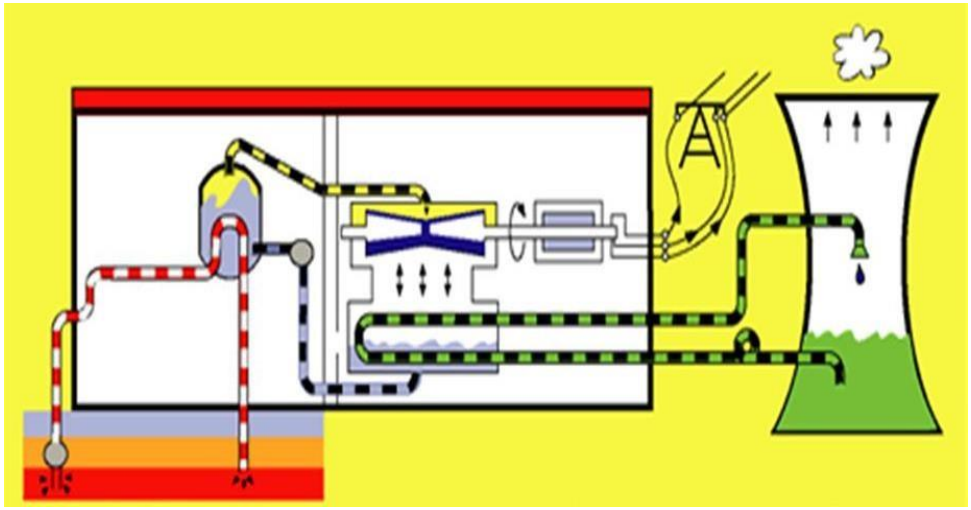
İnşaat evresi

Jeotermal kaynaklar için öngörülen inşaat evresi, jeotermal kaynağın hangi amaçla kullanılacağı gözetilerek uygun yapılar tasarlanır. Bu çerçevede öngörülen yapıların ya da tesislerin yer seçimi önemlidir. Ayrıca seçilen yere özgü yapının **inşaat evresinde** çevresel sorunlarla elbette yüz yüze gelinmektedir.

Termal kaynakların değerlendirilmesinde kimi zaman kaynağın potansiyelini aşan çok daha büyük tesislerin yapıldığına tanık olunmaktadır. Böyle bir durumda kurulacak tesislerin üretebileceği özellikle sıvı atıkların uzun bir zaman aralığında kaynağın rezervuarını kirletebileceği ve tesislerin kurulabileceği zeminin bu yapıları taşıyıp taşıyamayacağı değerlendirilmeye alınmalıdır. Bu değerlendirmeler ve ortaya çıkması olası diğer çevre sorunlarına yönelik çözümler ÇED kapsamında denetlenebilir bir çerçevede güvence altına alınmalıdır.

İşletme evresi

Jeotermal enerji çeşitli türlerde tesislerde kullanılmaktadır. Her tür tesisin inşaat evresindeki çevresel etkileri de farklıdır. Bu arada elektrik üretimine yönelik jeotermal bir tesisin genel yapısını tanıtmakta yarar vardır. Şekil 6'da elektrik üretimi amaçlı jeotermal bir tesisin önemli unsurları görülmektedir. Bu unsurlar başlıca A, Sıcak kaynak kaya; B, Elektrik üretim ünitesi; C, Soğuma kulesi (http://www.slideplayer.biz.tr/) biçiminde sıralanabilir.



A B C

Şekil 6. Jeotermal bir tesisin önemli elemanları. A, Sıcak kaynak kaya; B, Elektrik üretim ünitesi; C, Soğuma kulesi (http://www.slideplayer.biz.tr).

İşletme evresinde rezervuarlarda kaçakların denetiminde özellikle faylara dikkat edilmelidir. Faylar, küçük kırık ve çatlaklar gibi kolay tıkanmazlar. Fayın kesilmediği durumlarda kuyu bitirme işlemleri yapılırken üretimi bile görmeden asit işlemlerine başlanması alışkanlık haline gelmiştir. Asitleme işlemi yerine termal geliştirmenin tercih edilmesi gereklidir. Asit operasyonunda asidin istenilen yere basılamaması ve pişmiş bentoniti çatlaklardan temizleyememesi asidi işlevsiz hale getirmektedir. Sadece asit öncesi ve sonrasında basılan soğuk su ve asidin kendisinin de soğuk olması ve hemen arkasından kuyuyu üretime alarak ısıtma ve bu işlemi defalarca tekrar etme (7-8 kez asit yapılan kuyu örnekleri vardır) termal geliştirmedir. Ancak bu işlem, asit olmadan sadece su basarak yapılabilir (Grant et al., 2013; Tuğran, 2022'den).

Jeotermal tesislerin işletme evresinde ortaya çıkması olası sorunları öngörerek iyi bir planlamanın yapılması gerekmektedir. Özellikle, kullanılan termal suların soğutma kulesinden alıcı ortama verilmesi sırasında yüzeydeki ekosistemlerin etkilenmemesi için yoğun çaba harcanmalıdır. Çünkü yüzeydeki ekosistemler kolaylıkla termal kirlilikten etkilenmektedir. Bunun için kullanılan termal suların olabildiğince yüzeydeki kırıklardan yeraltına enjekte edilmesi yoluna gidilmelidir. Enjeksiyon kuyularının boruları, yer aldığı derinliklere uygun fiziksel koşullara dayanıklı ve paslanmaz olması zorunludur. Bu borular, dönemsel olarak denetlenmelidir. Geliştirilmiş enjeksiyon sistemleri yardımı ile sıcak su döngüsünün çalışması yönlendirilebilir.

Öte yandan, termal suların aktarımı sırasında kullanılan sıradan borularda da kireçlenmenin olması kaçınılmazdır. Termal sular aktarılırken soğumakta ve buna bağlı olarak kireçlenme meydana gelmekte, bu kireç zamanla kalınlaşarak boruların tıkanmasına yol açmaktadır. Ancak günümüzde bu tür sorunları da aşmak için kullanılabilen çeşitli kimyasallar vardır.

İşletme sonrası evre

Jeotermal kaynaklar özelinde işletme sonrası evre ile ilgili deneyimler sınırlıdır. Ancak Bölüm 1.3' de sunulan çerçevede iyileştirme çalışmalarının yapılmasında yarar vardır. Olabildiğince, etkilenen çevrenin doğal haline getirmek üzere iyi bir planlama gerekmektedir.

KULLANIM ALANLARI

Jeotermal enerji, en yaygın kullanım alanına sahip ve bütünleşik eş zamanlı şekilde (entegre) kullanma kapasitesi olan kaynaklardan biridir. Jeotermal kaynaklar, dünyada eski çağlardan bu yana

tedavi ve ilkel yollarla ısıtma amaçlı olarak kullanılmıştır. Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre, genel kullanım yerleri Çizelge 2' de; önemli ayrıntılar ise devamında görülmektedir (DPT, 2001; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

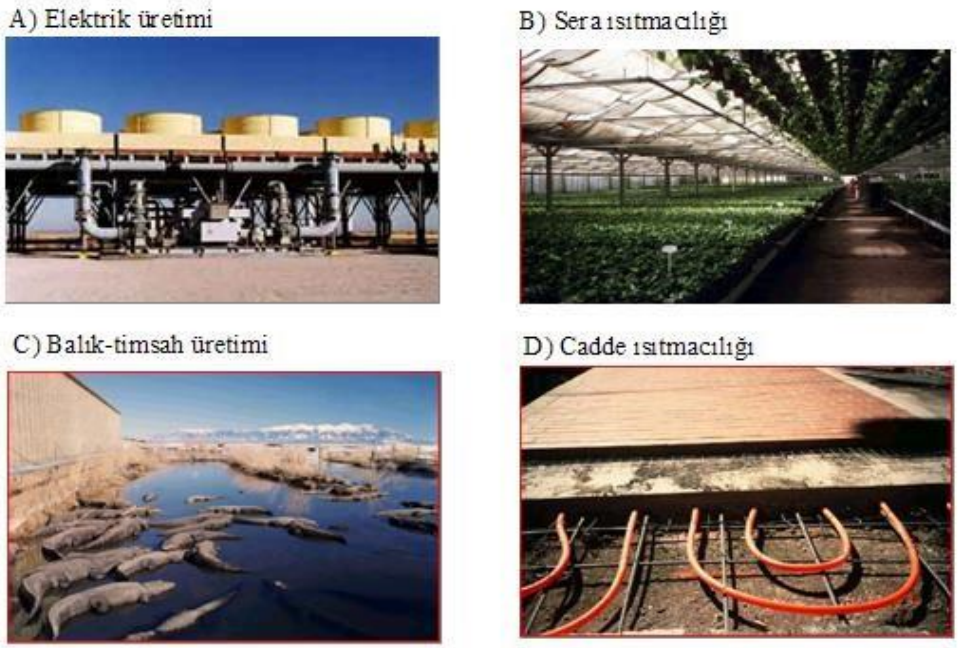
Çizelge 2. Jeotermal akışkanın sıcaklığına (^{0}C) göre kullanım yerleri (www.maden.org.tr).

^{0}C	**Kullanım yerleri**
180	Yüksek derişimli solüsyonun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma,
170	Hidrojen sülfit yolu ile ağırsu eldesi, diyatomitlerin kurutulması,
160	Kereste kurutulması, balık gibi yiyeceklerin kurutulması,
150	Bayer's yolu ile alüminyum eldesi,
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konservecilikte),
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi,
120	Temiz su eldesi, tuzluluk oranının arttırılması,
110	Çimento kurutulması,
100	Organik madde kurutma (Yosun, et, sebze gibi.), yün yıkama,
90	Tarımsal kurutma,
80	Ev ve sera ısıtma,
70	Soğutma,
60	Kümes ve ahır ısıtma,
50	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar (Kaplıca tedavisi),
40	Toprak ısıtma, merkezi kent ısıtması, sağlık tesislerinin ısıtılması,
30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri,
20	Balık çiftlikleri, balık kurutma.

Jeotermal enerjinin genel kullanım yerleri ve kullanım oranları ise Şekil 7'de görülmektedir. Cadde ısıtmanın yanı sıra elektrik üretimi, seracılık ve balık çiftlikleri bu enerjinin en çok kullanıldığı yerlerdir (Şekil 8). Ülkemizde jeotermal enerjinin elektrik enerjisi kurulu gücü içinde payı 2020 itibarıyla % 1.6'dır (https://www.emo.org.tr/ekler/d6b5c1730d04923_ek.pdf?tipi=41&turu=X&sube=0).



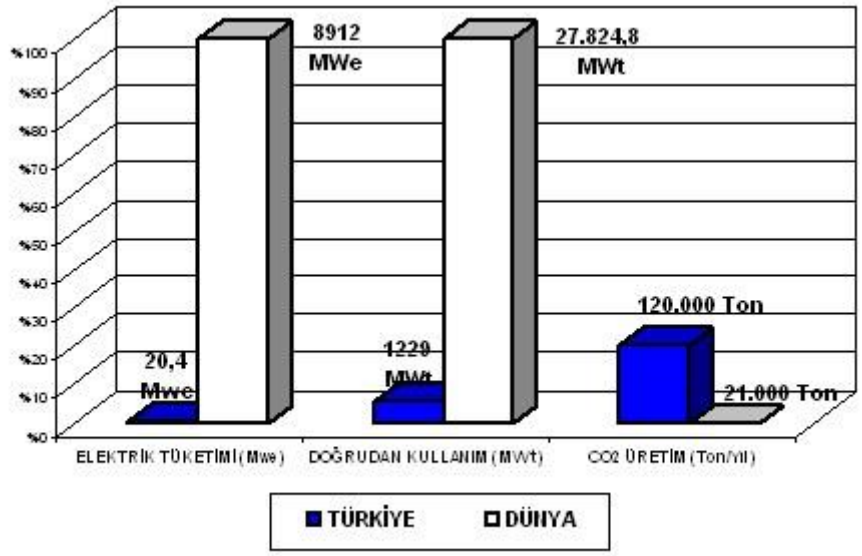
Şekil 7. Jeotermal enerjinin elektrik dışı uygulamaları ve oranları (http://www.eie.gov.tr/).



Şekil 8. Jeotermal enerjinin bazı kullanım alanları

Dünya'da ve Türkiye'de Jeotermal enerjinin kullanım düzeyleri bazı yönleriyle karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da sunulmuştur. Buna göre, ülkemizde CO_2 üretiminin denetimi konusunda bir çaba olmadığından çok yüksek ve elektrik üretimi hususunda çok düşük olduğu görülmektedir.

Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal kaynakların (>150 °C) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (<150 °C) ise çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Ancak son yıllarda düşük sıcaklığa sahip jeotermal sahalarda da Organik Rankin Döngüsü ile elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu sistem, yüksek basınca ulaşabilen R134A gazına göre tasarlanmıştır. Bu sistemin en önemli avantajları, düşük sıcaklığa sahip kaynaklarda da kullanılması, düşük basınçta da çalışabilmesi, kolay işletilmesi hem ekonomik hem de çevresel kirliliğin denetimi açısından uygunluğu sayılabilir.



Şekil 9. Dünya'da ve Türkiye'de Jeotermal enerjinin kullanım düzeyleri
http://www.eie.gov.tr

Çeşitli yöntemlerle sıcaklığa bağlı olarak jeotermal kaynakların kullanım alanları belirlenmektedir. Bu yöntemlere göre, 85 °C'nin üzerindeki jeotermal kaynakların ikili çevrim santrallarında elektrik üretiminde kullanılması tercih edilmektedir. 20 °C'nin altındaki jeotermal kaynaklardan ise ısı pompaları ile ısıtma ve soğutmada yararlanılabilir. Ancak, jeotermal kaynaklardan yararlanırken iki önemli husus göz ardı edilmemelidir:

1. Akışkanın sıcaklığına bağlı olarak ikinci bir işte kullanılması jeotermal kaynakların kullanılabilirliğini artırır.
2. Jeotermal kaynağın sıcaklığı kullanma alanını sınırlar.

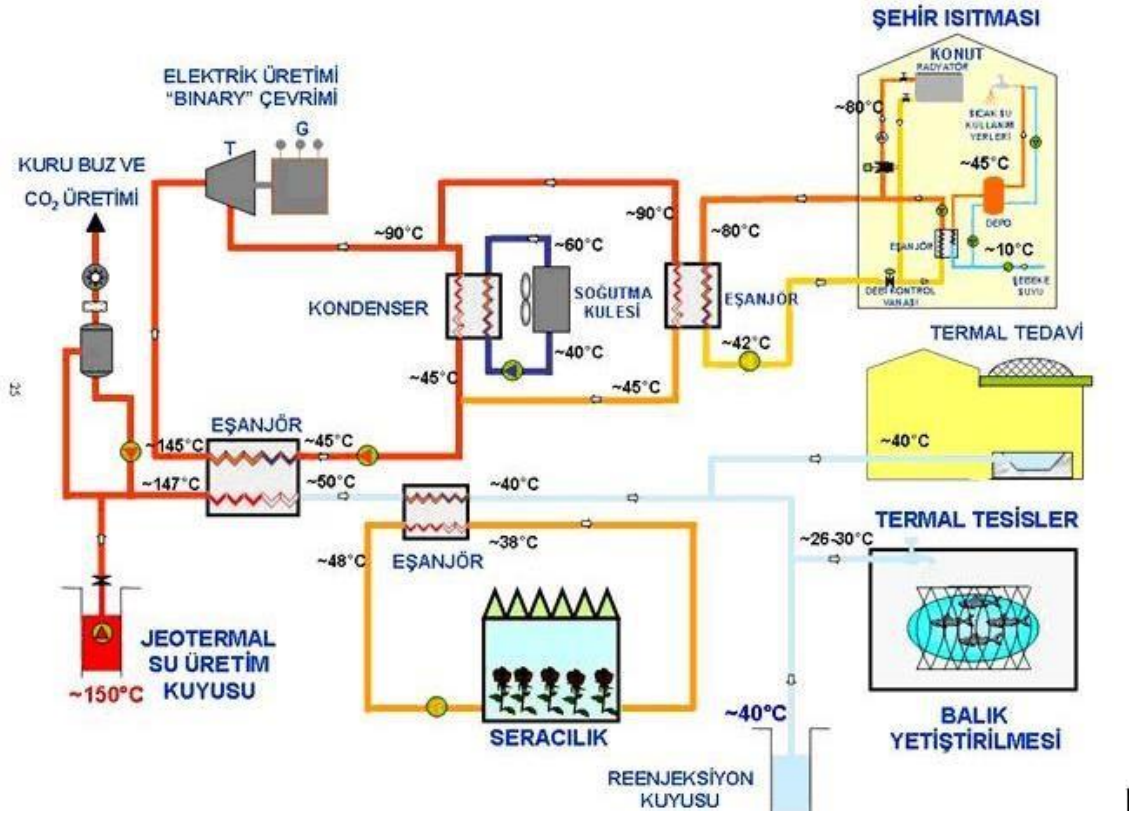
Jeotermal enerjinin kullanım alanları, akışkan sıcaklığına ve bölge koşullarına bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Jeotermal enerjinin bulunduğu yerde değerlendirilmesi ekonomikliği artıracağından, akışkan, kaynağa en yakın bölgede kullanılmalıdır. Düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar doğrudan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır.

Ayrıca, ısı pompaları yardımıyla suların sıcaklığı 5 ^{o}C'ye düşünceye kadar akışkandan yararlanılabilmektedir. Sonuç olarak, aşağıdaki kullanım alanları birçok ülkede giderek daha yaygın olarak gelişmektedir:

- 40 ^{o}C'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkanlar, binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada ve de sıcak kullanma suyu olarak (İzlanda, Fransa, Japonya, Yeni Zelanda, Türkiye, B.D.T., Macaristan, Kanada, Çin, Meksika, Arjantin, Kuzey Avrupa Ülkeleri) değerlendirilmektedir.
- Seraların ısıtılması ile turfanda sebzecilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmakta ve Dünya'da yaklaşık 10.000 MWt karşılığı jeotermal enerji bu amaçla kullanılmaktadır. Macaristan, İtalya, Türkiye, ABD, Japonya, Meksika, Doğu Avrupa Ülkeleri, Yeni Zelanda ve İzlanda'da 30 ^{o}C'den fazla sıcaklıktaki termal sular kullanılarak seraların ısıtılmasında yararlanılmaktadır.
- Tropikal bitki (Japonya) ve balık (Japonya'da timsah yetiştiriciliği dâhil) yetiştirilmesinde, kullanılmaktadır.
- Tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında (Japonya, ABD, Yeni Zelanda, Macaristan, B.D.T), kullanılmaktadır.
- Toprak, cadde ve (örneğin Sibirya'da) havaalanı pistlerinin ısıtılmasında kullanılmaktadır.

- Yüzme havuzu, termal tedavi ve diğer turistik tesislerde (İtalya, Japonya, ABD, İzlanda, Türkiye, Çin, Endonezya, Yeni Zelanda, Arjantin, Doğu Avrupa Ülkeleri, BDT) kullanılmaktadır. Jeotermal suların sağlık amacıyla değerlendirmesinin tarihi çok eskidir. Günümüzde de jeotermal sular ortopedik ve nörolojik hastalıkların yanı sıra kronik romatizmal hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle termal çamurun tedavi amacıyla kullanılmasına dair ayrıntılar sunulmuştur (Çelik-Karakaya ve Karakaya, 2009; Atabey, 2017). Sonuç olarak sağlık ve turizm amacıyla kullanılan termal tesisler giderek gelişmektedir (Özbek, 2011).

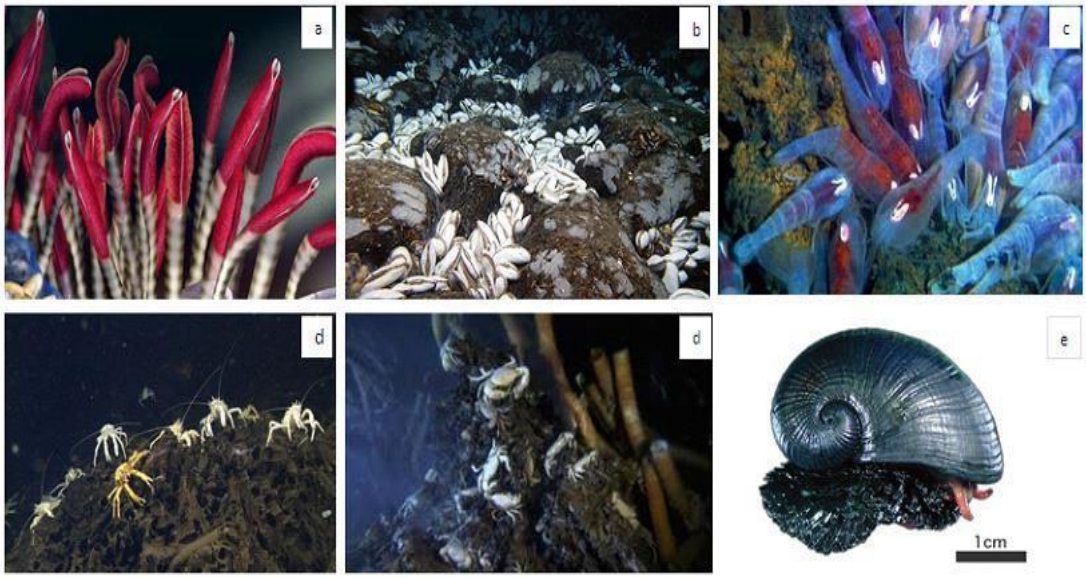
Jeotermal enerjinin çeşitli bütünleşik (entegre) sistemlerde de değerlendirilmesi mümkündür. Düşük entalpili jeotermal kaynakların en akılcı değerlendirilmesinde elektrik ve ısının birlikte üretilip değerlendirilmesidir. Bu da kojenerasyon anlamına gelmektedir. Böyle bir sistem, Şekil 10'da görülmektedir. Ancak bu tür sistemlerde arzu edilen verimin sağlanması için akışkanın en azından 150 ^{o}C dolayında bir sıcaklığa sahip olması gerekir.



Şekil 10. Jeotermal enerjinin bütünleşik bir sistemde değerlendirilmesi
http://www.jeotermaldernegi.org.tr

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerji kurutma işlemlerinde kullanılabilir öncelikli kaynaklardan biridir. Bu yöntemlerle yapılan kurutma işlemlerinde, ürünün uzun süre dayanıklılığı sağlanması ve sağlıklı bir şekilde saklanması mümkündür. Ayrıca ürünlerin israfının önlenmesi ve uzun zaman diliminde kullanılması sağlanabilir. Ülkemizde kamuda ve özel sektörde çeşitli tarımsal ürünlerin kurutulması amacıyla kurulmuş tesisler giderek yaygınlaşmaktadır.

Öte yandan jeotermal kaynakların canlı yaşamla olan ilişkileri nedeniyle bilimsel çalışmaların yönlendirilmesindeki katkısı göz ardı edilmemelidir. Örneğin, 1977 yılında Pasifik Okyanusu'nda Galapagos Adaları dolayında kemosentez yapan canlıların varlığı ile hidrotermal çıkışlar keşfedilmiştir. Söz konusu ilişkiyi belgeleyen bazı organizmalar Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Hidrotermal çıkış yerlerinde yaşayan organizmalar: a, dev tüp solucanları; b, midye; c, karides; d, yengeçler; e, salyangoz (Bakak, 2012).

YASAL ÇERÇEVE

Jeotermal kaynakların kullanılabilir hale getirmek üzere yapılan tüm işlemler, güncellenen Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu (JEK, 2007) çerçevesinde yürütülmektedir. Söz konusu yasa 2014' de güncellenmiştir. Bu yasanın amacı, özü itibarıyla jeotermal kaynakların çevre ile uyumlu olarak ekonomik şekilde değerlendirilmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemektir. Yapılan düzenleme Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği (JEK-UY, 2007) çerçevesinde uygulanmaktadır. Ayrıca Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (DSY, 2004) eklerinde (EK-1'de) doğal mineralli suların değerlendirilmesi için ölçütler (kriterler) tanımlanmıştır. Buna göre, özellikle jeolojik ve hidrojeolojik araştırmalar, klinik ve farmakolojik incelemeler özenle ve ayrıntılı olarak yapılmalıdır.

Mer'i mevzuat, arama ve işletme ruhsatı olmak üzere iki ruhsat dönemi benimsemiştir. Arama dönemi için ruhsat talep başvurusu, büyükşehir statülü 30 ilde Valiliğin 'Yatırım İzleme ve Koordinasyon Bakanlığına (YİKOB) diğer illerde 'İl özel idaresi genel sekreterliğine' yapılır. Talep sahibine önce arama ruhsatı verilir. Arama ruhsatı, doğrudan ilk başvuru ile alınabildiği gibi, başkalarının uhdesindeki arama ruhsatını devir alarak ya da ihale yolu ile alınabilir. Arama ruhsatının süresi üç yıldır.

İşletme ruhsatı alabilmek için, arama ruhsatı süresi son günün mesai bitimine kadar ÇED yönetmeliğinin EK-3 formuna göre işletme projesi hazırlanarak ilgili İl Özel İdaresi ya da YİKOB' a verilir. Gerekli değerlendirme yapılıp işletme ruhsatı verildikten sonra Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG), ilgili evraklarla bilgilendirilerek kayıtlar güncellenir. İşletme ruhsat alanı, en çok arama ruhsatı alanı kadar ya da daha küçük bir alanı temsil eder. İşletme ruhsatı süresi 30 yıldır.

Ruhsatlar, sicile işlendiği tarihte yürürlüğe girer ve geçerlilik kazanır. Sicile tescil tarihi işletme ruhsatı süresinin başlama tarihidir. Mer'i mevzuata göre yetki, il özel idaresi ya da YİKOB' a aittir. Ancak, faaliyetlerin birbirini engellemesi halinde hangi yatırımın kamu yararı açısından öncelikli ve önemli olduğu belirlenerek karar verilir. Bunun için Kalkınma Bakanı'nın başkanlığında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı ve diğer yatırımdan sorumlu bakanlardan oluşan üç kişilik kurul marifeti ile karar verilir.

ÇED Yönetmeliği (2014)'nde yer alan jeotermal enerji projeleri için ise Ek-1 listesindeki "Jeotermal kaynağın çıkartılması ve kullanılması, (Isıl kapasitesi 20 MWe ve üzeri)" ile Ek-2 listesindeki "Jeotermal kaynağın çıkartılması ve kullanılması, (Isıl kapasitesi 5 MWe ve üzeri)" ibareleri kaldırıldı.

ÇED Yönetmeliği (2022)'de ise jeotermal enerji santralleri EK-1'de, jeotermal kaynakların aranması ve çıkartılması faaliyetleri EK-2'de yer almaktadır. ÇED süreci de projenin yönetmelikteki yerine göre, EK-1'de ise ÇED Genel Formatı ya da EK-2'de ise Proje Tanıtım Dosyası hazırlanır. Ayrıca, ÇED Yönetmeliği (2022)'nin 20'nci maddesi uyarınca çevresel etkileri ön inceleme ve değerlendirmeye tabi projelerin yer aldığı listedeki faaliyetler ve projeler için çevresel etkilerinin daha kapsamlı ve ayrıntılı incelenmesi için **kümülatif etki değerlendirme** yapılması zorunlu kılındı. Ayrıca, ÇED'in yeni formatlarına göre denetim çalışmalarında gerekli özen gösterilmelidir. Yani, jeotermal kaynakların değerlendirilmesi, bu kaynakların hangi amaçla kullanılacağı ile projenin türü ve boyutları gözetilerek ÇED süreci işletilmelidir.

Yukarıda sunulan yasal çerçeve jeotermal kaynakların yönetimine yeni bir düzenleme getirmiş olmakla birlikte, henüz aşılması gereken bazı sorunlar vardır. Örneğin, jeotermal kaynakların rezervuar sınırları ve kapasitesi bilinmeden ruhsatlandırmanın yarattığı sorunlar, öncelikle üzerinde durulması gereken bir konudur. Faaliyetlerin yürütülmesinde işlem yapılan ve görüş oluşturulan çok sayıda bakanlığın, genel müdürlüğün ve kurumun bulunması, yani çok başlılık, kurumlar arası eşgüdüm eksikliği ve mevzuat karmaşası ile giderek büyümektedir (Akkuş, 2021).

ÇEVRESEL ETKİLER VE DENETİM

Jeotermal enerjinin çevreye uyumlu bir enerji olduğu kabul edilmekle birlikte, bu kaynakların üretim ve kullanım süreçlerinde çevreye olumsuz etkilerinin de olduğu bilinmektedir (Doğdu ve Bayarı, 2002; Baba, 2004; Baba ve Armannson, 2006; Yılmaz, 2009; Çakın ve diğerleri, 2012; Baba, 2013; Tuğran, 2022). Örneğin Tuzla tuzlu sıcak sularının içeriğinde yüksek oranlarda bulunan Fe, Mn, B ve As gibi bazı iz elementler üst akiferdeki yeraltı sularının kalitesinin kötüleşmesine neden olduğu belirlenmiştir (Baba ve Murathan, 2006; Baba ve diğerleri, 2008). Ayrıca, Büyük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı SÇD Raporu'na göre Büyük Menderes Havzası'nda yer alan bazı jeotermal tesislerin atık sularında, kirlilik oluşturan önemli unsurlar bulunmaktadır (TMMOB, 2021, https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/menu/buyuk-menderes-nehir-havzasi-scdraporu_final_tr_20181108013851.pdf (Erişim tarihi, 16.02.2021).

Ayrıca, sondaj ve rezervuar çalışmalarındaki olumsuzlukların yanı sıra, mevzuat ve denetim eksikliği, şirketlerin konuya yabancı olması, bilgili teknik elemanların son derece az olması gibi hususların çevreye yönelik sorunları tetiklediği kabul edilmektedir (Tuğran, 2022).

Jeotermal enerjinin çıkarılması, kullanılabilir hale getirilmesi ve tesislerin inşa edilip kullanımı süreçlerinde çeşitli çevresel sorunların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Aslında, çevreye doğrudan ya da dolaylı bazı zararlar vermeden enerjiyi kullanılabilir bir forma dönüştürebilmenin de herhangi bir yolu da yoktur. Ayrıca, Manisa Alaşehir Ovası' nda 2012 yılında ve Aydın Germencik' te yaşanan deneyimler jeotermal enerjinin üretim süreçlerinde ortaya çıkması olası etkileri özenle ele almayı gerektirmektedir.

ÇED sürecinde, yukarıda da belirtildiği gibi jeotermal kaynakların arama, planlama ve hazırlık, kullanılacağı amaca uygun yapıların inşaatı, işletme ve işletme sonrası iyileştirme evreleri ayrı ayrı değerlendirilir. Ayrıca bu evrelerin her birinde yüzeysel bozulmalar sonucu görüntü kirliliği, hava kirliliği ve gürültü, ısı ve kimyasal kirlilik türleri yaşanabilir. Öte yandan, yapılan faaliyetin sosyal ve ekonomik ortamda yansımaları olacaktır.

Jeotermal enerjinin üretimi ve kullanımı sırasında ortaya çıkması olası bazı sorunları, Özsayın'ın (2013) derleme çalışmasının yanı sıra, bazı saha gözlemlerinden de yararlanarak sistemli bir şekilde ele almakta yarar vardır.

Yüzeysel bozulmalar ve görüntü kirliliği

Jeotermal enerjiye ulaşmak üzere yapılan sondajlar, inşaat ve işletme evrelerinde yüzeysel bozulmalar ve görüntü kirliliği yoğun bir şekilde yaşanmaktadır. Yukarıda Şekil 5' de sunulan görüntüler sondaj ve işletme evreleri için açık birer göstergedir. İşletme evresinde muhafaza borularında olası göçme ve patlamalar da ayrıca görüntü kirliliği oluştururlar. Söz konusu sorunlar kimi zaman basında abartılı da olsa yer almaktadır. Örneğin basında, Aydın'da jeotermal suların çevre katliamına dikkat çekiliyor. Bunun için (http://www.hurriyet.com.tr/ Merve ERDİL 20 Haziran 2015- 01:03 Son Güncelleme: 19 Haziran 2015- 11:28)'e bakılabilir.

Öte yandan, jeotermal sahaların işletilmesi sırasında morfolojide meydana gelen alçalma ya da kabarmalar izlenmemektedir. Oysa dünyanın çeşitli yerlerinde bu yüzey deformasyonları çok uzun yıllardır izlenip araştırılmaktadır (St Harvey et al.,2018). Alçalmada en önemli hasar çökme ile belirgin hale gelmektedir. Uydu gözlemleriyle deformasyon değerlendirmeleri yapılmakta ve iyileştirmeler programlanabilmektedir (Lucetina, 2012; Tuğran, 2022'den).

Su kirliliği

Özellikle jeotermal tesislerin işletme evresinde yoğun bir şekilde su kirliliği sorunu ortaya çıkmaktadır. Şekil 12 ve 13'de sıra ile jeotermal suların yüzey sularını ve denetlenememesi halinde yarattığı görüntü kirliliği görülmektedir. Ayrıca jeotermal sularda bor ve arsenik miktarları yüksek olup tatlı su kaynaklarını kirletme potansiyelleri yüksektir. Tuzla tuzlu su kaynaklarının denetimsiz boşalımlarıyla ilgili çalışmalarda yeraltı sularının özü itibarıyla $CaHCO_3$ özelliğinde iken kurak dönemlerde sıcak suların etkisiyle CaSO4 ve NaCl'lü sular sınıfına doğru değiştiği belirlenmiştir (Baba ve diğerleri, 2008).

Jeotermal enerji tesisleri hem su kalitesi hem de su tüketimi üzerinde etkileri olabilir. Yeraltı rezervuarlarından pompalanan sıcak su genellikle yüksek düzeyde kükürt, tuz ve diğer mineralleri içermektedir. Bu kirleticileri bertaraf etmek için birçok jeotermal tesiste kapalı devre su sistemleri inşa edilmiştir. Çıkartılan jeotermal su, ısı ya da elektrik üretimi için kullanıldıktan sonra, rezervuara doğrudan geri pompalanmaktadır. Ne var ki, suyun bir bölümü buhar olarak atmosfere karışır. Ayrıca, kapalı devre su sistemlerinde, jeotermal su, çevredeki kayaya çimentolu olarak yerleştirilmiş çelik kuyu içinde yer almaktadır (Kagel, 2008).



Şekil 12. Jeotermal suların yüzeydeki sulara karışarak kirletmesi (Baba ve Murathan, 2006).



Şekil 13 . Jeotermal suların denetlenememesi sonucu oluşan görüntü kirliliği (Baba ve Murathan, 2006).

Jeotermal tesislerde su soğutma işlemleri de yapılmaktadır. Jeotermal enerji santrallerinde günümüzde soğutma kulelerine sahip sulu devri daim teknolojisi kullanılmaktadır. Kullanılan soğutma teknolojisine bağlı olarak, jeotermal tesisin, megavat saat enerji başına, 1700 ve 4000 galon arasında su gereksinimi vardır.

Rezervuarda sabit hacimde su tutabilmek için, dış su kullanılabilir. Gereksinim duyulan suyun miktarı, kullanılan teknoloji ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. Ancak, rezervuar suyu "kirli" olduğu için, bu amaçla temiz suyu kullanmak genellikle gerekli değildir.

Hava kirliliği

Hava kirliliği konusunda açık ve kapalı devre sistemleri arasında bir ayrım yapmakta yarar vardır. Örneğin kapalı devre sistemlerde, kuyudan çıkartılan gazlar atmosfere maruz kalmaz ve bu gazlar ısılarını bıraktıktan sonra zemine tekrar enjekte edilebilir. Böylece, hava kirleticiler asgari düzeyde kalmaktadır. Bunun aksine, açık devre sistemler, hidrojen sülfit, karbon dioksit, amonyak, metan ve boron gibi gazlar atmosfere yayılmaktadır. Çürümüş yumurta kokusuyla ortaya çıkan hidrojen sülfit en yaygın kirleticidir (Kagel, 2007).

Atmosferde hidrojen sülfür (H_2S), kükürt dioksite (SO_2) dönüşmektedir. Bu da insanda kan akışı sırasında vücut tarafından emilebilecek küçük asidik partiküllerin oluşmasına neden olmakta ve kalp ile akciğer hastalığına yol açmaktadır (NRC, 2010). Kükürt dioksit aynı zamanda asit yağmuruna neden olmakta, bu da mahsullere, ormanlara, topraklara zarar vermekte; göller ve akarsuları asitleştirmektedir. Ancak, jeotermal tesislerden gelen SO_2 emisyonları, ülkenin en büyük SO_2 kaynağı olan kömür santrallerine göre megavat saat başına yaklaşık 30 kat daha azdır. Her şeye rağman, hava kirliliğine neden olan gazlar için periyodik olarak işletmelere ölçüm zorunluluğun getirilmesi gerekmektedir.

Bazı jeotermal tesisler aynı zamanda az miktarda cıva emisyonu üretmektedir ki bu, cıva filtresi teknolojisi kullanılarak azaltılabilir. Ayrıca gaz yıkayıcılar hava emisyonlarını azaltabilir, ancak bunlar sülfür, vanadyum, silika bileşenler, kloritler, arsenik, cıva, nikel ve diğer ağır metalleri içeren malzemelerden oluşan bir sulu çamura neden olurlar. Bu zehirli çamur genellikle tehlikeli atık sahalarında

bertaraf edilmelidir (Kagel, 2007). Ayrıca, jeotermal kaynakların kullanımında açığa çıkan CO ve diğer gazların değerlendirilmesi için üreticilerin AR-GE çalışmaları teşviklerle desteklenmelidir.

Arazi Kullanımı ve ekosistemler

Bir jeotermal tesisi için kullanılması gereken arazi miktarı, kaynak rezervuarının özelliklerine, enerji kapasitesinin miktarına, enerji dönüştürme sisteminin tipine, soğutma sisteminin tipine, kuyuların ve boru sistemlerinin düzeneğine ve alt istasyon ve yardımcı bina ihtiyaçlarına bağlı olarak değişmektedir. 1 MW'lık bir kapasiteye sahip tesisin alanı yaklaşık 78 kilometre kare olup bu da MW başına yaklaşık 13 dönüme karşılık gelmektedir. Gaysers gibi, birçok jeotermal saha uzak ve hassas ekolojik alanlarda yer almaktadır (Özsayın, 2013).

Şekil 14 ve 15'de jeotermal akışkanların yalnız doğal ekosistemleri değil, tarımı (yani mevcut arazi kullanımını) da etkileyebileceğine dair somut göstergelerdir. Manisa Alaşehir Ovası'nda 2012 yılında meydana gelen patlama tarım alanlarına zarar vermiş ve bu dönemde izlenen su sıcaklığı, elektriksel iletkenlik ve su seviye verilerine göre jeotermal fışkırmanın çevredeki kuyuları etkilediği gözlenmiştir (Şimşek ve Rabet, 2016). Buna göre projelerini geliştirmek isteyenler, planlama evresinde yalnız tesisin değil, projenin etkileyebileceği alanı da hesaba katmalıdır.



Şekil 14. Jeotermal akışkanların tarım üzerindeki etkileri (http://www.adsgrup.com.tr/).



Şekil 15. Jeotermal akışkanların üzüm bağlarına etkileri (Baba ve Murathan, 2006).

Faaliyetin sürdüğü alanlarda bazen jeotermal rezervuarlardan suyun çıkartılması nedeniyle arazi çökmesi adı verilen bir durum ortaya çıkmaktadır. Birçok jeotermal tesis, suyun ısısı alındıktan sonra jeotermal rezervuara atık suyun geri enjekte edilmesi ile bu risk bertaraf edilebilir.

Jeotermal tesisler, kimi zaman deprem riskinin yüksek olduğu "sıcak noktalarda" ya da fay hatlarında yer almaktadır. Jeotermal tesislerin işletme evresinde, depremlerin daha sık olduğuna dair tartışmalar vardır. Jeotermal sistemlerin işleyişi, küçük depremlerin riskini de artırabilir.

Bu süreçte, su, daha yüksek basınçlarda pompalanarak, doğal gaz hidrolik parçalamasında kullanılan teknolojiye benzer bir şekilde yeraltı sıcak kaya rezervuarları birbirinden ayrılabilir. Gelişmiş jeotermal sistemlerle ilişkili deprem riski, tesislerin ana fay hatlarından uygun bir uzaklığa yerleştirilmesi suretiyle en aza indirilebilir. Bir jeotermal sistem, nüfusun yoğun olduğu bir alanın yakınına yerleştirildiğinde de çeşitli riskler ortaya çıkabilir. Böyle bir durumda, yerel topluluklar ile şeffaf iletişim ve sürekli izleme gereksinimleri karşılanmalıdır.

Yaşam Döngüsü Küresel Isınma Emisyonları

Açık devre jeotermal sistemlerde, hava emisyonlarının yaklaşık yüzde 10'u karbon dioksit ve küçük bir bölümü metandır. Bu gazlar etkili birer küresel ısınma tetikçileridir. Açık devre sistemler için küresel ısınma emisyonları tahminleri, kilovat saat başına yaklaşık 0,1 pound karbon dioksittir. Kapalı devre sistemlerde, bu gazlar atmosfere salınmaz, ancak tesis inşaatı sırasında ve çevredeki alt yapı ile ilişkili bazı emisyonlar söz konusu olabilir.

Sondaj yapmak ve sıcak kaya rezervuarlarına suyu pompalamak için enerji gerektiren gelişmiş jeotermal sistemler, kilovat saat başına yaklaşık 0,2 pound karbon dioksit dengi yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonuna sahiptir. Bunu bağlamda, doğal gaz ile üretilen elektrik için yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonlarının tahminleri, kilovat saat başına 0,6-2 pound karbon dioksit dengi arasındadır. Kömürden üretilen elektrik için yapılan tahminlere göre, kilovat saat başına 1,4-3,6 pound karbon dioksit dengi arasındadır (IPCC, 2011). Bu verilere göre, jeotermal kaynakları kullanmanın çevre açısından daha az risk taşıdığı söylenebilir.

Sonuç olarak Jeotermal kaynakların aranması, üretim süreçleri ve sonrasında oluşan çevresel etkilerin belirlenmesi, tanımlanması ve denetimi ayrıntılı bir çaba gerektirmektedir. Bunun için öncelikle, jeotermal sahaların ve tesislerin etki alanları ile birlikte yakın dolaylarını da içerecek şekilde bölgenin ayrıntılı olarak jeolojik etüdü yapılmalıdır. Jeolojik etüt, jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik verileri entegre eden **jeolojik bir model** düzeyine çıkarılmalıdır. Böylesi ayrıntılı bir çaba harcamadan, jeotermal rezervuarıyla yüzey ve yeraltı su kaynakları arasındaki ilişkileri ya da olası bir kirliliğin hangi yönde ve ne hızla ilerlediğini belirlemek ve buna göre denetim amacıyla önlemler almak mümkün değildir.

Jeotermal kaynakların çevresel etkilerini irdelerken, bazı hususlara da dikkat etmekte yarar vardır. Örneğin, jeotermal suların yüksek oranda bor ve tuzluluğa sahip olduğu bilinmektedir. Fakat bu tür kirleticiler, **jeolojik (başka bir deyişle doğal) ortamda** da vardır. Oluşturulan jeolojik modeldeki parametreleri kullanarak, tesislerden ileri gelen kirlilik ile jeolojik ortamdan ileri gelen kirliliği ayırt etmek mümkündür.

Ayrıca, jeotermal **tesislere yakınlık** da önemli bir risk olarak değerlendirilmektedir. Bu da sağlıklı bir tespit değildir. Bu konuda sağlıklı bir değerlendirme yapmak için bölgenin kirlenme tarihini, çeşitli faaliyetlerin kirliliğe katkısının yanı sıra kümülâtif etkilerin zaman içindeki değişimini irdelemek zorunludur. Diğer önemli bir husus da jeotermal kaynakların değerlendirilmesine dair tüm süreçlerin şeffaf bir ortamda yürütülmesinin gerekliliğidir. Şeffaf bir ortamın sağlanması halinde, çevresel sorunlar daha erken bir evrede fark edilebilir ve gerekli önlemlerin alınması kolaylaşır. Aksi halde, geri dönüşü bile mümkün olmayan çevresel sorunlarla yüzleşmek mümkündür.

SONUÇLAR

Günümüzde jeotermal enerji kullanımı sonucunda, fosil yakıtlarının tüketimi ve bunların kullanılmasından doğan sera etkisi ve asit yağmuru gazlarının atmosfere karışmasından dolayı meydana gelen zararlı etkiler azalmıştır. Jeotermal enerjiye dayalı çağdaş jeotermal tesislerde CO_2, NO_X, SO_X'ın ortaya çıkması çok daha düşük, özellikle merkezi ısıtma sistemlerinde sıfıra yakındır. Yeni kuşak çağdaş jeotermal tesislerde (İkili Çevrim Sistemi), yoğunlaşmayan gazları buharın içinden alıp, kullanılmış jeotermal akışkan ile birlikte yeraltına geri veren enjeksiyon sistemleri geliştirilmiştir. Bu çerçevede enjeksiyon kuyularının arama ve işletme süreçleri ve sonrasında izlenmesi ve denetimi son derece önemlidir.

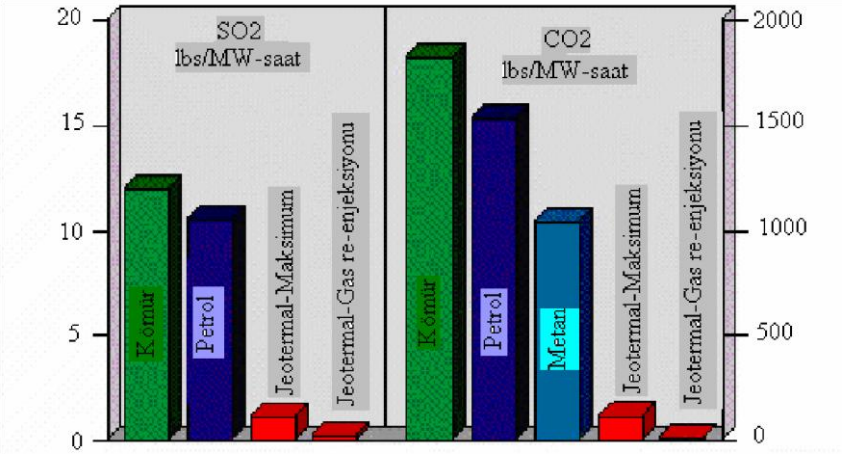
Jeotermal sahaların mevcut durumunun belirlenmesi, geliştirilmesi, arama-araştırma-geliştirme projelerinin bir strateji çerçevesinde yürütülerek yeni sahaların keşfi, geliştirilmiş jeotermal sistemler (Enhanced Geothermal System) ve kızgın kuru kaya araştırmalarının yapılması öncelikli hedef olmalıdır. Jeotermal enerji de denetlenmezse, kirlilik yaratan enerji formlarından biridir. Dolayısıyla bu enerjinin de çevreye bazı olumsuz etkileri olabilir. Geleneksel atmosferik basınçlı ya da yoğuşturmalı jeotermal elektrik tesislerinde özellikle hava kalitesi açısından çevreye olan etkiler, potansiyel olarak yüksek düzeydedir.

Ayrıca, termal suların bünyesindeki elementler, çevre ve insan sağlığı açısından her zaman sınır değerlerin üzerinde birimlere sahiptirler. Örneğin, yüksek sıcaklığa sahip jeotermal akışkanlar en azından Li, B, As, H_2S ve Hg gibi zehirli elementlerden birini içerebilir. Kimi jeotermal akışkanlarda, özellikle buhar döngülü bir jeotermal tesisten ortaya çıkan kirleticilerde insan ve hayvan sağlığını tehdit eden arsenik, cıva, kadmiyum, kurşun, krom ve bunun gibi ağır metaller bulunmaktadır.

Yerel jeolojik yapının bir sonucu olarak doğal yollarla ya da sığ ve derin sondajlar aracılığı ile yüzeye çıkan termal sular yer kabuğu içerisinde yükselirken, yeraltı sularına karışarak, bu suları kirletebilir. Yani, içme ve kullanma suyunun sağlandığı rezervuarlara jeotermal akışkanların karışması halinde bu suların kalitesinin bozulmasına, hatta kullanılmaz hale gelmesine neden olabilir. Bunu önlemenin yolu enjeksiyon kuyularının sağlam bir şekilde tasarımından ve belli aralıklarla denetiminden geçer.

Öte yandan ülkemizdeki tatlı yeraltı suyu kaynakları gerek iklimdeki kuraklaşma ve gerekse plansız ve aşırı çekim nedeniyle hızla tüketilmekte, tarım, sanayi ve yaşama dair diğer faaliyetlere bağlı olarak gittikçe artan hızda kirlenmekte olduğu da gözlenmektedir (http://www.adsgrup.com.tr/). Jeotermal kaynakların işletilmesi de yeraltı sularının kirletme potansiyeli vardır. Dolayısıyla jeotermal kaynakların kullanımından ileri gelen sorunlarla, diğer çevresel etkilerden doğabilecek sorunları ayrı ayrı değerlendirmek gerekmektedir.

Ne var ki, jeotermal enerjinin kullanımı ile diğer enerji formlarının kullanımı, ortaya çıkan kirleticiler açısından karşılaştırıldığında, Jeotermal enerji kullanımının çok daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 16'da karşılaştırmalar SO_2 ve CO_2 yönü ile yapılmıştır. Bu karşılaştırmaların ışığında, özellikle yeni nesil teknolojilerde, jeotermal enerjinin avantajları kesin olarak kabul edilebilir. Gerek SO_2 gerek CO_2 yeni nesil jeotermal tesislerde son derece düşük bir düzeyde ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, ülkemizdeki jeotermal kaynakların da (çevresel açıdan fosil diğer yakıt türleri ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan sorunlar gözetilerek) kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve teşvik edilerek özendirilmesi yararlı olacaktır (Yılmaz, 2009).



Şekil 16. Jeotermal enerjinin kullanımı sırasında ortaya çıkan SO_2 ve CO_2 emisyonlarının diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması (http://www.maden.org.tr).

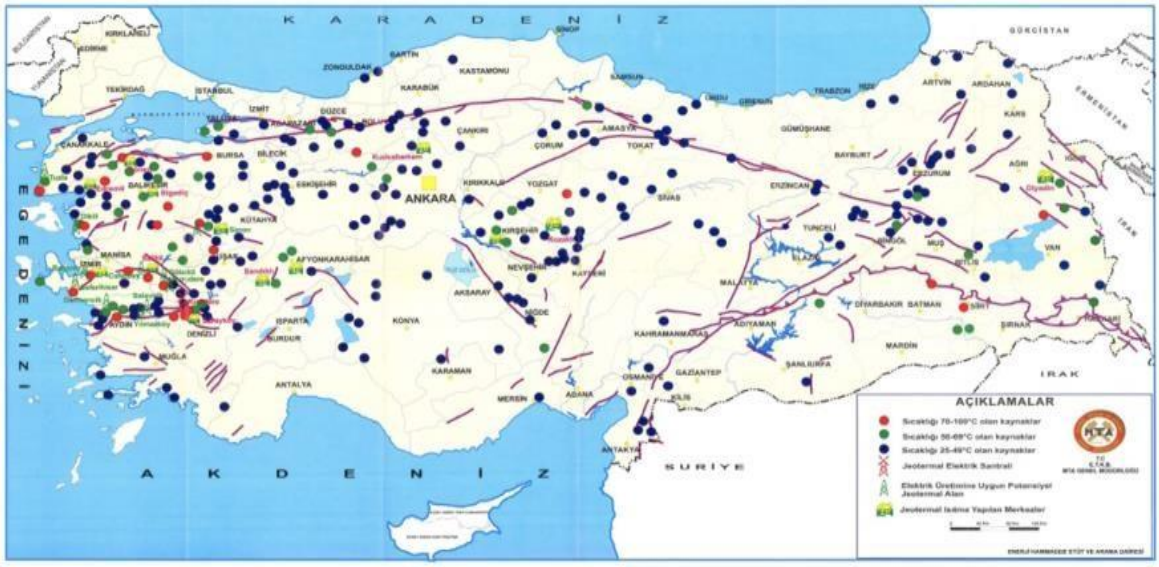
Çizelge 3'de ise başka bir çerçeveden enerji türleri ile söz konusu enerji türlerinden ileri gelen kirletici oranlarının karşılaştırılması görülmektedir. Bu karşılaştırmada da, jeotermal (Çizelge 3'de hidrotermal olarak sunulan) enerjinin kirletici oranları açısından diğer enerji türlerine göre avantajları açıkça görülmektedir. Yeni kuşak jeotermal tesisleri ile jeotermal ısıtma sistemlerinde sınırlı da olsa gaz atıkların ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Gelişen teknolojiye ve duyulan gereksinime göre atık su içindeki bazı kimyasal maddeler üretilerek, akışkanlar zararsız hale getirebilmektedir. Ayrıca, dinlendirme havuzlarında bekletilerek bazı bileşenler havuzlarda çöktürülmekte ve su arındırılmaktadır.

Denize yakın bazı jeotermal alanlarda da akışkanlar, soğutulup arıtıldıktan sonra denize boşaltılması önemli bir sorun yaratmayabilir. Ayrıca, atık suların, tatlı yer altı sularını kirletmeden tekrar yeraltına verilmesi hem fiziksel çevre hem de rezervuarların sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Ülkemizde, sığ derinliklere ya da yüzeye yakın bir konuma ulaşan magma sokulumu, jeotermal alanın ısıtıcısı rolünü oynamaktadır. Türkiye'de Miyosen Sonu yaşta olan volkanizmaya bağlı yüksek sıcaklıklı hidrotermal sistemler zinciri oluşmuştur. Bu sistemler, soğumakla birlikte, zamanımıza dek belli aralıklarla ve yeni magma sokulumları ile desteklenerek varlığını korumuştur.

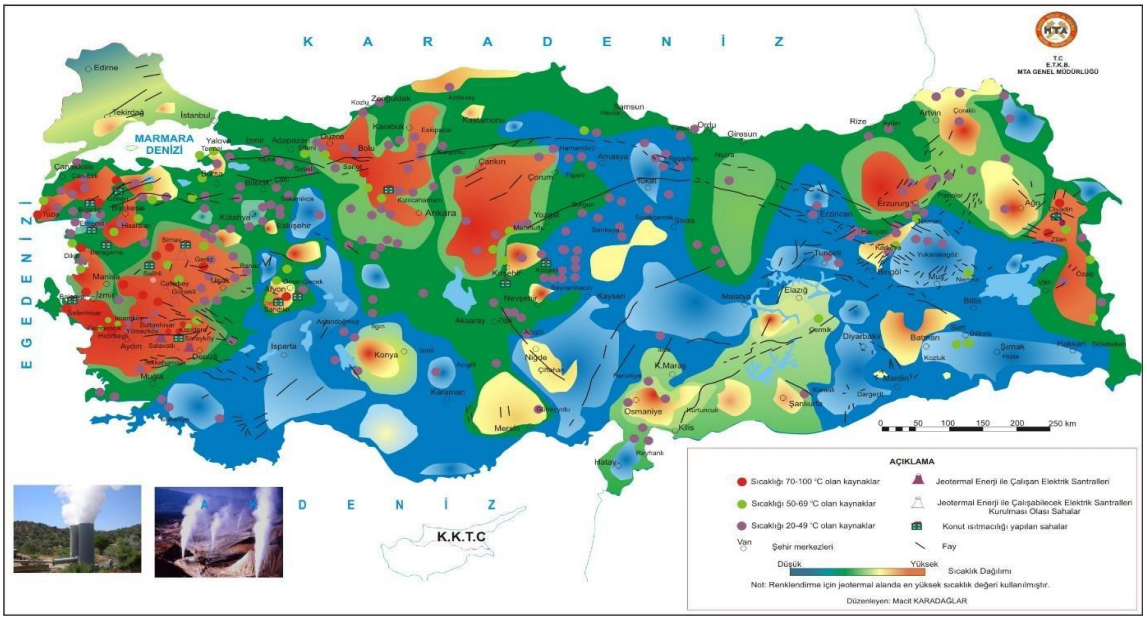
Çizelge 3. Çeşitli enerji kaynaklarına dair gaz emisyonları (AMÜ, JAUM, 2015).

KULLANILAN ENERJİ TÜRÜ	CO_2 kg/MWh	SO_2 kg/MWh	NOx kg/MWh	Partikül kg/MWh
Kömür	994	4,71	1,955	1,012
Petrol	758	5,44	1,814	Bilgi yok
Doğal gaz	550	0.0998	1,343	Bilgi yok
Hidrotermal – flaş buharlı, sıvı hakim	27,2	0,1588	0	0
Hidrotermal – Gayzer kuru buhar sahası	40,3	0,000098	0,000458	Göz ardı edilebilir
Hidrotermal – kapalı-döngü ikili	0	0	0	Göz ardı edilebilir
EPA ortalaması, tüm ABD santralleri	631,6	2,734	1,343	Bilgi yok

Türkiye'nin geleceği jeotermal kaynaklar açısından doğru bir biçimde değerlendirilmelidir. Türkiye'nin genç tektonik unsurları ve jeotermal kaynakların dağılımı Şekil 17'de; Türkiye'nin jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası ise Şekil 18'de görülmektedir. Ek olarak Türkiye'nin ısı akısı haritası da gözetildiğinde, ülkemizin jeotermal enerji açısından kayda değer bir potansiyel taşıdığı görülmektedir (Akkuş ve diğerleri, 2005; TMMOB, 2021). Ege bölgesi başta olmak üzere, Orta ve Doğu Anadolu'nun da önemli bir potansiyele sahip olduğu kabul edilebilir.



Şekil 17. Türkiye'nin genç tektonik unsurları ve jeotermal kaynakların dağılımı (http://www.mta.gov.tr/).



Şekil 18. Türkiye'nin jeotermal kaynakları ve uygulama haritası (http://www.mta.gov.tr/).

Ülkemizin kalkınması açısından jeotermal enerji önemli bir kaynaktır. Dolayısıyla jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli suların aranması, geliştirilmesi, ruhsatlandırılması, üretim süreçleri ile bu kaynakların verimli kullanımı için idari, teknik, stratejik, izleme ve denetimde karşılaşılan tüm sorunlar aşılmalıdır. Unutulmaması gereken başka bir husus da şudur: Doğal kaynaklarını doğru dürüst değerlendiremeyen toplumların refaha erişmesi mümkün değildir.

Ülkenin jeotermal potansiyeli termal olarak 31.500 MW'tır. Jeotermal enerjiye dayalı ilk santral, 1984 yılında hizmete giren 15 MW'lık Denizli-Kızıldere santralidir. Bu santral aynı zamanda İtalya'nın ardından Avrupa'nın 2. santralidir. Söz konusu santralde güç artışı yapılmış olup, halen işletilmektedir (Sav, 2022). Jeotermal potansiyeli oluşturan alanlar Batı Anadolu'da yoğunlaşmıştır. 2020 yılında, Aydın, Denizli, Manisa, Çanakkale, Afyon illerinde 60 adet santral ve 1.613 MW kapasitesinde elektrik enerjisi Kurulu gücü mevcutken, 2021 yıl sonu itibariyle üretilen jeotermal enerji kurulu gücü 1.676 MW olmuştur (EPDK, 2021)

Türkiye, jeotermal potansiyeli bakımından Avrupa'nın 1. ülkesi ve kurulu güç bakımından ise dünyanın 4. ülkesi konumundadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir. Jeotermal ısıtma ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke ise Çin, Türkiye, Japonya, ABD, İzlanda'dır (Sav, 2022).

İşte bu bağlamda, JES'in kurulum ve faaliyetleri sırasında kullanılan teknolojiler ve malzemeler özenle seçilmelidir. Üretim ve re-enjeksiyon kuyularında çatlakların ve akışkan sızıntılarının hangi oranda ve yönelimlerinin nereye doğru olduğu, yeraltı sularında kirliliğin boyutları düzenli aralıklarla izlenmeli ve denetlenmelidir. Jeotermal yasasında ise mevcut ve ortaya çıkması olası sorunlar gözetilerek yeniden düzenlenmelidir.

Bu sektörde özellikle teşviklerde, idare payı hesabındaki yinelemelerde, Jeotermal Bilgi Bankası ve Bilgiye Erişim, Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı bünyesinde Jeotermal çalışmaları muhatap alan bir daire başkanlığının kurulması önemlidir. Sektöre dair eğitim süreçlerinin geliştirilmesi konularında bazı yetersizlikler olduğu açıkça görülmektedir. Jeotermal kaynaklar, kaynağın potansiyeli ile üretim/kullanım

dengesi gözetilerek sürdürülebilir bir anlayışla yönetilmelidir. Örneğin, tarım alanları özenle korunmalıdır. Yapılan etkinliğin kamu yararı da asla göz ardı edilmemelidir.

Jeotermal kaynakların arama, araştırma, geliştirme, üretim süreçleri, AR-GE çalışmaları, yeni teknolojilerin kullanımı ve gelişiminin sağlanması, idari yapılanma ve eğitim süreçlerinin birlikte değerlendirilip, uluslararası norm ve standartlar da göz önüne alınarak, ulusal mevzuatın yenilenmesi ve iyileştirme çalışmalarının yapılmasına gereksinim vardır. Böylece, ülkemizin enerji stratejisinde jeotermal kaynaklara ilişkin süreçlerin doğru yönetilmesi için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca katılımcı bir anlayışla hazırlanacak **"Jeotermal Kaynaklar Ulusal Stratejisi"**, gerek kamu gerekse de özel sektörün yapacağı orta ve uzun dönem projeksiyonlarının bu strateji çerçevesinde yürütülmesini sağlayacak, toplumsal yararın artırılmasına yönelik beklentileri karşılayacaktır (Akkuş, 2021).

TEŞEKKÜR

Bu bölüm, sondaj mühendisi Mehmet Tuğran tarafından irdelenmiştir. Sayın Tuğran'nın yaptığı uyarılar ve katkılar, bu bölümün daha da gelişmesine katkı sağlamıştır. Kendisine teşekkürlerimi sunuyorum.

KAYNAKLAR

Akkuş İ., 2017. Neden Jeotermal Enerji? Türkiye İçin Önemi, Hedefler ve Beklentiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi Sayı:23. S: 25-38 Ankara.

Akkuş, İ. 2021. Jeotermal sektöründe durum: yasal düzenleme ve idari yapılanmanın gerekliliği. Ortak Akıl Platformu (OAP)-YET (Enerji Topluluğu) paylaşımları, Ankara.

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., ve Tekin, Z., 2005, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri: MTA Genel Müdürlüğü, Envanter Serisi-201, Ankara, 849s.

Akkuş, İ. ve Alan, H., 2016, Türkiye' nin jeotermal kaynakları, projeksiyonlar, sorunlar ve öneriler raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, No 123, Ankara, 76s.

AMÜ, JAUM, 2015, Jeotermal enerjinin çevresel etkileri. Adnan Menderes Üniversitesi, Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları, No 1, Aydın, 18s.

Atabey, E., 2017, Jeotermal kaynaklarda peloid (termal çamur) kullanımı. Bilim ve Gelecek Dergisi, 161-86-87.

Baba, A., 2004, Environmental impact of the utilization of a geothermal area, Journal of Istanbul Kültür University, 2004/1, pp.33-38.

Baba, A., 2013, Yeraltı suyu kaynaklarını etkileyen risk ve tehditler. İzmir örneği. TMMOB 2. İzmir Kent Sempozyumu, İzmir, s. 675-681.

Baba, A. ve Armannsson, H., 2006, Environmental impact of a the utilization of a geothermal area in Turkey, Energy Source, volüme 1, s. 267-278.

Baba, A. ve Murathan, A., 2006, Yüksek kontrasyonlara sahip ağır metal içeren jeotermal akışkanların su kaynaklarına etkisi. Türkiye jeoloji Kongresi sunumundan, Sadrettin Alpan Salonu, Ankara. Baba, A., Yüce, G., Deniz, O., Yasin, D. ve Hozcan., 2008, Tuzlu sıcak su kaynaklarının kontrolsüz boşalımlarının çevresel etkileri: Tuzla Jeotermal Örneği. 61. Türkiye jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabi, Sadrettin Alpan Konferans Salonu, Ankara. s.19- 21.

Bakak, Ö., 2012, Deniz içi hidrotermal çıkışların tesbitinde canlıların önemi. Mavi Gezegen, 17, 1-7.

Browne, P. R. L., 1991, Minerological guides to interpreting the shallow paleohydrology of epitermal mineral depositing environments. Proc 13 th NZ Geothermal Workshop, Auckland, s. 263-270. Burçak, M., 2015, Kızgın Kuru Kaya (KKK) ve geliştirilmiş jeotermal sistemler (GJS) ve Türkiye' de araştırmaya uygun bölgeler. MTA 80. Yıl Sempozyumu, Ankara. s. 1-7.

Çakın A., Gökçen G., Eroğlu A. E. ve Baba A., 2012, Hydrogeochemistry and Environmental Properties of Geothermal Fields. Case Study: Balçova, Izmir-Turkey", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 34:8, 732-745.

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. Çelik-Karakaya, M. ve Karakaya, N., 2009, Kaplıca tedavisinde kullanılan termal çamurların

uygunluğunu belirleyen parametreler. 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı Kitabı. 30 Ekim-1 Kasım 2009, Ürgüp Belediyesi, Kültür Merkezi, Ürgüp/Nevşehir, s.31-43.

Doğdu, M. Ş. ve Bayarı, C. S., 2002, Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 1. Akarçay Nehri'nde su ve sediman kirliliği. Yerbilimleri (HÜ), 25, 21-33.

DPT, 2001, Jeotermal Enerji Raporu; Madencilik Sektörü Özel İhtisas Komisyonu Jeotermal Enerji Alt Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, s. 46.

DSY, 2004, Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (DSY), 1.12.2004 tarih ve 25657 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

EPDK, 2021, 2021 Yılı Aralık Ayı Sektör Raporu, Ankara.

Ercan, T., Matsuda, J. I., Nagao, K., ve Kita, I., 1993, Anadolu'daki kaplıca sularında bulunan doğal gazların izotopik bileşimleri: Jeomorfoloji Dergisi, no. 17, s.101–110

Galley, A.G. ve Jonasson, I, R., 1992, Semi- comfortable alteration and volcanogenic masifse sulphide deposits. Proc. 14th NZ geothermal Workshop, Auckland, NZ.

Gevrek, A., ve Şener, M., 1984, Çanakkale- Tuzla Jeotermal sahasının Hidrotennal Alterasyon Etüdü. MTA Derg. No. 78, Ankara.

Grant, M. A. ve Bixley, P. F., 2011, Geothermal Reservoir Engineering, 2. Baskı, Elsevier Inc., USA, 359 s.

Grant, M., Clearwater, J., Quinao, J., Bixley, P. ve Le Brun, M. 2013. Thermal stimulation of geothermal wells: A review of field data. Proceedings, 38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering.

https://tr.wikipedia.org/

https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/menu/buyuk-menderes-nehir-havzasi-scd-raporu_final_tr_20181108013851.pdf (Erişim tarihi, 16.02.2021).

http://www.adsgrup.com.tr/ http://www.bilgizenginleri.org/ http://www.eie.gov.tr/

https://www.emo.org.tr/ekler/d6b5c1730d04923_ek.pdf?tipi=41&turu=X&sube=0/

http://www.hurriyet.com.tr/ http://www.jeotermaldernegi.org.tr/

http://www.maden.org.tr/ http://www.mta.gov.tr/

http://www.slideplayer.biz.tr/

IPCC, 2011, IPCC Special Report on Renewable Energy Sourcesand 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. Von Stechow (eds)]. Chapter 4 & 9. Cambridge UniversityPress, Cambridge, United Kingdomand New York, NY, USA, 1075 s.

JEK, 2007, 5686 nolu Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu (ya da kısaca Jeotermal Enerji Kanunu- JEK) 03.06.2007 tarih ve 26551 sayılı Resmî Gazete.

JEK-UY, 2007, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği (JEK-UY), 11.12.2007 tarih 26727 sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Kagel, A., 2007, A Guide to Geothermal Energy and the Environment. Geothermal Energy Association, Washington, DC.

Kagel, A., 2008. The State of Geothermal Technology. Part II: Surface Technology. Geothermal Energy Association, Washington, DC.

Luketina, K. 2012. The Waikato Regional Geothermal Resource. Technical Report 28, Waikato Regional Council.

Manahan, S.E., 1994, "Environmental Chemistry", 6th Ed., Lewis Publishers, USA.

Muffler, P. L. J., 1986, Geological models of geothermal systems, Geothermal Workshop Aukland NZ.

Muffler, P. L. J., 1976, Tectonic and hydrologic control of the natüre and distribution of geotermal resources , Proceedings, Second U. N. Symposium on the Development and Use of Geotermal Resources, 1, 499-507.

Nicholson, K., 1993, "Geothermal Fluids", Springer-Verlag, New York, USA.

NRC, 2010, Hidden costs of energy: Unpriced consequences of energy production and use. National Academies Press. Washington, DC., Online at National Research Council (NRC) http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12794.

NTS 2403:2014, "Code of Practice for Deep Geothermal Wells" Standards Association of New Zealand.
Ölmez, E., Ünlü, M. R., Ercan, T., Can A. R., 1993, Nemrut Tatvan- Bitlis) jeotermal alanının jeotermal enerji olanakları Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 8, Ankara, s. 231-236.
Ölmez, E., Ercan, T., ve Yıldırım, T., 1994, Tendürek (Doğu Anadolu) jeotermal alanının (Diyadin Zilan Çaldıran) volkanolojisi ve jeotermal enerji olanakları. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.
Ölmez, E. ve Ercan, T. 1996, Türkiye'de Volkanizma-Jeotermal Enerji İlişkisi: Türkiye Enerji Bülteni, Vol.3, no 1-2, s.3-14
Özbek, T., 2011, Jeotermal kaynakların sağlık ve termal turizmde değerlendirilmesi. Jeofizik Bülteni (www. Jeofizik.org.tr), s.27-37.
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.
Sav, M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli. https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcutpotansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022
St Harvey, M. C., Luketina, K., Mc Leod, J. ve Rowland, J. 2018. Geothermal monitoring using remotely sensed data and cloud computing. Proceedings 40th New Zealand Geothermal Workshop, Stanford University, California.
Şimşek, C. ve Rabet, R. S., 2016, Jeotermal kuyularda bazı sondaj problemlerinin yeraltı suyuna etkileri; Alaşehir (Manisa) Örneği. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016- ODTÜ KKM Ankara, s.19-20.
TMMOB, 2021. Büyük Menderes Havzasında Jeotermal Enerji Santralleri Gerçeği ve Aydın İlinde Kurulu JES'lerin Çevresel Etkileri, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Selanik Cad. No:19/1 Yenişehir 06650 Ankara, 113 s
Tuğran, M., 2022. Türkiye'deki derin jeotermal sondaj uygulamaları, çevre problemleri ve çıkarılan dersler. Sondaj Türkiye 2022, V. Uluslararası Sondaj Kongresi ve Sergisi (www.drilling.org.tr), Bildiriler Kitabı, İzmir, s.25-30.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348 s.

4. 7, RÜZGÂR ENERJİSİ

GENEL BİLGİLER

Rüzgâr enerjisi, bir bakıma döngüye dayalı güneş enerjisidir. Rüzgâr, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru yer değiştiren havanın yer yüzeyine bağlı olarak yaptığı devinimdir. Yer değiştiren hava kütlelerini, Dünya'nın dönmesinden kaynaklanan Coriolis kuvveti ve yeryüzü ile hava arasındaki sürtünme kuvveti rüzgârın hızını etkiler.

Bilindiği gibi, rüzgâr enerjisi kullanımı, MÖ 2800 yıllarında Orta Doğu'da başlamıştır. MÖ 17.yy.'da Babil Kralı Hammurabi döneminde, Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan bu enerji, benzer amaçlarla Çin'de de kullanılmıştır. Yel değirmenleri (Ültanır, 1996) de rüzgâr enerjisinden yararlanarak belirli amaçlarla kullanılan tesisler olup ilk kez İskenderiye yakınlarında kurulmuşlardır. Türkler ilk yel değirmenlerini MS 7. yy.'da kullanmalarına karşın Avrupa'da bu uygulamaya 12. yy.'da geçilebilmiştir. Tarımsal ürünleri öğütmek, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi çeşitli amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri, Avrupa'da endüstri devrimine kadar hızla yayılmıştır. Örneğin 18.yy'ın sonunda, Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunduğu bilinmektedir.

Buhar makinesinin yapılması, fosil yakıt kullanımının yaygınlaşması nedeniyle zaman içinde rüzgâr enerjisi önemini yitirmiştir. Daha sonra, rüzgâr türbini benzeri ve elektrik üretiminde kullanılan ilk sistemler 1890'lı yıllarda Danimarka'da üretilmiştir. 1941 yılında ise 1.250 kW kapasitesinde ilk kapsamlı rüzgâr türbini ABD'nin Vermont eyaletinde kurulmuştur. Zaman içinde Avrupa ve Amerika'da bu konuda yoğun çalışmalar yapılmış ve yeni uygulamalara geçilmiştir.

Ülkemizde de rüzgâr enerjisinin önemine ve gücüne dair ayrıntılar sunulmuştur. Türkiye'nin şebekeye bağlantılı ilk rüzgâr santrali 1,5 MW kurulu güçte Çeşme-Germiyan'da kurulmuş bir otoprodüktör santralidir. Diğer bir rüzgâr santrali ise Yap-İşlet-Devret modeli ile 1998 yılında inşa edilen 7,2 MW'lık Çeşme-Alaçatı santralidir. Alaçatı santrali 20 yıllık işletme dönemi sonrası EÜAŞ'a devredilmiştir (Oralalp, 1994; Sav, 2022).

Ancak, rüzgâr enerjisinin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bu hususlar Çizelge 1'de öz olarak sunulmuştur.

Çizelge 1. Rüzgâr enerjisinin avantaj ve dezavantajları (http://www.slideshare.net/).

Rüzgar Enerjisinin Avantajları;

- Temiz bir enerji kaynağıdır, emisyonu yoktur.
- Yerel bir enerji kaynağıdır, dışa bağımlı değildir.
- Yatırım alanının % 1'ini kullanır, bu alanlarda tarım ve hayvancılık faaliyetleri yapılabilir.
- Ucuz bir enerji kaynağıdır.
- Atıl alanlar kullanılabilir.
- Yüksek istihdam yaratır.





Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları;

- Görüntü kirliliği yaratabilir.
- Gürültü kirliliği yaratabilir.
- Radyo ve TV sinyallerini bozabilir.
- Kuş göç yollarında, kuşlara zarar verebilir.

Rüzgâr enerjisinin diğer üstünlüklerini ise aşağıda sunulmuştur:

- Herhangi bir radyoaktif ışınım yaratmamaktadır. Temiz ve maliyeti ucuzdur. Enerjinin taşınma maliyetleri yoktur ve herhangi bir atık üretilmemektedir.
- Atmosfere veya yakındaki nehir ve denizlere ısıl emisyonları bulunmamaktadır. CO_2 salınımı yoktur.
- Rüzgâr türbinleri güvenlik açısından başarılı bir geçmişe sahiptir. Kullanım sonrasında tasfiye edilmeleri diğerlerine göre çok kolaydır.
- Rüzgâr bir yerli enerji kaynağıdır ve dünya enerji pazarlarından büyük ölçüde bağımsız olma özelliğine sahiptir.
- Teknolojinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- Rüzgâr türbinleri modüler olup herhangi bir büyüklükte imal edilebilmekte ve tek olarak ya da gruplar halinde kullanılabilmektedir.

Rüzgâr türbinlerinin yer seçimi ve işletmeye alınması, yani inşaatın başlamasından ticari üretime geçişine kadar, bir-iki ay gibi kısa bir sürede gerçekleşmesi de önemli bir avantajdır.

ÖZELLİKLERİ

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Genel olarak, rüzgâr gücü maliyeti düşük, etkin, çevresel etkileri ve sürekliliği sınırlı bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisi özü itibarıyla dünyanın atmosferi tarafından kinetik enerjiye dönüştürülmüş güneş enerjisidir. Rüzgâr enerjisi. Bir bakıma hareket halindeki havanın kinetik enerjisidir (Yılmaz, 2009).

Yapılan kestirimlere göre, atmosferin rüzgârları oluşturan brüt kinetik gücü $0.191x10^{12}$ KW'tır. Dünya rüzgâr enerjisi potansiyelinin, 50° kuzey ve güney enlemleri arasında $3x10^9$ KW olmasına rağmen ekonomik ve bazı fiziksel koşullar nedeniyle bu kapasitenin $1x10^9$ KW'ın kullanılabileceği kaydedilmiştir (Ültanır, 1996).

Rüzgârın **hızı** yükseklikle, **gücü** hızının küpü ile orantılı olarak artar. Rüzgârdan sağlanacak enerji, gücüne ve rüzgârın estiği süreye bağlıdır. **Özgül rüzgâr gücü, hava debisine dik olarak, birim yüzeye düşen güçtür.**

Topografik yapıya göre, rüzgârın yerden 50 metre yükseklikteki özgül gücü, hızı 3.5 m/sn den az iken 50 W/m^2'den küçük, 11.5 m/sn' den fazla olduğunda 1800 W/m^2 den büyük olabilmektedir. Dünya yüzeyinin % 27'sinde yıllık ortalama rüzgâr hızının, yerden 10 m yükseklikte 5 m/sn'den yüksek olduğu belirtilmektedir.

Aşağıdaki eşitlikle bir rüzgâr türbinin üreteceği teorik güç hesaplanabilir (http://www.eie.gov.tr/): $P= 1/2q\ A\ V^3$

Burada;

P = Rüzgâr türbini tarafından üretilen teorik güç.....watt

A = D 2/4 (rotor süpürme alanı) .....m^2

D = Rotor çapı.....m

V = Rüzgâr hızı.....m/sn

? = Rüzgâr türbin verimliliği (ideal şartlarda bu değer % 59 alınır ve Betz Limiti olarak adlandırılır.)

Bir yıllık üretilen enerji miktarı (kWh) ise;

Üretilen Enerji = P*t formülünden hesaplanır. Burada t (zaman) 8760 h olarak alınır.

Rüzgâr türbini kurulacak arazide el anemometresi veya otomatik ölçüm aletleri ile rüzgâr hızı ve yönü ölçülebilir. Rüzgâr ölçümlerinde anemometre ve yön sensörleri kullanılmaktadır. El anemometresi; seyyar olarak ölçülmesi istenen rüzgâr hızını ve yönünü doğrudan ölçme işinde kullanılır.

YER SEÇİMİ VE VERİMLİLİK

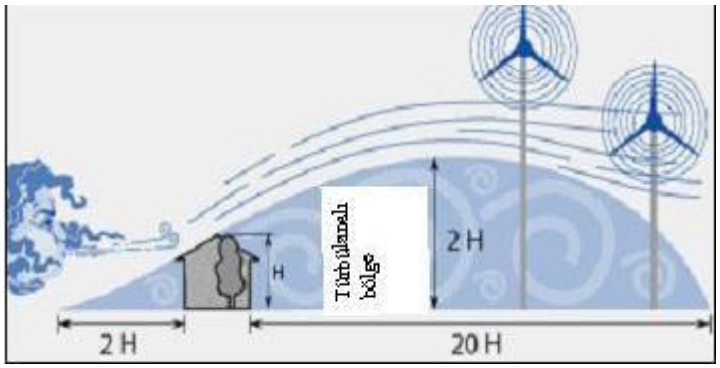
Rüzgâr Enerjisi Santralleri (RES)'nin verimli olması için yer seçimi belirleyicidir. Bu konuda bölgesel rüzgâr haritalarından çok yerel rüzgâr haritaları dikkate alınmalıdır. Ayrıca yere özgü rüzgâr ölçümleri

yapılmalıdır. Çevresel baskıların olmadığı, elektrik şebekesine yakınlık ve kolay erişilebilir alanlar tercih edilmelidir. Denizlerde kurulan tesislerin kıyıya uzaklığı en az 10 km olmalıdır. Aksi durumlarda enerji kaybı söz konusu olabilir.

Rüzgâr enerjisi bakımından, denizel kıyı alanları, karasal alanlara göre daha zengindir. Avrupa'da yapılmış olan bir değerlendirmeye göre, 100 m rotor çaplı türbinlerin kullanılması halinde kıyıdan 10 km açıklıkta ve 10 m su derinliği olan alanlardaki potansiyel 750 TWh/yıl, kıyıdan uzaklığı 30 km ve su derinliği 40 m olan alanlarda 3500 TWh/yıl düzeyine çıkmaktadır. Avrupa Birliği'nin elektrik tüketimi, 1727 TW/y olduğuna göre, elde edilen bu değerler, oldukça önemli görülmektedir.

İlk deniz üstü rüzgâr çiftliği olan Vindeby tesisleri, güçlendirilmiş beton duba tipi temel üzerine yerleştirilmiştir. Konik biçimindeki temellerin çapları, üstte 5 m, alt kısımda 14 m'dir. Temeller 550 ton olup içlerine 500 t'luk çakıl ve kum yerleştirildiği için; toplam kütle, 1050 t'a ulaşmıştır. Dubalar, deniz tabanına bağlanmıştır. Deniz yüzeyinden kanat ucuna olan mesafe, 55 m'dir. Türbinler, kıyı şeridinden 1.5 km uzaklıkta ve aralarında 1.5 km mesafe olacak şekilde iki sıra halinde yerleştirilmiştir. Çiftliğin yapım maliyeti, yaklaşık 14.5 milyon dolardır. Yatırımın yüksekliği, türbinin oturacağı deniz içi beton yapıdan kaynaklanmıştır.

İyi bir Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES)'nin verimliliğini etkileyen hususlar: Gövde yüksekliği, kanat yapısı ve profili, rüzgâr gücü (hızı) ve yönü, kanat sayısı ve genişliği, bölgenin rüzgâr çiftliğine uygunluğu. Örneğin, kanat sayısı arttıkça verimlilik düşer. Kanatların aerodinamik yapıları üzerinde de çalışmalar sürdürülmektedir. Günümüzdeki çalışmalar gözetildiğinde en uygun rüzgâr hızı 5-25 m/sn arasında olduğu söylenebilir. Rüzgâr hızı daha düşük olursa santral çalışamaz, yüksek olursa risk yaratır. Ama önlemleri alınmış ve daha yüksek hız ile çalışan santraller de vardır. Ayrıca bölgedeki yapılar (Şekil 1), morfoloji, bitki örtüsü gibi hususlar rüzgâr hızını etkileyeceğinden yer seçimini etkiler. Türbinleri de olabildiğince egemen rüzgâr yönüne göre yerleştirmek gerekir.



Şekil 1. Ağaç ve bina yüksekliğinin (H) rüzgâr hızına olan etkisi (http://www.eie.gov.tr/).

Rüzgâr enerji santralları için yer seçiminde gözetilmesi gereken hususlar toplu olarak aşağıda sunulmuştur (http://www.eie.gov.tr/):
- Şiddetli basınç gradyanlı, düşük eğimli, sürekli rüzgâr vadileri,
- Şiddetli jeostrofik rüzgâr alanlarındaki tepeler ve zirveler,
- Şiddetli jeostrofik rüzgâr veya termal gradyan alanlarına maruz kalmış kıyı şeritleri.

Yapılan çalışmalar sonucu belirlenen parklarda elde edilen sonuçlarla birlikte, rüzgâr karakteristikleri ve enerji üretimi çözümlemelerinin yapılması gerekmektedir. Bunun için, belirlenen araziyi temsil edecek nokta veya noktalarda ölçüm yapılması gereklidir. Yapılacak ölçümler, teknik açıdan

en az **bir yıl** sürmelidir. Bunun yanında, rüzgâr santrali **kurmaya aday olabilecek** yerlerde göz önüne alınması gereken aşağıda sunulan hususlar, rüzgâr enerjisi santrallarının olabilirliği ve uygulanabilirliği açısından çok önemlidir.

- Ulaşım kolaylığı,
- Ulusal şebekeye bağlanma kolaylığı,
- Arazinin yol ve diğer çalışmalar için işlenme kolaylığı,
- Arazinin eğimi,
- Arazinin genişliği,
- Arazinin kullanılış şekli,
- Arazinin bitki örtüsü,
- Arazinin yerleşim birimlerine olan yakınlığı,
- Arazinin askeri, sivil radar ve buna benzer tesislere olan yakınlığı,
- Arazinin hava alanına olan yakınlığı,
- Arazinin mülkiyeti, (arazinin mülkiyet durumu nedir? Arazi sit, doğal koruma, milli park, hayvanları koruma alanı gibi inşaat yapılması mümkün olmayan veya belli izinler sonucu rüzgâr santralı kurulabilir sahalardan mıdır?)
- Arazinin turizm bölgeleri ile olabilecek etkileşimi.

19. yy'ın sonu ve 20. yy'ın başından beri rüzgâr ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Ancak, son 15 yıl içinde, rüzgâr enerjisi bir endüstri sektörü olarak gelişmeye başlamıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi, rüzgâr enerjisini kullanılabilir bir konuma getirmek için önce yer seçimi gereklidir. Yer seçiminden sonra, yerin hazırlanması-inşaat çalışmaları ve rüzgâr türbinlerinin yerleştirilmesi ile işletilmesi aşamaları gelir. Yerin hazırlanması ile inşaat çalışmalarına yönelik bazı görüntüler Şekil 2 ve 3'de görülmektedir.



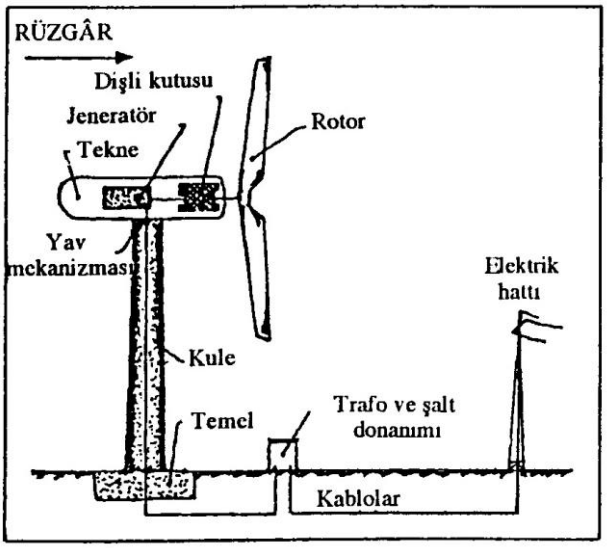
Şekil 2. Düzova Rüzgâr Enerji Santrali (http://www.biba.com.tr/).

Şekil 3, Çanakkale ili, Gelibolu ilçesi, Cevizli köyü, Burgaz – Munipbey Çiftliği mevkiinde Doğal Enerji A.Ş. için kurulacak olan, Burgaz rüzgâr enerji santrallerinin inşaat evresini göstermektedir. Bu görüntüler rüzgâr enerjisinin inşaat evresini de çevresel etkiler açısından önemle dikkate almayı gerektirmektedir.



Şekil 3. Burgaz rüzgâr enerji santrallerinin inşaat evresinden görüntüler (http://www.bilmerinsaat.com/).

Rüzgâr enerjisi tesislerinin işletme evresini tanımlamak için, önce rüzgâr türbinlerinin nasıl çalıştığını incelemekte yarar vardır. Rüzgâr enerjisi için öncelikle döngülere dayalı basit sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerde de kule, kule üzerinde tekne (=gövde), tekne ile bağlantılı rotor bulunmaktadır. Tekne bölümüne transmisyon sistemi, jeneratör, yönlendirme, frenleme ve güç ayarlama düzenleri, elektronik algılayıcılar ile kumanda sistemleri yerleştirilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Yalın bir rüzgâr türbininin bazı bölümleri (Ültanır, 1996).

Rüzgâr türbinlerinin kuleleri, çelikten ya da betondan yapılmaktadır. Boru biçimindeki kulenin iç boşluğundan, rotora çıkılmaktadır. Boru çapları, 1-2 m arasında değişmektedir. Tekne kısmı çelikten yapılmakta, titreşimden kaynaklanan gürültünün azaltılması için, teknenin tümü lastik izolasyonla kaplanmaktadır.

Rotor, göbekle mile bağlanmış aerodinamik profilli kanatlardan oluşmaktadır. Kanat sayısı, 1- 3 olup konumları sabit ya da ayarlanabilmektedir. Kanat, çelik bileşenler içeren bir materyalden ve özellikle, reçine ya da polyester ile güçlendirilmiş fiberglass bir gereçten yapılmaktadır. Uzunlukları, 10- 30 m arasında olup özgül ağırlıkları, 130-240 kg/m kadardır.

Rüzgârın kinetik enerjisi, rotorda mekanik enerjiye çevrilmektedir. Rotor milinin devir hareketi, hızlandırılarak jeneratöre aktarılmaktadır. Türbinin rüzgâra göre yönlendirilmesi, rotor ekseni ile rüzgâr doğrultusu arasındaki açıyı denetleyen **yav mekanizması** ile sağlanmaktadır. Elektrik üretimine yarayan bu makineye, aerojeneratör denilmektedir.

Yeni teknoloji ile geliştirilenler, Rüzgâr Enerjisi Döngü Sistemi (WECS-Wind Energy Control System) ve küçük olanlar Küçük Rüzgâr Enerjisi Döngü Sistemi (Small WECS) olarak adlandırılmaktadır. WECS'ler, 2000 KW'a kadar çıkmakta; SWECS'ler ise, 100 KW'dan küçük olmaktadır. Dünya'daki WECS'ler, 150-1500 KW gücünde olup bunların rotor çapları 25-66 m, kule yükseklikleri 25-70 m arasında değişmektedir. WECS'ler tek türbin olabilecekleri gibi, rüzgâr çiftliği ya da tarlası olarak tanımlanan çok sayıda türbinden oluşabilmektedir (Şekil 5, 6 ve 7).



Şekil 5. Petersdorf rüzgâr çiftliği (Ültanır, 1996).



Şekil 6. Danimarka'da Kappel rüzgâr çiftliği (Ültanır, 1996).

Şekil 7'de görülen Zorlu Enerji'nin Türkiye'deki ikinci rüzgâr santral projesi olan SarıtepeDemirciler Rüzgâr Enerjisi Santralleri, tam kapasite ile elektrik üretimini yapmaktadır. 80,3 MW kurulu güce sahip iki santral, Osmaniye'nin Bahçe ilçesinde 100 milyon avro yatırımla faaliyete geçti.



Şekil 7. Ülkemizde ikinci rüzgâr santrali (http://www.yerliteknoloji.net/).

Günümüzde çok daha ileri teknolojiye sahip rüzgâr türbinleri geliştirilmiştir. Bu türbinler de rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bir rüzgâr türbini daha ayrıntılı olarak aşağıdaki parçalardan meydana gelir:

1. Rotor: Rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.
2. Dişli Çark: Rotor'un dönme hızını arttırır.
3. Generatör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir.
4. Fren: Türbini yavaşlatır ve durdurur.
5. Yönlendirici: Rüzgâr doğrultusuna göre türbini yönlendirir.
6. Transformatör: Generatör voltajını şebeke voltajına yükseltir
7. Kule: Türbini taşır.

Rüzgâr türbinleri; rotor, güç şaftı ve rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çeviren bir alternatörden (generatör) oluşur. Rüzgâr rotordan geçerken, aerodinamik bir taşıma kuvveti oluşur ve rotoru döndürür. Bu dönel hareket generatörü hareket ettirir ve elektrik üretir. Ayrıca türbinlerde, dönme oranını ayarlayacak ve kanatların hareketini durduracak bir rotor kontrolü bulunur. Rüzgâr hızı yükseklikle arttığı için rüzgâr türbinleri kule tepelerine yerleştirilir.

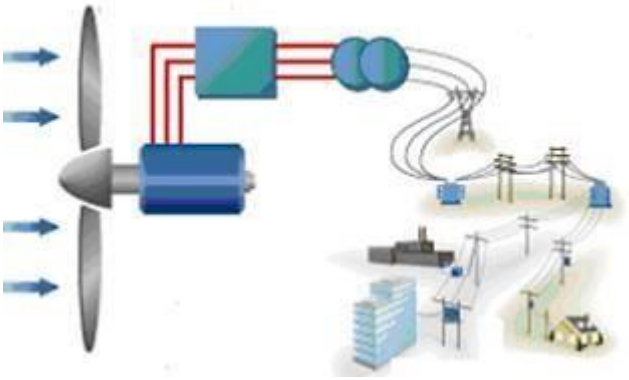
Bir rüzgâr türbininin görünümü [nasel'in (gövde) içyapısı] Şekil 8'de; rüzgâr enerjisinden üretilen elektriğin dağıtımı Şekil 9'da görülmektedir.

1- Kanatlar
2-Rotor
3-Açı düzenleyici
4- Fren
5- Düşük hızlı mil



6- Dişli Kutusu
7- Generatör
8- Hız ve yön düzenleyici
9- Anomometre
10- Rüzgâr yön sensörü
11- Nasel
12- Yüksek hız mili
13- Yönlendirme mekanizması
14- Yönlendirme motoru
15- Kule

Şekil 8. Nasel' in içyapısı (http://www.eie.gov.tr/).



Şekil 9.Rüzgâr enerjisinden üretilen enerjinin dağıtımı (http://www.eie.gov.tr/).

Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri kanat sayılarına göre; Tek kanatlı, Çift kanatlı, Üç kanatlı türbinler olarak sınıflandırılabilirler. Rüzgârı alma durumuna göre; Rüzgârı önden alan türbinler (up-wind), Rüzgârı arkadan alan türbinler (down-wind) olarak da sınıflandırılabilmektedir. Güçlerine göre**;** Rüzgâr türbinlerini kanat sayılarına göre sınıflandırmak: Günümüzde modern rüzgâr türbinleri upwind olarak yapılmakta olup 2 veya 3 kanatlıdırlar. Bu kanatlar genellikle kompozit malzemeden örneğin fiberglas'dan yapılırlar. Ayrıca eksenlerinin konumuna göre sınıflandırılabilir.

Türbinler, rotor konumuna göre yatay ve dikey eksenli olmaktadır. Yatay eksenliler; yüksek hızlı, az kanatlı propeller türbinler, difüzörlü türbinler, tornado türbinler olarak üç grupta toplanmaktadır. Dikey eksenlilerin ise, Darrieus türbinleri, Darrieus-Savonius türbinleri, Musgrove türbinleri olmak üzere üç tipi bulunmaktadır.

Ayrıca rüzgâr türbinlerinde dişli kutululular ve dişli kutusuzlar (Direct Drive) olmak üzere iki teknoloji ön görülmektedir. Dişli kutusuzlar teknolojisinde 'permanent magnet' adı verilen yeni jeneratörün içinde mıknatıslar kullanılarak manyetizma sağlayan yenilikler vardır. Bu türbinlerin verimliliği, türbinin ilk hareketi için enerji harcamayan sabit mıknatıslı jeneratörler aracılığı ile daha da iyileştirilmektedir.

Rüzgâr enerjisinin tesislerini birbirinden uzak ve farklı coğrafik yerlerde tasarlama zorunluluğu doğabilir. Bir arızanın olması halinde arızalı, olan ünitenin yanına gitmek gerekebilir. Bu da zaman ve emek kaybı demektir. Günümüzde 'Uzaktan Destek Sistemleri' sayesinde arızalı ünitenin yanına gitmeden söz konusu arıza giderilebilmektedir.

KULLANIM ALANLARI

Rüzgâr enerjisi kullanımında asıl güç kaynağı, kanatların dönme hareketidir. Günümüzde daha çok rüzgârla elektrik üretimi yaygın olsa da, rüzgâr enerjisinin kullanıldığı alanlar şöyle sıralanabilir: Elektrik üretme, su depolama, su pompalama, taşımacılık, tahıl öğütme, soğutma. Bu kullanım alanlarından bazıları Şekil 10 ve 11'de görülmektedir.



Şarj Sistemleri Su depolama Tahıl Öğütme Soğutma

Şekil 10. Rüzgâr enerjisinin bazı kullanım alanları (http://www.temiz-enerji.ucoz.com/).

Rüzgâr türbinleri, yalnızca şehir şebekesine elektrik sağlamak amacıyla kullanılmaz. Ev kullanımı için üretilen küçük türbinler de vardır. Hatta bu türbinlerin kullanımı giderek yaygınlaşıyor. Ev tipi rüzgâr türbinleri, şebekeden uzak, rüzgâr verimi yüksek bölgelerde, bireysel kullanım için son derece uygundur. Bir ev için kullanılabilecek rüzgâr türbin gücü yıllık tüketilen elektrik miktarına bağlı olarak 1-20 kW arasında değişmektedir (http://temiz-enerji.ucoz.com/).

ÇEVRESEL ETKİLER VE DENETİM

Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin (RES) kurulabilmesi için sıra ile yolların açılması, tesis yerlerinin hazırlanması ve inşaatı gereklidir. İnşaatın tamamlanmasından sonra işletme evresi planlanır. Tüm evrelerde kimi çevresel etkilerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Yüksel ve Baştanlar (2013) inşaat ve işletme evrelerinde karşılaşılan çevresel etkilerin çevrenin bileşenleri özelinde irdelemiştir (Çizelge 2).



Şekil 11. Rüzgâr enerjisinin evlerde elektrik üretme amacıyla kullanımı (http://www.temiz-enerji.ucoz.com/).

Çizelge, 2. RES'lerin inşaat ve işletme aşamalarındaki çevresel etkileri (Yüksel ve Baştanlar, 2013).

BİLEŞENLER	ETKİLER	
TOPRAK	İnşaat	-Geçici arazi işgali -Toprak yapısında değişiklikler ve bozulmalar -Toprak kirliliği
	İşletme	-Toprak erozyonu -Toprak verimliliğinin azalması -Drenajın değişmesi - Toprak kirliliği
YÜZEY SULARI	İnşaat	-Geçici suya deşarjlar -Su yatakları üzerine geçici fiziksel etkiler -Su kalitesindeki değişiklikler ve bozulmalar
	İşletme	-Fiziki çalışmalarla su kenarında ve yatak morfolojisinde bozulmalar -Mansapdaki ekolojiye ve insan kullanımına etkiler -Sedimantasyon ve bulanıklık
EKOLOJİ	İnşaat	-Habitatların zarar görmesi/kaybı -Flora ve faunada değişiklikler ve kayıplar -Nesli tehdit altındaki türlerin popülasyonlarında kayıplar
	İşletme	-Kuşlar ve yarasaların türbinlere çarpma riski -Yüzey örtüsündeki değişikliklerin alanın taşıma kapasitesini ve türlerin davranışlarını etkilemesi -Habitatların zarar görmesi/kaybı - Biyolojik çeşitliliğin azalması
PEYZAJ	İnşaat	-Çevre yerleşimler için inşaat süresince oluşacak kısa dönemli görsel etki
	İşletme	-Arazi morfolojisinin değişmesi -Uzun dönemli/Kalıcı görsel etki -Kırsal peyzaj görüntüsünün değişmesi (türbinler, binalar vb.)
GÜRÜLTÜ	İnşaat	- Gürültünün inşaat süresince yerleşimler ve habitatlar için oluşturduğu olumsuz etki
	İşletme	-İşletim aşamasında türbin bıçaklarının yarattığı ses
İKLİM HAVA	İnşaat	-Yerleşimler ve habitatlar için inşaat süresince oluşacak toz emisyonunun olumsuz etkisi - Geçici hava kirletici emisyonlarda artış
	İşletme	- Mikroklimanın değişmesi -Hava akımlarının değişmesi
IŞIK YANSIMASI (SHADOW FLICKER)	İnşaat	-Yerleşimler ve habitatlar için türbinlerin yaratacağı titrek ışık etkisi
	İşletme	-Işık yansımasının yollardaki sürücüler üzerinde oluşturduğu risk
REKREASYON	İnşaat	-Rekreasyonel kaynak değerlerinin zarar görmesi/ kaybı -Aktivitelerin geçici olarak engellenmesi
	İşletme	-Aktivitelerin engellenmesi

Bu değerlendirmeye göre, RES'lerin hem inşaat hem de işletme aşamasında çevrenin tüm bileşenleri etkilenmektedir. Ayrıca, Uyar ve diğerleri (1995) rüzgâr enerji sistemine ve denetimine dair ayrıntılar sunmuştur. Aşağıda rüzgâr enerji sistemlerinin çevresel etkileri ve denetimine dair temel bilgiler sunulmuştur (Çakır ve Çakır, 1987; Boşgelmez ve diğerleri, 2001; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Özellikle işletme evresinde ortaya çıkması olası etkilerin inşaat evresine göre daha yoğun olduğu kabul edilmelidir. Ayrıca kimi etkiler, insan sağlığını da etkileyebilecek boyuttadır. Örneğin işletme evresi başlı başına gürültüye yol açmaktadır. İşletme evresinde oluşan gürültünün frekans aralığında insanlarda uyku bozukluğu ve dikkat eksikliği, baş ağrısı, kulak çınlaması, sersemlik hissi, hareket duyarlılığın dayalı panik nöbetleri, hafıza sorunları meydana gelebilir.

Sonuç olarak, RES'ler nedeniyle olumsuz çevresel etkilerin ortaya çıkması kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, RES'lerin öncelikle yerleşim birimlerine, ekosistemlere, tarım arazilerine, doğal ve kültürel mirasa, milli parklara olası etkileri denetime katkı sağlamak amacıyla ayrıntılı değerlendirilmelidir.

Öte yandan, RES'lerle ilgili arazi kullanımı, yabani hayat ve habitat, kamu sağlığı ve toplum ile yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonları açısından Özsayın (2013) tarafından yapılan kapsamlı derleme çalışmasında aşağıdaki hususlara dikkat çekmektedir:

Arazi Kullanımı

Rüzgâr enerjisi tesislerinin arazi kullanım miktarına etkisi, sahaya bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Örneğin, düz alanlara yerleştirilmiş olan rüzgâr türbinleri tepelik alanlara yerleştirilenlere göre daha fazla arazi kullanımını gerektirmektedir. Ancak, rüzgâr türbinleri arazinin tümünü işgal etmez. Türbinler yaklaşık 5 ila 10 rotor çapında aralıklı olarak yerleştirilmelidir (bir rotor çapı, rüzgâr türbini kanatlarının çapıdır). Yani, türbinler ve çevrelerindeki alt yapılar (yollar ve iletim hatları dâhil olmak üzere), tesislerin büyüklüğüne göre bir alan işgal etmektedir.

RES'ler, terk edilmiş sanayiye ait alanlara ya da ticari değeri düşük olan alanlara yerleştirilirse arazi kullanımı konusundaki kaygılar önemli ölçüde azaltılabilir.

Yabani Hayat ve Habitat

Rüzgâr türbinlerinin yabani hayat, özellikle de kuşlar ve yarasalar üzerindeki etkisi geniş kapsamlı olarak belgelenmiş ve çalışılmıştır. Akran değerlendirmeli araştırmanın yakın zamanda Ulusal Rüzgâr Koordinasyon Komitesi (NWCC) tarafından yapılan bir değerlendirmesi, rüzgâr türbinlerine çarpma nedeniyle veya dönen türbinlerin neden olduğu hava basıncı değişimlerine bağlı olarak ve aynı zamanda habitatın bozulması nedeniyle kuş ve yarasa ölümleri kanıtını bulmuştur. NWCC, bu etkilerin göreceli olarak düşük olduğu ve türlerin popülâsyonu üzerinde bir tehdit teşkil etmediği sonucuna varmıştır (NWCC, 2010).

Buna ek olarak, rüzgâr türbini teknolojisindeki ilerlemeler ve yabani yaşam davranışındaki araştırmalar, kuş ve yarasa ölümlerinin azaltılmasına yardımcı olmuştur. Bu bilgileri kullanarak, düşük rüzgâr hızları sırasında rüzgâr türbinlerinin hareketsiz tutulması, enerji düzeyi düşürülmeden yarasa ölümlerini yarıdan fazla azaltabilir. Rüzgâr türbinlerinin daha iyi yerleştirilmesi yoluyla diğer yabani yaşam etkileri hafifletilebilmektedir. ABD Balık ve Yabani Yaşam Servisleri, endüstriden, devletten ve kabile yönetimlerinden ve kar amaçsız kuruluşlardan gelen temsilcileri içeren bir danışma grubu toplayarak ve uygun rüzgâr çiftliği yerleşimi ve en iyi yönetim uygulamaları konusunda kapsamlı öneriler toplayarak bu çabada öncü bir rol üstlenmiştir (FSW, 2010).

Denizde kurulu bulunan rüzgâr türbinlerinin deniz kuşları üzerinde bazı olumsuz etkileri olabilir. Ancak, karadaki rüzgâr türbinleri gibi deniz rüzgârı ile ilişkili kuş ölümleri asgari düzeyde tutulabilir. Denize yerleştirilen rüzgâr çiftlikleri aynı zamanda balık ve diğer deniz yaban yaşamını da etkiler. Bazı çalışmalar da türbinlerin, yapay resiflerin işlevini görmek suretiyle, balık popülâsyonlarının artırabileceğini öngörmektedir.

Kamu Sağlığı ve Toplum

Rüzgâr türbinleri tarafından üretilen sesin çoğunluğu aerodinamiktir ve türbin kanatlarının havada hareketi nedeniyle ortaya çıkar. Ayrıca türbinin kendisinin ürettiği mekanik ses de bulunmaktadır. Genel ses seviyeleri, türbin tasarımı ve rüzgâr hızına bağlıdır. İşletme evresinde ortaya çıkan gürültü ve görüntü kirliliği, kamu sağlığını tehdit etmektedir. Sonuç olarak, oluşan gürültü, düşük frekanslı ses ve türbin kanatlarının gölge etkileri nedeniyle oluşan ve **"Rüzgâr Türbini Sendromu"** olarak adlandırılan sağlık sorunları da yaşanabilir. Dolayısıyla, kimi zaman toplumsal tepkiler de ortaya çıkmaktadır.

Rüzgâr tesislerine yakın yerlerde yaşayan bazı kişiler gürültü ve titreşim konularında şikâyetçi olmuştur. Buna göre, rüzgâr türbini geliştiricilerinin, türbinleri yerleştirmek ve etkilenen topluluk üyeleri ile açık diyalog başlatmak suretiyle toplumun kaygılarını ciddiye alması gerekir. Buna ek olarak, kanat yüzeyi pürüzlerinin azaltılması ve aynı zamanda ses emici malzemelerin kullanılması gibi teknolojik gelişmeler rüzgâr türbini gürültüsünün azaltılmasına katkıda bulunabilir.

Görsellik ya da estetik konusunda da rüzgâr türbinleri önemli tepkiler almaktadır. Bazı kişiler için türbinler hoş görünümlerdir; diğerlerine göre ise bunlar doğal peyzajı bozan gözü rahatsız eden yapılardır. Bir toplumun temiz enerji karşılığında gökyüzü manzarasında bir değişikliği kabul edip etmeyeceği konusu, kamuya açık bir alanda tartışmayı hak etmektedir.

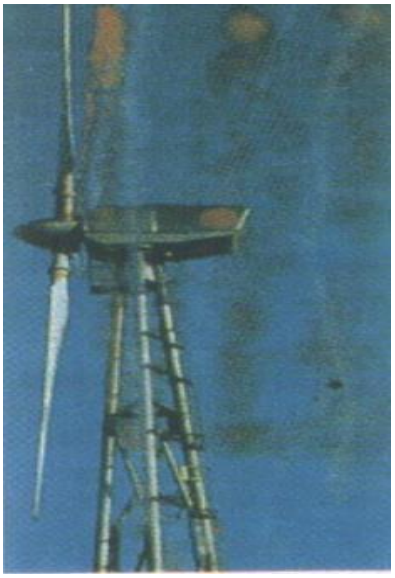
Rüzgâr türbinlerinin inşaat sürecinde, çelik ve çimento kullanılmakta, bu da belli miktarda su kullanılmasını gerektirmektedir. Ancak, büyük boyutlarda su kirliliği ile ilgili önemli sorunlar yaşanmamaktadır.

Yaşam Döngüsü Küresel Isınma Emisyonları

Her ne kadar rüzgâr türbinlerinin kullanılması ile ilişkili herhangi bir küresel ısınma emisyonu bulunmasa da, sahada inşaat ve montaj, malzemelerin üretimi ve taşınması, ekipman çalıştırma ve bakım, işletmede montaj ve demontaj dâhil olmak üzere bir rüzgâr türbininin yaşam döngüsünün diğer aşamaları ile ilişkili emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Emisyonların miktarı, rüzgâr hızı, rüzgârın yönü ve rüzgâr türbininin malzeme bileşimi gibi bir dizi faktöre bağlıdır (NAS, 2010). Rüzgâr türbini yaşam döngüsü içinde emisyonlarının miktarı kW/h başına 0,02 ve 0,04 pound karbon dioksite karşılık gelmektedir. Bunu diğer enerji kaynakları ile karşılaştırmak gerekirse, doğal gaz ile üretilen elektrik için yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonlarının miktarı, kW/saat başına 0,6 ve 2 pound karbon dioksite, kömürden üretilen elektrik için bu oran, kW/saat başına 1,4 ve 3,6 pound karbon dioksite karşılık gelmektedir (IPCC, 2011).

Sonuç olarak RES'ler, küresel ısınmaya ve çevresel kirlenmeye neden olan fosil yakıtların kullanımını azaltarak, dolayısıyla kirletici atıkların daha az oranda salınmasındaki katkısı ve hava-sutoprak kirliliğinin denetimindeki işlevi nedeniyle tüm ekosistemlerin verimli çalışmasına katkıda bulunmaktadır. Bu arada bazı özel durumları vurgulamakta yarar vardır:

Örneğin, rüzgâr türbinlerinin kanatlarının (ya da pervanelerin) arkasında oluşan hava akımının (Şekil 12) kimi durumlarda gürültünün yanı sıra kuş ölümlerine neden olması, 3 km'ye kadar radyo ve televizyon alıcılarını olumsuz etkilemesi, haberleşmede parazitler oluşturması gibi çevresel sorunlar yaratmaktadır.



Şekil 12. Rüzgâr türbininin arkasında oluşan hava akımı (Ültanır, 1996).

Rüzgâr çiftliklerinde **gürültü 60-85 dB (A)** arasında olmaktadır. 60 dB (A)' lık bir gürültü önemli bir sorun olarak kabul edilmemektedir. Ayrıca türbinlerden 400 m uzaklıkta, 37 dB (A)'lık gürültü kabul edilir bir düzey olarak gösterilmektedir. Ne var ki, 400 m uzaklıkta 56 dB (A)'lık gürültü olabildiği de saptanmıştır. Bu gibi durumlarda, gürültü kontrol sistemleri aracılığı ile bir santralin oluşturduğu gürültünün kabul edilebilir bir düzeyde tutulması gerekmektedir.

Toplum sağlığı açısından rüzgâr enerjisi;

-0.2-0.6 PDL [3]/ MW.yıl (**PDL= çevrede yaşayanlar için kayıp gün sayısı**)

-0.4-10 WDL/MW.yıl (**WDL = iş gücü kaybı**) gibi değişkenler ile değerlendirilmektedir. Ayrıca 1000 MW başına yılda zarar verici 3 kaza olabilmekte, ölüm oranı da yılda 0.09-0.6 arasında değişmektedir (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Ayrıca, tesislerin yapılanması sırasında ağaçların kesilmesine bağlı olarak erozyonun artması, oluşan manyetik alanın etkisi ile iletişimde kimi sorunların ortaya çıkması ve bu alandaki canlıların etkilenip gen mutasyonuna uğraması riski olabilir.

RES'lerin inşaat ve sonrasında tahrip edilen doğal çevrenin yeniden düzenlenmesi ya da iyileştirilmesinin (rehabilitasyonu) sürdürülebilir bir çerçevede yapılmasında yarar vardır. Bunun için Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü 2012 yılında bir değerlendirme formatı hazırlamıştır. RES Peyzaj Onarım Planı Formatında projenin ve proje alanının teknik ve doğal özelliklerinin ayrıntılı olarak ortaya konulması için istenen ve öne çıkan hususlar:

- "Faaliyet alanı ve çevresinin doğal ve kültürel özellikleri, arazi kullanımı, ulaşım ve teknik altyapısının ortaya konulması
- Alandaki ekosistem çeşitliliği ve özellikleri; habitat tipleri, hassaslık, nadirlik ve koruma önceliği durumlarının ve planlanan faaliyetten ekosistem ve habitatların etkilenme durumlarının tespit edilerek faaliyet öncesi ve sonrasının ortaya konulması
- Fauna elemanlarının biyolojik ve ekolojik özellikleri dikkate alınarak beslenme, yuvalama ve üreme alanları ve habitat ihtiyaçlarının ve bağımlılık düzeylerinin belirlenmesi
- Alandaki faaliyetlerin faunaya olabilecek etkilerinin değerlendirilmesi ve tedbirlerin ortaya konulması
- Proje alanının ornitolojik açıdan değerlendirilerek; proje alanı ve yakınında kuşlar açısından önemli beslenme, dinlenme, geceleme, kışlama, üreme alanları ve/veya korunan alanlar ve habitat ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bu alanların projeden nasıl etkileneceğinin ortaya konulması, çözüm önerilerinin geliştirilmesi".

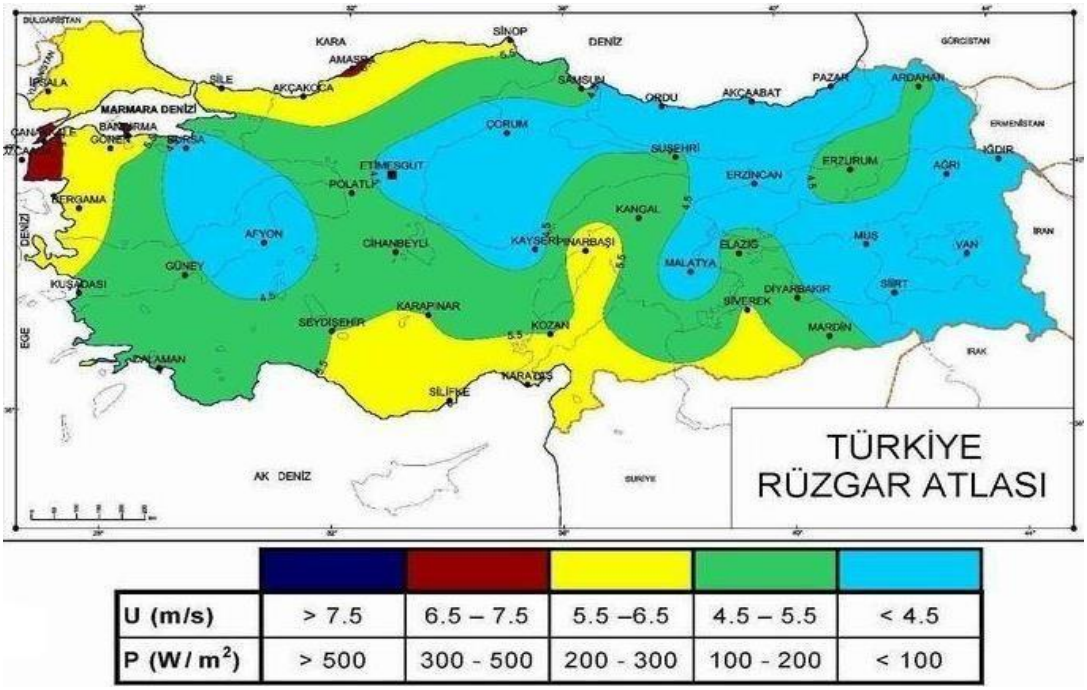
Yukarıdaki sunulan hususlar irdelendiğinde, ilgili formatın, konusunda uzman olan zoolog, ornitolog ve peyzaj mimarı tarafından birlikte ve çok disiplinli bir anlayışla hazırlanması gerektiği açıkça görülmektedir.

ÇED Yönetmeliği (2014)'nde yer alan rüzgâr enerjisi projeleri için Ek-1 listesinde "Türbin sayısı 20 adet ve üzerinde veya kurulu gücü 50 MWm üzerinde olan" ve Ek-2 listesindeki "Türbin sayısı 5 adet ve üzerinde veya kurulu gücü 10 MWm ve üzerinde 50 MWm altında olan" ibareleri kaldırıldı. ÇED Yönetmeliği (2022)'inde ise rüzgâr enerji santralleri EK-2 Listesinde yer almaktadır. Dolayısıyla bu faaliyetler için ÇED Genel Formatı'nın hazırlanması gerekmektedir.

SONUÇLAR

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir bir kaynak olmasına karşın bazı çevresel sorunlar da yarattığı kabul edilmektedir. Ancak teknolojinin ilerlemesi ile birlikte, oluşacak çevre sorunlar kısmen denetlenebilir düzeydedir. Dolayısıyla bu enerji kaynağına yönelik araştırmaların sürdürülmesinde yarar vardır (Yılmaz, 2009).

RES'ler yenilenebilir enerji kaynakları arasında son yıllarda ön plana çıkmaya başlamıştır. Türkiye, rüzgâr enerjisi bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye rüzgâr atlası incelendiğinde Ege, Marmara ve Akdeniz bölgeleri özellikle ön plana çıkmakta, günümüzde yatırımların çoğu da bu bölgelerde yoğunlaşmaktadır (Şekil 13). Şekil 13'de görülen Türkiye Rüzgâr Atlası'nın hazırlanması için, mümkün olduğunca homojen dağılım gösteren 45 adet Meteoroloji İstasyonunun verileri değerlendirilmiştir. Her bir istasyon için yapılan analizler sonucunda elde edilen Rüzgâr İstatistikleri üçer sayfadan oluşmaktadır.



Şekil 13. Türkiye' nin rüzgâr atlası. Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgâr potansiyeli sınıfları (http://www.mgm.gov.tr/).

2007 yılında hazırlanılmış olan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile yıllık rüzgâr hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunduğu belirlenmiştir. 48.000 MW'lık potansiyelin ortalama olarak 10.000 MW'lık kısmı denizlerdedir. 2020 yıl sonu itibarıyla 8.832 MW'lık kurulu güce ulaşan Türkiye rüzgâr enerjisi, 2021 yılında toplam 10.607 MW kurulu güce ulaşmıştır (Sav, 2022).

Mevcut teknolojiyle, rüzgârdan yaklaşık 134 milyar kW-saat elektrik elde edilebilecekken, 2020 yılı üretimi sadece 24,7 milyar kW-saattir. Rüzgâr için %21 oranı ise, sadece karasal potansiyel içindir. Ayrıca, Türkiye'nin toplam açık deniz rüzgâr potansiyeli 50 metreden daha az derinlikte 18.000 MW sabit, 50 – 1,000 metre derinlikte de 57.000 MW olmak üzere toplamda yaklaşık 75.000 MW'tır (Pamir, 2022).

Üç tarafı denizlerle çevrili ve yaklaşık 3.500 km kıyı şeridi olan Türkiye'de özellikle Marmara ve Ege kıyıları düzenli rüzgârlara sahiptir. Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre en elverişli bölgeler; Çanakkale, Akhisar, Bandırma, Bozcaada, Antalya, Sinop, Çorlu, Uzunköprü, Bergama, Çiğli, Datça, Bodrum, Çeşme, Siverek ve Merzifon bölgeleridir (Sav, 2022). Datça'da tarihi yel değirmenlerinin varlığı, bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin tarihi dönemlerdeki bir göstergesidir.

Türkiye'deki rüzgâr enerjisi kaynakları, kuramsal olarak Türkiye'nin elektriğinin tümünü karşılayabilecek yeterliliktedir. Ancak, rüzgâr enerjisinin sisteme düzenli bir biçiminde katkısının sağlanması için yoğun bir çaba gerekmektedir. Geniş bir kıyı şeridine sahip olan ülkemizde, başta Marmara olmak üzere, Ege ve Akdeniz'de, kıyılarda yer alan kayalıklarda deniz üstü rüzgâr santralleri kurulabilir. Rüzgâra açık sahillerde ve sürekli rüzgâr alan yerlerde de rüzgâr çiftlikleri inşa edilebilir.

Ayrıca RES'lerden enerji üretimi dış alıma (ithalata) dayanmadığı için, halen kullanılmakta olan enerji kaynaklarından pahalı da olsa, ülke ekonomisine dolaylı katkı sağlar. Dünya rüzgâr türbin pazarı, 2000 MW/y düzeyine ulaştığında; güç maliyetinin 750 $/KW'ın altına ineceği ve diğer kaynaklarla rekabet gücünün artacağını belirtilmektedir. Ayrıca, bu sektör, yeni iş olanakları da yaratmaktadır.

Son yıllarda Küçük "Hibrit" Güneş ve Rüzgâr Elektrik Sistemlerine yönelik uygulamalar da görülmektedir (Şekil 14). Bu uygulamalarda küçük rüzgâr elektrik sistemleri diğer enerji üreten sistemlerle de birlikte (küçük güneş elektrik sistemleri ve hibrid güç sistemleri) kullanılmaktadır.



Şekil 14. Rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı bir hibrit sistem (http://temiz-enerji.ucoz.com/).

'Hibrit' rüzgâr enerji sistemleri evler, çiftlikler ve iletim hattından uzak bölgelere uygulanabilir. Ayrıca, titreşimle çalışan pervanesiz rüzgâr türbinleri de gelişme aşamasındadır. RES'lerle ilgili yukarıda sunulan ayrıntılı veriler Türkiye özelinde ele alındığında, bu enerjinin gelecekte daha etkin bir konuma geleceği açıktır. Dolayısıyla rüzgâr enerjisi gelecekte teknolojik olarak ve kullanım açısından daha ileri bir düzeye taşınabilir.

KAYNAKLAR

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, S. ve Paslı, N., 2001, Ekoloji I: Başkent Klişe Matbaacılık, Bayındır Sok. No: 30/E, Kızılay, Ankara, 884s.

Çakır, S. ve Çakır, O., 1987, Ülkemizde kullanılan enerji kaynakları ve alternatif enerji kaynaklarının çevre açısından incelenmesi: Çevre, 4, s. 69-80.

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. FSW, 2010, Fish and Wildlife Service (FSW) Recommendations of the wind turbine guidelines advisory committee. Fish and Wildlife Service (FSW), ABD.

IPCC, 2011: IPCC Special Report on Renewable Energy Source and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [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 7 & 9).

http://www.biba.com.tr/

http://www.bilmerinsaat.com/

http://www.eie.gov.tr/ http://www.mgm.gov.tr/

http://www.temiz-enerji.ucoz.com/

http://www.yerliteknoloji.net/

NAS, 2010, Electricity from Renewable Resources: Status, Prospects, and Impediments. National Academy of Sciences (NAS), ABD.

NWCC, 2010, Wind türbine interactions with birds, bats, and theirhabitats: A summary of research results and priority questions. National Wind Coordinating Committee (NWCC), ABD.

Oralalp, F., 1994, Rüzgârın gücü: Bilim ve Teknik, v. 315: s. 71.

Özsayın, S., 2013, Enerji alternatiflerinin çevre ile etkileşimi. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 287- 299.
Pamir, N., 2022. Türkiye ve enerji güvenliği (https://haber.sol.org.tr/haber/turkiye-ve-enerji-guvenligi341857; Erişim, 15.07.2022).
Uyar S., Erkan K., Karakaş E., 1995, Rüzgâr Enerji Sistemi ve Kontrolü, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 85, Ankara, 75 s.
Ültanır, M.Ö., 1996, Yel değirmenlerinden günümüze rüzgâr enerjisi: Bilim ve Teknik, v. 341: s. 56-61.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.
Yüksel, Ü. D. ve Baştanlar, D., 2013, Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinde Peyzaj Onarım Planları. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 555- 567.

4. 8, GÜNEŞ ENERJİSİ

GENEL BİLGİLER

Dünya'nın en görkemli ve temiz enerji kaynağının Güneş enerjisi olduğuna kuşku yoktur. Dolayısıyla yeni ve yenilenebilir ya da tükenmeyen enerji kaynaklarının başında Güneş enerjisi gelir. Aynı grupta yer alan rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi, okyanus sıcaklık-farkı enerjisi ve biyokütle enerjisi, Güneş enerjisinin türevleridir. Hidrolik enerji de Güneş enerjisiyle gerçekleşen su döngüsünden kaynaklanır. Jeolojik devirler boyunca oluşan fosil yakıtlar bile, temelde biyokütlenin dönüşümüyle oluştuklarından, jeolojik olarak depolanmış Güneş enerjisi türevleri sayılırlar. Dolayısıyla, pek çok doğal enerji kaynağının kökeninin, Güneş enerjisi olduğu kabul edilebilir.

Güneş'in bir saat içinde Yer'e gönderdiği enerji, günümüzdeki uygarlığın bir yılda kullanabileceği enerjiden fazladır. Bilim insanları bu enerjinin çok küçük bir bölümünü bile sıvı yakıta dönüştürmüş olsaydı, ulaşım için kullandığımız fosil yakıtlara bir gereksinim olmazdı.

Güneş enerjisinin tarihi:

İlk insanlar Güneşi doğaüstü bir güç olarak gördüklerinden dolayı ona tapmışlardır. Güneş, mitolojilerde yaşam tanrısı adını alır. Eski Mısır tanrısı Ra Güneş'ti. Hititlerin Güneş tanrıçası Arinna, Japonların Güneş tanrıçası Amarasu'dur. Eski Yunanistan'da da Güneş, Tanrı olarak kabul edilmiş, buna Helios-Apollo denilmiştir. Helios-Apollo parlaklık ve ısının simgesiydi. MÖ 714-671 arasında yaşayan Roma imparatoru Numa Pompilus döneminde, konik metalik kaplara odaklanmış Güneş ışınımına ateş tanrıçasının kutsal ateşi diye bakılıyordu. Günümüzde Japonya'da olduğu gibi, çoğu inançlarda Güneş'e kutsal bir yer verilmektedir.

MÖ 212'de Yunanlı fizikçi Archimed, aynalarla odakladığı Güneş ışınları ile 30-40 m uzaklıktan Romalıların gemilerini yakarak, Siraküza savunmasının başarıya ulaşmasını sağladığı söylenir. Bu olay, Güneş enerjisinin geçmişte bilinen en eski teknik uygulamasıdır.

Alman Fizikçi Athanasius Kircher'in (1601-1680), Archimed'in yakıcı aynalar işlemini odun yığınlarını tutuşturarak deneysel biçimde kanıtlaması, Güneş enerjisi için yeni bir başlangıç noktası oldu. 18. yy'ın sonuna kadar kimi aynalar ve mercekler ile metalleri ergitmeye değin uzanan pek çok deney yapılmıştır.

1774'de İngiliz Fizikçi ve Kimyager Joseph Priestley, cıva oksit üzerine odakladığı Güneş ışınımıyla oksijeni ayırt edebilmiştir. Yakıcı ayna ve mercekler dışında bir uygulama olarak, İsviçreli Fizikçi Horace-Benedict Saussure (1740-1799), ısı kutusu denilen ilk Güneş pişiricisini ortaya çıkarmıştı. 1837'de gerçekleştirilen Ümit Burnu gezisinde de İngiliz Gökbilimci John Frederick Herschel Güneş ışınları yardımıyla yemek pişirmiştir. Çelik endüstrisinin ünlü ismi İngiliz mühendis Henry Bessemer (1813-1893) demir ergitebilmek için Güneş fırını yapmıştı.

1870 yılında İsveç-Amerikalı mühendis John Ericson (1803-1899) güneşli sıcak hava motorunun patentini almıştır. 1872'de Kuzey Şili'de 4700 m^2 alan kapsayan güneşli su damıtma tesisi kurulmuştur. Tesisten günde 23 m^3 tatlı su sağlanmıştır. Asıl amacı sudaki nitrat mineralini elde etmek olan bu tesis, nitrat minerali tükeninceye dek 40 yıl kullanılmıştır. 19. yüzyılda buhar üretmek için Güneş enerjisi kullanılıyordu. 1878 yılında Paris'te buharlı matbaa sistemi Güneş enerjisi ile çalıştırılmıştı.

1901 yılında Amerika Güneş-Isıl santrallerinde, buhar üretmek için doğal gazdan yararlanan karma (hibrid) tesisler yapılmıştır. Güneş enerjisinin kesintili yapısından kaynaklanan sakıncalarının giderilmesi için aynı güçte ikiz bir hidroelektrik santrallarından yararlanılabileceği gibi, santrallrın interkonnekte şebeke ile bağlantılı olması sorunu çözmektedir.

Amerika'da Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology-MIT) bünyesinde Güneş enerjisinin çeşitli pratik uygulamalarının yanı sıra, evlerin Güneşle ısıtılması çalışmalarına girişilmiş, önce 1949'da Dover'de ilk **Güneş evi** yapılmıştır. Bunu 1953'de New Mexico'da ve 1955'de Arizona'da yapılan evler izlemiştir. Isıtmadan başka, Güneşli klima sistemlerine de yer verilmektedir.

1953 yılında Sovyetler Birliği, Krzhihanovsky Enstitüsü'nde buhar üretimini amaçlayan rejeneratif damıtma birimleri üzerinde çalışmalar yapılmış, aynı yıllarda Taşkent Helioteknik Laboratuvarı'nda soğurmalı (absorpsiyonlu) Güneşli soğutucular geliştirilmiştir. 1954'de Amerika'da Bell Telefon laboratuvarlarında ilk **fotovoltaik paneller (Güneş pilleri)** yapılmıştır. 1957'ye kadar Amerika'da yüksek sıcaklık elde etmek için 21 Güneş fırını kurulduğu bilinmektedir.

1980'lere girilirken Güneş pilleri ile (fotovoltaik "PV") yapılan Güneş-Elektrik üreteçleri, haberleşme sistemlerine güç kaynağı olmaktan öte, su pompalarının çalıştırılması ve konutların elektrik gereksiniminin karşılanması için kullanılmaya başlanmıştır. 1981 yılında Güneş pilleri ile üretilen elektrik enerjisiyle çalışan ve **Solar Challanger** adı verilen ilk pervaneli Güneş uçağı Manş denizini aşmıştır. Bu tür piller özel otoların çalıştırılması için de kullanılır. Elektrik üretimi amacıyla,1982'de Kaliforniya'da ARCO Solar Şirketi 1 MW'lık **Edison's Lugo PV Santralı**'nı kurmuştur. Kısa zamanda bunu Los Angeles ve San Fransisco yolunun orta noktasında kurulan 6.5 MW'lık **Carissa Plains PV Santralı** izlemiştir. Ayrıca Sacramento'da 2 MW'lık bir başka PV santrali yapılmıştır.

Uzunlamasına parabolik silindirik tip Güneş-Isıl-Elektrik santralı olarak, 1985-l991 yılları arasında 9 birimden oluşan ve toplam gücü 353.8 MWt olan, **Luz Santralı**, bir özel kuruluş olan Luz International tarafından Mojave Çölü'nde kurulmuştur. Yine ısıl yapıda, ama gücü 100 kW'ın altında ve mikro denebilecek parabolik çanak türü birimlerle ısıl santral kurma girişimleri de bulunmakta olup, bir örnek deneme Almanlar tarafından Suudi Arabistan'da 1990'lı yıllarda yapılmıştır.

Son yıllarda Güneş enerjisi konusunda önemli gelişmeler izlenmektedir. Fosil yakıtlı ısıl santrallere yardımcı kaynak olarak Güneş enerjisinin eklenmesi, ele alınan projelerden biridir. Amerika'da 500 ve 800 MW'lık santraller için hazırlanmış projeler bulunmaktadır. Tasarlanan fosilGüneş karma santrallarında suyun ısıtılmasından buharlaştırılmasına dek, Güneş enerjisinden yararlanılabilir.

Güneş enerjisinin geleceği:

Güneş'le bağlantılı olarak merkezi ısıtma ve elektrik üretme sistemleri, yani bileşik Isıl-Enerji üretimi (ya da birlikte üretim -**kojenerasyon)** uygulamaları üzerinde çalışılmaktadır. Konutların ısı ve elektrik gereksinimini karşılamayı amaç edinen bu projelerde uzunlamasına silindirik odaklı toplayıcılar, yüksek ya da düşük sıcaklıklı su depoları, turbo jeneratör, ısı dağıtım ve elektrik dağıtım sistemleri kullanılmaktadır. Sistemlerdeki toplayıcılar, Güneş-ısıl-elektrik santrallarında olduğu gibi bir toplayıcı tarlası biçiminde tasarlanmaktadır.

Dünya enerji bunalımları, Güneş enerjisinin teknolojik gelişimini ve geleceğini büyük ölçüde etkilemiş ve pek çok ülkede yaygınlaşmaya başlayan su ısıtıcılarının ve çok kullanılan kurutucuların dışında, özellikle üç uygulamaya ağırlık kazandırmıştır:

1- Yapıların etkin ve edilgen biçimde Güneşle ısıtılması ve serinletilmesi,
2- Güneş-pili (fotovoltaik) ya da ısıl olarak Güneşten elektrik üretilmesi,
3- Geleceğin yakıtı olarak düşünülen hidrojenin gazının sudan üretilmesinde Güneş enerjisinin kullanılması (Güneş-hidrojen sistemi).

Gelecekte, Güneş Enerjisi Sistemleri, günümüzle kıyaslanmayacak ölçüde gelişecektir (Ültanır, 1966). Bu sistemlerin küçük bir alanda da kurulabilir olması önemli bir avantajdır. Örneğin HES'ler için bu alan 1 km^2/MW düzeyinde, hatta kimi zaman bunun üzerine çıkmaktadır. Oysa, **Luz** Güneş-Isıl santralının özgül alanı 0.021 km^2/MW iken, **Solar One** Güneş-Isıl-Elektrik santralında 0.007 km^2/MW' dir. Kurulan Güneş pilli santraller için bu değer 0.013 ile 0.009 km^2/MW arasında değişmektedir.

Gelecek için yeryüzü Güneş santrallerinden başka, uzaya yerleştirilecek toplayıcı (kolektör) uyduları ve Dünya ile bağlantılı Güneş santrallerinin kurulması amaçlanmaktadır. Dünya'dan 36 000 km uzaklıkta ve 10 000 MW güçlü bir uzay santralinden üretilecek elektrik enerjisi, santralin 1 km çaplı anteninden mikrodalgalarla Dünya'ya iletilecek, Dünya'daki 7 km çaplı bir anten bu enerjiyi % 55-75 verimle alıp, doğru akım ile aktarabilecektir.

Bu proje Amerikan Apollo uzay programında yer almıştır. Karşılığı şimdilik 11 TW kadardır. Güneşten gelen güç, bu sistemin 16 000 katından fazladır. Dünya'nın kurulu elektrik santrallerinin toplam gücü 2.9 TW olup, Güneşten gelen gücün 61 000 de birinden azdır. Tartışılan nükleer santrallerin Dünya'daki kurulu güçlerinin toplamı 0.4 TW'a yakındır. Güneşten gelen güç, bu nükleer gücün 527 000 katıdır.

Öte yandan, atmosferdeki (karbon-dioksitin neden olduğu) sera etkisi, son yüzyıl içinde Dünya ortalama sıcaklığını 0.7 K yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1 K yükselmesi dünya iklim kuşaklarında görünür kaymalara, 3 K düzeyine varacak artışlar kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir. Enerji, vazgeçilemez girdi olduğuna göre, alışılmış kaynaklar yerine Güneş gibi doğal enerji kaynaklarını kullanılması yeğlenmelidir.

Giderek artan genel enerji tüketimi % 85-90 oranlarında yenilenemeyen fosil yakıtlara dayalıdır. Fosil yakıtların rezervleri sınırlıdır. Yaklaşık yüz yıldır kullanılan petrolün üretimi 1995-2005 yılları arasında tepe değerinden geçtikten sonra azalacak, doğal gazın üretimi 2000 yılından sonra bir süre aynı kalacak ve sonra azalacaktır. Kömür için yaklaşık 200 yıllık bir üretim süresi hesaplanmaktadır.

Fosil yakıtların endüstriyel hammadde olduklarını unutmamak ve bu kaynakları sorumluca kullanarak gelecek kuşaklara da bırakmak gerekir. Özellikle, 45^o kuzey ve güney enlemleri arasında kalan ve Güneş kuşağı denilen bu kuşakta, Güneş enerjisi kullanımının geliştirilmesi, 21. yüzyılın temel gelişmelerinden biri olacaktır. Fosil yakıtların sınırlı rezervleri ve bunların neden olduğu çevre sorunlarının varlığı bu gelişmeyi daha da hızlandıracaktır. 21. yüzyılda çevrenin de korunmasını öngören yeni bir teknik-ekonomik dalga içindeyiz. Yeni dalganın oluşumunda Güneş enerjisi ve onun türevleri yer almaktadır. Bu dalganın Dünya enerji bütçesini ne kadar değiştireceği 21. yüzyılda görülecektir.

ÖZELLİKLERİ

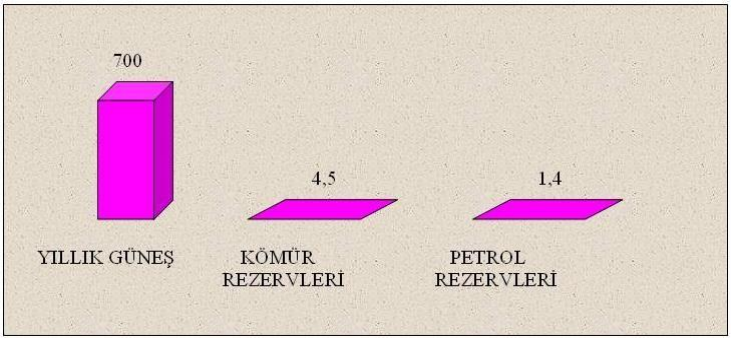
Güneşin enerjisi, uzaya **elektromanyetik dalgalar** halinde yayılır. Güneşten gelen ışınımların spektrumu üç ana bölgeden oluşur (Şekil 1). Dalga boyu 0.4 □m (mikro-metre) den küçük olan mor ötesi kesimin Güneş ışınımındaki payı % 9 dur. Dalga boyu 0.4 □m ile 0.7 □m arasındaki bölge görünür ışıktır. Görünür ışık, Güneş ışınımı içinde % 45'lik bir yer kapsar. Dalga boyu 0.7 □m den büyük olan kızıl ötesi bölgenin payı ise % 46 dır. Dalga boyu açısından bakıldığında Güneş, 6000 K (Kelvin) sıcaklıkta ışınım yayan bir kara-cisim gibidir.



Şekil 1. Güneş ışınımlarının dalga boyuna göre dağılımı (Becker, 1988; Yılmaz, 2009'dan kısmen değiştirilerek).

Güneşten gelen radyasyon miktarı güneş değişmezi (sabiti) (S) olarak adlandırılan yoğunluğa bağlı olarak hesaplanır. Radyasyonun etki alanı ise dünyanın çapı R olmak üzere πR^2 ile hesaplanan dünyanın gölge alanı olarak ölçülür. Geriye yansıyan enerjiye **albedo** denir. Bu da yaklaşık % 31 olarak tahmin edilir. Güneşten gelen ışık enerjisi yüksek frekanslı ve kısa dalga boylu, dünya tarafından uzaya yansıtılan ısı enerjisi de düşük frekans ve uzun dalga boyludur. Atmosferi oluşturan gazlardan her biri spesifik dalga boyunda ısı enerjisini tutar. Bilinen sera gazlarının derişimlerinin atmosferde artışı yer yüzeyine ulaşan kısa dalga boyuna sahip ışınların kırılıp uzun dalga boyuna sahip ışınlara dönüşmesine yol açar. Bu nedenle yer yüzeyinde yoğunlaşan ışınların geri dönüşü engellediği için önce ısı enerjisine ve dolayısıyla küresel ısınmaya neden olur.

Dünya'nın tüm yüzeyine bir yıl boyunca düşen Güneş enerjisi 1.22 x 1014 TET (ton eşdeğer taşkömürü) ya da 0.709 x 1014 TEP (ton eşdeğer petrol) kadardır. Bu değer, Dünyanın bilinen kömür rezervinin 157 katı, bilinen petrol rezervinin 516 katıdır. Dünya'ya gelen yıllık Güneş enerjisinin bilinen fosil yakıt rezervleriyle karşılaştırılması Şekil 2'de görülmektedir. Burada sunulan rakamlar, X100 milyar TEP olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2. Dünya'ya gelen yıllık Güneş enerjisinin bilinen fosil yakıt rezervleriyle karşılaştırılması (rakamlar 100 milyar TEP).

Öte yandan Dünya'nın havakürenin (atmosferin) üzerine ulaşan radyasyon (**Güneş ışınımı akısı)**, bir başka deyişle Güneş değişmezi (sabiti) 1.353 W/m^2'dir. Yeryüzüne ulaşan en fazla (maksimum) Güneş ışınım akısı ise 0.3-2.5 □m dalga boyları arasında 1 kW/ m^2 kadardır. Dünya'nın yaşanabilir alanlarına gelen Güneş enerjisi yere, zamana ve iklime bağlı olarak 3- 30 MJ/m^2/gün arasında değişir.

Güneş enerjisi, Güneş toplayıcılarıyla (kollektörleriyle) toplanır. Yaklaşık bir ev çatısına eşit 100 m^2 alanlı toplayıcı, yaklaşık 70 kW'lık güç kaynağı demektir ki, bu toplayıcıdan bir günde sağlanabilir yararlı

enerji, % 40 verimle 180 KW-h ya da 55 l petrol eşdeğeri ya da bir adam kütlesindeki taşkömürü eşdeğeridir.

Güneş enerjisinin üstünlüğü ısıya ve ışığa dayalı bir yapıda olması, taşıma, iletim ve dağıtım sorunlarının ise olmamasıdır. Kimi zaman Güneş enerjisi karşılıksız bir kaynak olarak tanıtılmasına karşın, öyle değildir. Çünkü denetimli kullanım amacıyla toplanması için değişik sistemler gerekmekte, bu sistemlerin bir maliyeti bulunmaktadır.

KÖKENİ VE OLUŞUMU

Güneşin kütlesini, hidrojen ve helyum gazları oluşturur. Merkezde sıcaklık ve basıncın yüksek olması nedeniyle, hidrojen atomlarının çekirdeklerindeki protonlar birleşerek helyum atomlarını meydana getirir. Bu oluşum sırasında açığa çıkan ısı ve ışık enerjisi, güneş enerjisidir.

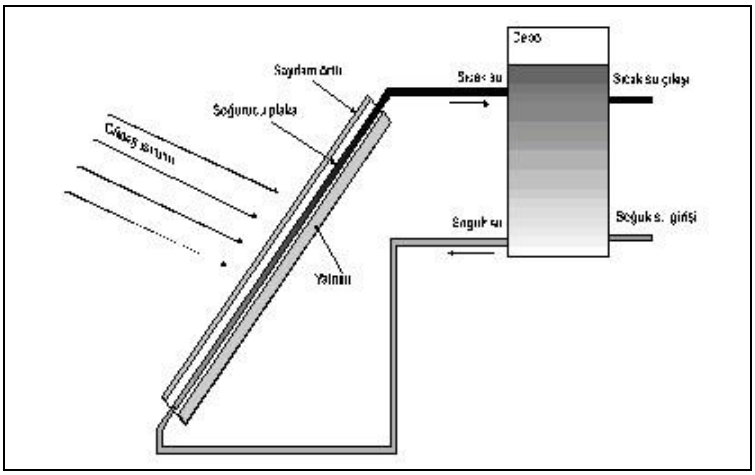
Yarıçapı, Dünya yarıçapının 109 katı ve kütlesi Dünya kütlesinin 330 000 katı olan, çok yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa sahip, çoğunluğu hidrojenden oluşan gaz karışımı bir küre biçiminde olan Güneş, Dünya'dan 150 milyon kilometre uzaklıkta bulunmaktadır. Enerji üretim tekniği açısından bir hidrojen-kaynaşma reaktörü olan bu gök cisminde, her bir saniyede 564 milyon ton hidrojen kaynaşarak 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı 3.86×10^{26} J yani 386 000 000 **EJ (ekstra-joule)** enerji açığa çıkmaktadır **(1 EJ=22.7 MTEP milyon ton eşdeğer petrol).** Açığa çıkan enerji uzaya ve yeryüzüne elektromanyetik dalgalar halinde yayılır.

Toplam enerji rezervi 1.785×10^{47} J olan bu yıldız daha milyarlarca yıl bu şekilde ışımasını sürdüreceğinden, Dünya için sürekli bir kaynaktır. Güneşten bir saniyede salınan enerji, yani güç, 3.86×10^{20} **MW** karşılığıdır. Dünyanın kesit alanı üzerine ulaşan Güneş gücü, 178 trilyon kW ya da 178 000 **TW** düzeyindedir.

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Güneş enerjisinin üretimi ve teknolojileri ayrıntılı olarak irdelenmiştir (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar). Güneş enerjisinden yararlanmak için önce güneşlenme süresinin yeterli olduğu alanların seçilmesi gerekmektedir. Yani yer seçiminden başlamak gerekir. Daha sonra sıra ile yerin planlanması ve hazırlık, inşaat, işletme ve işletme sonrası evreler gözetilerek üretim yöntemleri ve teknoloji seçilmelidir. Küçük ölçekli yapılar için işletme ve işletme sonrası evrelerin gözetilmesi yetebilir. Ancak büyük ölçekli yapılar, örneğin kurulu gücü 10 MWe ve üzeri güneş enerjisi santralleri ÇED sürecine tabidir. Yani bu büyük tesisler, çevresel etkileri mutlaka denetlenebilir şekilde tasarlanmalıdır.

Güneş enerjisinin üretiminde, özellikle işletme evresine dair teknolojileri tanıtmakta yarar vardır. Örneğin, akışkan kanallı soğurucu Şekil 3'de; bir Güneş panelinin şematik yapısı Şekil 4'de görülmektedir. Geniş ve düz yüzeyli teknolojilerin kullanıldığı küçük tesisler için küçük bir alan yeterlidir.

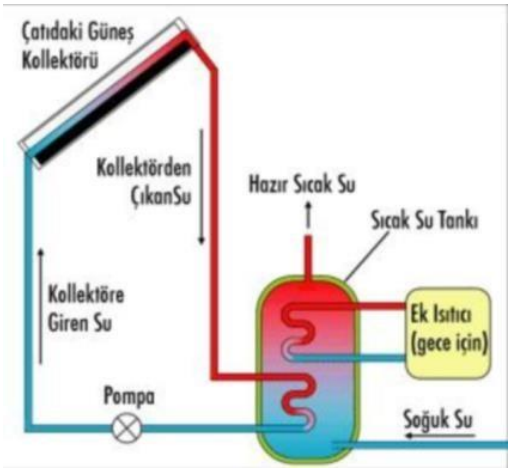


Şekil 3. Akışkan kanallı soğurucu (Becker, 1988; Yılmaz, 2009'dan).

Geniş yüzeyli toplayıcılar (Güneş havuzları) 100 ^{o}C altındaki sıcaklıklarda büyük oranda ısı toplanmasında kullanılır. Bir su havuzu biçiminde olan bu yapılarda birbirleri ile karışmayan üç katman yer alır.

Düz yüzeyli Güneş toplayıcılarında, Güneş ışınımı soğurucu plaka tarafından tutularak su ya da hava gibi bir akışkana ısı olarak aktarılır. Isıtılacak akışkanın türüne göre soğurucu plakada boru ya da özel kanallar bulunur. Isıl geçirgenliği ve özgül ısısı yüksek olması gereken soğurucular, plakalı ısıdeğiştiricileri (eşanjörleri) gibidir. Güneş ışınım yüzeylerinin, yüksek düzeyde soğurulabilmesi için bu yüzeyler mat siyaha boyanır ya da özel bir işlemden geçirilerek seçimli bir katman ile kaplanır. Soğurucunun ön yüzünde tek ya da çift saydam örtü, arka tarafında sırt ısı yalıtımı bulunur. Burada tanıtılan alışılagelmiş yapılı düz yüzeyli toplayıcıların verimleri, çalışma sıcaklık farkına bağlıdır.

Geliştirilmiş düz yüzeyli toplayıcılar ise, ısı borusu kullanılarak oluşturulmaktadır. Isı borusu, yapıldığı malzemenin ısıl geçirgenliğine ve sıcaklık farkına bağlı olmaksızın yüksek ısı kapasiteli ve ısıyı tek yönde geçiren bir yapıdır. Plaka, sırt ısı yalıtımı, üst saydam (cam ya da plastik) örtü ve dış kasadan oluşmaktadır.



Şekil, 4. Güneş panelinin şematik yapısı (http://www.nukte.org/).

Güneş enerjisi teknolojileri

Güneş ışınlarından yararlanmak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için, öncelikle toplanması ve depolanması gerekir. Bu işlemler, ısıl (güneş ısıl toplayıcılarla-kolektörlerle) ve elektriksel (fotovoltaiklerle) olmak üzere iki değişik yolla ya da dolaylı biçimlerde yapılmaktadır.

Basit ve ucuz olması nedeniyle bazen ısıl toplama yöntemi yeğlenir. Isı güneş kolektörlerinin, düz yüzeyli, yoğunlaştırmasız- odaklayıcı ve yoğunlaştırmalı güneş havuzları olmak üzere üç tipi vardır. Güneş enerjisini elektriksel olarak toplayan fotovoltaikler (PV'ler) ise, ışık enerjisinin fotonlarını fotoelektriksel olarak elektrik enerjisine dönüştürmektedirler (https://www.researchgate.net/). Fotovoltaik (PV) hücreler, yarı iletken maddeler olup, güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürürler. Yarı iletken bir diyot olarak çalışan PV hücre, güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik dönüştürür.

Öte yandan teknolojilerin bir bölümünde, Güneş enerjisi ışık ya da ısı enerjisi şeklinde doğrudan kullanılırken, diğer teknolojilerde Güneş enerjisinden elektrik elde edilerek kullanılmaktadır. Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde, suyu ısıtmak için Güneş ışınlarından yararlanır. Bu sistemler evsel sıcak su ya da bir alanı ısıtmak için kullanılabildiği gibi çoğunlukla bir havuzu ısıtmak için kullanılır. Söz konusu sistemlerin yapısı çoğunlukla bir termal Güneş Paneli ile bir de depodan oluşur. Güneş enerjili su ısıtıcıları üç grupta toplanır (https://tr.wikipedia.org/).

- Etkin sistemler, suyun ya da ısı transfer sıvısının çevirimi için pompa kullanırlar.
- Edilgen (Pasif) sistemler suyun ya da ısı transfer sıvısının devrini doğal çevirim ile sağlarlar.
- Kütle sistemleri su tankının doğrudan Güneş ışığı ile ısınmasını amaçlarlar.

Isıtma ya da klima teknolojisinde Güneş enerjisinden yararlanılarak oluşturulan Güneş evleri etkin ve edilgen sisteme dayalı biçimde yapılmaktadırlar.

Etkin sistemde düz yüzeyli toplayıcı ile toplanan ısı enerjisi bir sıvı akışkan tarafından pompalı dolanımla alınmakta, ısı-değiştiricisiyle sıcak su kazanına ve istenirse bir soğurmalı klima düzeneğinin ısıl jeneratörüne aktarılmaktadır. Sistemde pompalar, fanlar, kontrol vanaları, termostat ve diğer otomasyon aygıtları ile ısı deposu yer almaktadır. Etkin sistemli Güneş evlerinin Güneşli ısı pompası kullanılan türleri de vardır.

Edilgen sistemin yapısı çok yalın olup, binanın güney duvarı bir beton-taş toplayıcı biçiminde yapılarak toplanan ısı enerjisi doğal hava dolanımı ile yapı içerisine yollanır. Bu duvar aynı zamanda ısı deposu olmaktadır. Güneydeki duvarın toplayıcı olarak yapılması yerine, duvar üzerine hava ısıtıcı toplayıcı yerleştiren düzenlemeler de bulunmaktadır. Edilgen sistemlerde toplayıcıda ısınan hava, yapıiçinde doğal dolanımla dolaştırılacağı gibi, dolaşım için basit fan da kullanılabilir. Edilgen sistemle serinletme için çatı tipi buharlaştırma havuzlarından yararlanılır. Güneş evlerinin çatılarına Güneş pili panelleri de yerleştirilmektedir.

Günümüzde ileri teknolojilerin kullanıldığı yeni nesil güneş enerjisi tesislerinin (Şekil 5) ve enerji kulelerinin (Şekil 6) yapımı devam etmekte ve verimliliği yüksek, akıllı iletişimin sağlanabildiği güvenilir sistemler öne çıkmaktadır. Gece de gündüz de çalışan Güneş enerjisi santrallerinin inşası için yoğun bir çaba vardır.



Şekil 5. Yeni nesil bir güneş enerjisi tesisi (http://www.enerjinetwork.com/).



Şekil, 6. 'Solar İki' Güneş enerjisi kulesi (https://commons.wikimedia.org/).

İspanya'nın Sevilla ile Cordoba kentleri arasında kalan Andalusi'nin ovalarında kurulu Gemasolar güneş enerjisi santralı, gece ve gündüz (7/24) elektrik üretme özelliğine sahiptir (http://www.alternatifenerji.com/).

Ayrıca, Isıl Güneş enerjisi sistemleri, yaygın olarak, bir ısı eşanjörünü yüksek sıcaklıklara kadar ısıtarak, elde edilen ısının elektrik enerjisine dönüştürülmesi şeklinde kullanılırlar. Enerji kuleleri de bir ağ şeklinde yerleştirilmiş, çok sayıda düz ve hareketli yapıda olabilirler (Şekil 6).

Öte yandan bir yoğunlaştırmalı kollektörde ısıya dönüştürülen Güneş enerjisi, nükleer ya da kömürlü elektrik santrallerinde olduğu gibi, suyun kaynatılarak buhara dönüştürülmesi ve elde edilen buharla da bir buhar motoru ya da bir buhar türbininin çalıştırılması ile elektrik enerjisi elde edilir.

Stirling motoru buharla çalışan motorlara örnektir. Bu tür motorlarda buhar yerine gaz kullanılır. Bir stirling motoru herhangi bir tür ısı kaynağı ile çalıştırılabilir. Stirling motoru, içinde belirli bir gaz

bulunan ve kapalı devre çalışan bir ısı motorudur. Stirling motorunun çalışma sistemi sıcak ve soğukluk farkına dayanır.

Kapalı devre bir sisteme sahip motorun içine dışarıdan bir yakıt verilmez. Stirling motorunun çalışması için gerekli enerji dışardan ısı şeklinde verilir. Güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde stirling motorunun kullanımı, %30'luk bir verim ile en yüksek verime sahip bir sistem olarak kabul edilir (https://tr.wikipedia.org/).

Güneş'ten aktif yararlanmayı sağlayan "Güneş Pili Teknolojisi"nin değişik ölçeklerdeki yapılarda uygulanma alanları irdelenmelidir. Özellikle kullanım sürecinde bu alanların enerji kazanımları incelenmeli, "Güneş Pilleri" ve "PV Güç Sistemleri" konularında gelişen teknolojiler izlenmelidir.

Güneş enerjisinin toplanması ve depolanması işlemlerinin yapıldığı Güneş-Isıl toplayıcı santralleri ve Güneş-Elektrik santralleri [yani elektriksel (fotovoltaikler)] üzerinde durmakta ve bu santrallerin özelliklerini, genel işleyişlerini tanıtmakta yarar vardır.

Güneş-Isıl toplayıcı santralleri

Isıl özelliğinden yararlanarak Güneş ışınımını toplamada kullanılan Güneş-Isıl toplayıcılarının üç türü vardır. Bunlar düz yüzeyli Güneş toplayıcıları, odaklayıcı ve yoğunlaştırmalı Güneş toplayıcıları ve Güneş havuzlarıdır. Güneş enerjisini elektrik enerjisi biçiminde toplayan Güneş pilleri ise, ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedirler.

Güneş-ısıl dönüşümünde en yaygın biçimde, düz yüzeyli Güneş toplayıcıları kullanılır. Bunlar doğrudan gelen Güneş ışınımının yanında, kırılma, saçılma ve yansımalarla dağılmış, Güneş ışınımını da değerlendirirler. Düz yüzeyli toplayıcılar 100 ^{o}C'yi aşmayan uygulamalarda kullanılır. Bu tür toplayıcılar, Güneşi izlemesi gerekmeyen, güneye yönelik ve Güneş ışınımı üzerine olabildiğince dik çarpacak biçimde uygun eğimde yerleştirilen toplayıcılardır.

İnsanlığın yıllık ticari enerji gereksinimi yönüyle Güneş enerjisi uygulamalarına ilişkin bilimsel çalışmalar arasında elektriksel Güneş pillerinin geliştirilmesi de önemli bir yer almaktadır. Güneş enerjisinin daha verimli dönüşümüne yönelik yöntemler, tasarımlar ve malzeme geliştirme çalışmaları sürmektedir. Günümüzdeki Güneş enerjisi teknolojisi, yeni bir teknoloji olup gelişme evresini hızla sürdürerek olgunluk çağına doğru ilerlemektedir.

Güneş-Isıl toplayıcı santrallerinin yansıtıcı düz ayna tarlalı ve merkezi güç kuleli, uzunlamasına silindirik odaklı toplayıcı türleri de vardır. Toplanan ısı enerjisi ile sıvı akışkan buharlaştırılmakta, klasik ısıl santrallerinkine benzer biçimde buhar türbini ve jeneratörden elektrik üretilmektedir. Bu buhar, su buharı olabildiği gibi, toplayıcı devresinde yağ kullanan ve ısıyı düşük sıcaklıkta buharlaştıran özel bir akışkana ısı-değiştiricisi ile aktaran, türbinler de vardır. Sistemde bir ısı deposu yer almaktadır.

Güneş-Elektrik santralleri

Bunlar da Güneş pilleri ve Isıl-elektrik sistemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Güneş pilli sistemlerin uygulamalarının sınırlı ve küçük düzeylerde olmasının nedeni, Dünya Bankası araştırmalarına göre ısıl sistemli olanlardan 3.7-5.2 kat daha pahalı olmalarıdır.

Güneş santralleri, barajlı hidroelektrik santrallerden daha az yer işgal etmektedirler. Gerek Güneş pilli ve gerekse ısıl sistemli Güneş santrallerinin inşa edildikleri alan küçüktür. 1950'lerde büyük Isıl-Güneş tesisleri, 1970'lerin sonlarında ise Güneş-Isıl-Elektrik santralleri kurulmaya başlamıştır.

Ayrıca, Amerika Kaliforniya Mojave Çölü'nde 10 MW'lık **Solar One** adlı ve merkezi kule tipi, ilk Güneş Isı-Elektrik santralidir. Yine merkezi kule tipinde ve aynı yıllarda olmak üzere, Güney Fransa'da 2.5 MW'lık **Themis Santralı**, Sovyetler Birliği Azak Denizi'nde 5 MW'lık **SES-5 Santralı**, İspanya

Almeria'da 1.2 MW'lık **CESA-1 Santralı**, Italya Adrano'da 1 MW'lık **EURELIOS Santralı** ve Japonya Nio'da 1 MW'lık **Güneş Işığı Santralı** kurulmuştur.

Güneş enerjisinin en çok bilinen bir başka uygulaması **Güneşli su ısıtıcılar** (ya da Güneş şofbenleri) olarak adlandırılan sistemlerdir. Bunlar klasik düz yüzeyli, pompalı dolaşımlı ya da termosifon sistemli, ısı-değiştiricili (eşanjörlü) ya da ısı-değiştirici olmayan depolu sistemlerdir. Güneş imbikleri de denilen, deniz suyundan ya da acı sulardan tatlı su ve mineral tuz üreten düzenekler yine düz yüzeyli toplayıcı sistemin uygulamalarıdır.

Kaynatıcı ve yemek pişirici amaçla oluşturulan Güneşli ısıtıcılar ise genelde odaklı toplayıcı bir sistem olup, Güneş ışınlarının yoğunlaştırılmasıyla üretilen yüksek sıcaklığa sahip ısıyı kullanırlar. Bu toplayıcılar çoğu kez çanak biçimindedir. Ancak, bunların düz yansıtıcılı plakalarla donatılmış kutu biçiminde türleri de vardır.

Havuzun tabanında çok tuzlu, orta kesiminde tuzlu ve üstünde tatlı su bulunur. Havuz tabanı ısı soğuracak yapıdadır. Bu ısı bir ısı-değiştiricisi ile dışarı çekilerek kullanılır. 150 kW güçlü ve 0.74 ha alanlı bir Güneş havuzu Israil Ein Borek'de ısıl-elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Bu tür Güneş havuzlarının dışında, bir de sığ Güneş havuzları vardır. Bunlar, birkaç cm kalınlıkta su dolu plastik döşek olarak ve 50- 200 m^2'lik modüller biçiminde kurulmaktadırlar.

Güneş enerjisini depolama yöntemleri

Güneş enerjisinin depolanması, bir dönüşüm ya da döngüyle elde edilen enerjinin depolanması biçimindedir. Depolama işlemleri ısıl, mekanik, kimyasal, elektriksel yöntemlerle yapılır. Isıl depolamada özgül ısı sığası yüksek ve kolay bulunan ucuz gereçler kullanılır. Su, yağ, çakıltaşı gereçleri bunlar arasındadır. Isıl depolama için gizli ısı kapasiteli, parafin gibi faz değişim malzemelerinden de yararlanılır.

Mekanik depolamada Güneşle çalıştırılan bir pompa ya da kompresör ile basılan yüksek basınçlı akışkan, uygun bir ortamda toplanır. Kimyasal depolamada hidrat tuzlardan yararlanılır. Elektriksel depolama bataryalarla yapılır. Bu amaçla kurşun-asitli akümülatörler, nikel-kadmiyum tipi kuru bataryalar ve sodyum-sülfür bataryaları kullanılır.

KULLANIM ALANLARI

Güneş enerjisi, günümüzde daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanım, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir. Soğutma ise yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde verimli olmaktadır.

Bu enerjinin kullanımının temel amacı, ekonomik rekabet koşullarında olabildiğince fosil yakıtların yerini almasıdır. Önemli kullanım alanları aşağıda sunulmuştur (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

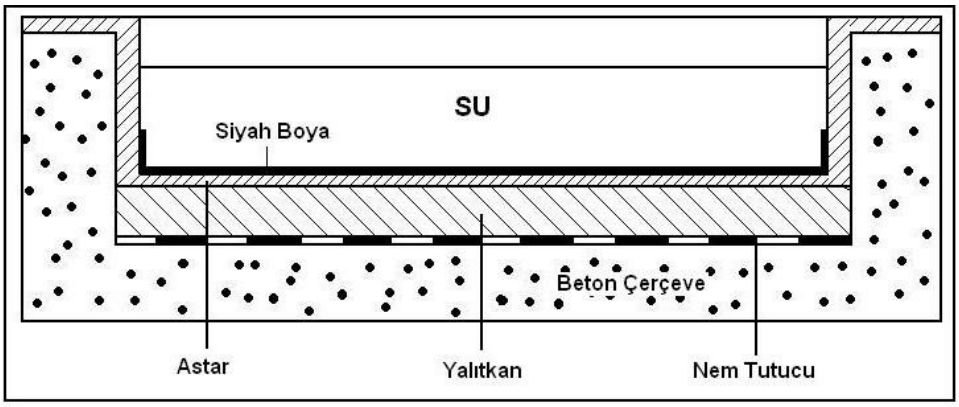
- Konutlarda ve işyerlerinde, gündelik yaşamın çeşitli birimlerinde ısı ve elektriğe dayalı enerji gereksiniminin karşılanması,
- Endüstriyel enerji gereksiniminin karşılanması,
- Kırsal yörelerde ve tarımda kullanılan enerji gereksiniminin karşılanması
- Kara, deniz ve hava taşıtlarının bir bölümünde aktarıcı kaynak olarak kullanılması.
- İletişim araçlarında (radyo, TV, telefon), sinyalizasyon ve otomasyonda kullanılan enerji gereksiniminin karşılanması.
- Askeri alanda özel amaçlarla kullanılması,
- Uzay çalışmalarında enerji gereksiniminin karşılanması,

Her uygulamanın özelliğine göre kullanılan teknolojiler farklılık göstermektedir. Bazı uygulamalarda enerji depolamaya gerek duyulurken, bazı uygulamalarda kesintili ya da alternatif üretim uygulamaları da öngörülerek, depolamaya gereksinim duyulmamaktadır. Ayrıca, güneş enerjisini elektrik enerjisine

dönüştürerek kullanmak mümkündür (Çıtıroğlu, 2000). Aşağıda bazı uygulamalardan örnekler sunulmuştur.

Güneş havuzu

Isı kayıplarını önleyen, çok kalın bir şekilde yalıtımı yapılan Güneş havuzu (Şekil 7) ışınları doğrudan toplayıp suyu ısıtır. Havuzun dibi, siyaha boyanmıştır. Siyah renk tüm güneş ışınlarını yutar ve böylece sudan geçen ışınlar siyah yüzeyi ısıtır. Isınan yüzey de suyu ısıtmaktadır. Isı kayıplarını önlemek için, havuzun üstüne, saydam örtülerin konulması gerekir. Suyun derinliği en az 2- 3 metre olmalıdır.



Şekil 7. Güneş havuzu (MTA, 1981).

Su damıtıcısı ve seralarda kullanım

Deniz suyunu damıtmak için de güneş toplayıcılar kullanılır. Alt tarafta bulunan siyah saç üzerinden akıtılan tuzlu su buharlaşır. Buharlaşan su, üstte bulunan vakumda yoğunlaşıp, ayrı bir kanaldan dışarı alınır. Ayrıca seraların ısıtılması (Şekil 8), besin maddelerinin kurutulması ve yemek pişirilmesi amacıyla taşınır güneş fırınları yapılmıştır.

Fotovoltaik paneller

Güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi elde etmek için, Güneş pilleri (Foto voltaik paneller) üretilmiştir (Atlaş, 1999). Foto voltaik panel (Şekil 9) uygulamaları, pulverize işlerde hem işçiyi Güneş'ten korumakta hem de pille motoru çalıştırmaktadır. Güneşle çalışan saatler da vardır. Ancak maliyetlerinin yüksekliği, toplayıcıların kullanma alanlarını sınırlamaktadır.

Fotovoltaik güç üretiminin 2100 yılında dünya güç üretimine katkısı % 50 olacaktır. Bunun için kurulması gereken panellerin alanı 0.6 milyon km^2 olarak hesaplanmıştır. Yüzeye gelen güneş ışınımının emilmesinin/soğurulmasının en yüksek düzeyde olması için panellerde kullanılan camların yüzeylerinde yansıtmasız kaplamalar kullanılmaktadır. Bu sayede verimlilik artırılabilir.



Şekil 8. Güneş enerjisinden yararlanan bir sera (MTA, 1981)



Şekil, 9. Fotovoltaik Sistem Çalışmaları (http://www.eie.gov.tr/).

1.6 kWp gücünde tek kristalli fotovoltaik sistem işletilerek yapısal özelliklerini incelemek verimi ve enerji üretimini etkileyen başlıca parametreler araştırılmış ve bu konuda bilgi birikimi sağlanmıştır.

Suyu katalizör yardımı ile hidrojen ve oksijene ayırmak hala çok zordur. Bu konudaki araştırmalar maliyet-kâr hesabı gözetilerek sürdürülmektedir. Şu ana kadar kobalt ve diğer metal tabanlı katalizörler yardımı ile yürütülen çabalardan yeterince umut verici sonuçlar elde edilemedi. Sonuç olarak ucuz bir

katalizör geliştirilemedi. Bu konuda öncelikle doğada fotosentezi sağlayan katalizörün nasıl çalıştığı bilinmelidir. Daha sonra da doğal fotosentezi yapay yolla gerçekleştirmek üzere çaba harcanmalıdır.

Fotovoltaik Su Pompaj Sistemleri

Küçük ölçekli tarım alanlarını sulamada kullanılabilecek olan su pompalama sisteminde (Şekil, 10); 616 Wp gücünde güneş pili, invertör ve dalgıç pompa bulunur. Atatürk Orman Çiftliğinde kurularak 2 yıl işletilmiş olan bu sistem bir kuyudan 7 m derinliğe daldırılan dalgıç pompa yardımıyla yılda yaklaşık 11000 m^3 su pompalamıştır. Bu sistem şebekeden uzak yerlerde dizel motor pompalarıyla ekonomik olarak rekabet edebilmektedir.



Şekil 10. Fotovoltaik Su Pompaj Sistemi (http://www.eie.gov.tr/).

Fotovoltaik Su Pompaj Sistemi, Güneş pili panellerinden elde edilen elektrik enerjisiyle, Güneşli sıcak hava motorlarıyla (Stirling motorları), ya da özel buharlı güç döngüsüne dayalı bazı makinelerle çalıştırılmaktadır. Stirling motorlu düzeneklerde çanak tipi toplayıcılar kullanılırken, buharlı güç döngüsüne dayalı olanlarda klasik düz yüzeyli, vakum borulu, ısı-borulu, ya da uzunlamasına silindirik toplayıcılar kullanılabilmektedir. Ayrıca fotovoltaik enerji dağıtım ve otomasyon yapıları üretilmiştir (Şekil 11).

Fotovoltaik güneş panellerinin üretiminde cam, güneş hücresi, şerit tel, ara polimer paftalar, arka pafta, alüminyum çerçeve ve bağlantı kutusu gibi pek çok malzeme kullanılır. Bu malzemelerin doğru seçiminin yanı sıra, güneş panel üretim ara süreçlerinin optimizasyonu sonucunda da yüksek verimli ve uzun yıllar hizmet verebilecek fotovoltaik güneş panellerinin üretilmesi mümkündür. Bu çerçevede, TÜBİTAK MAM ile Schmid – Pekintaş Enerji A.Ş. arasında başlatılan çalışmalar sonucunda %16.5 verimli fotovoltaik güneş paneli geliştirildi.

TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü araştırmacıları, yapılan çalışmaların bir başlangıç olduğunu, ilerleyen süreçte düşük maliyetli üretim süreçlerinin optimizasyonu ile aynı güneş hücresinden öncekilerden daha da verimli modüllerin geliştirilebilmesi için çalışmalara devam edeceklerini ifade etmektedirler.

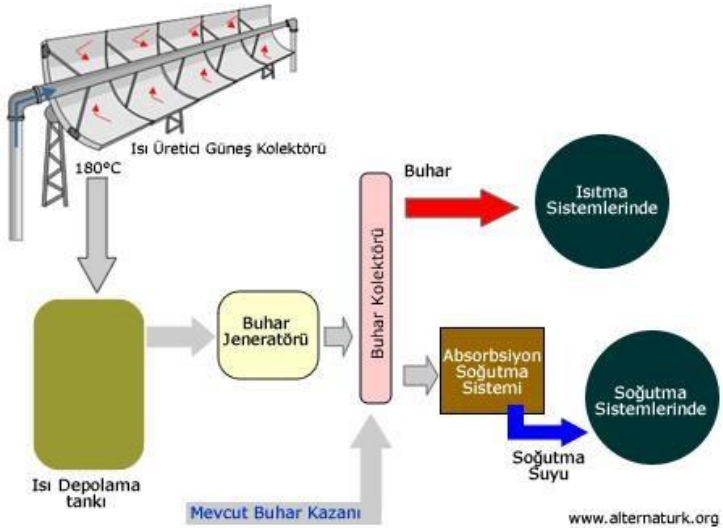


Şekil, 11. Fotovoltaik enerji dağıtım ve otomasyon yapıları (www.abb.com.tr)

Güneş enerjisi soğutma sistemi

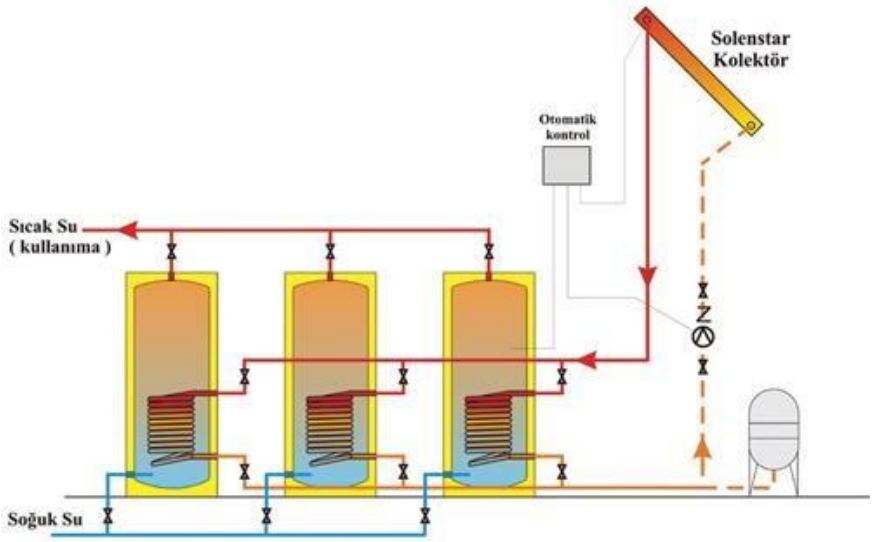
Güneşli soğutuculara gelince, bunlar buhar/jet türü soğutucular, soğurmalı türde soğutucular ve sıkıştırmalı (kompresyonlu) soğutucular biçiminde olabilir. Bunların çalıştırılmalarında, Güneşli su pompalarındakine benzer tip ısıl toplayıcılar ya da fotovoltaik paneller kullanılır.

Absorbsiyonlu soğutma, sıcaklığı 1000 ^{o}C ile 2000 ^{o}C arasında olan ucuz bir ısı kaynağı bulunduğu zaman ekonomik açıdan karlı olabilecek bir soğutma sistemidir. Absorbsiyonlu sistemlerde soğutucu akışkanın bir ikinci akışkan içinde soğurulması gerekmektedir. Soğutma mekanizması absorber ve jeneratörden oluşmaktadır. Absorbsiyonlu sistemde buhar yerine sıvı kullanılmaktadır. Sistemin çalışması dış kaynaktan sağlanan ısıya dayanır. Güneş enerjisi ile soğutma yapan bir sistemin şeması Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 12. Güneş enerjisi soğutma sistemi (http://www.alternaturk.org/).

Ayrıca oteller için boylerli güneş enerjisi sistemi (Şekil 13) önerilmektedir.



Şekil, 13. Oteller için boylerli güneş enerjisi sistemi (http://www.gunesenerjisi.com/)

ÇEVRESEL ETKİLER VE DENETİM

Güneş enerjisinin çevresel etkileri denilince, planlama ve hazırlık, inşaat, işletme ve işletme sonrası iyileştirme çalışmaları sırasında ortaya çıkması olası tüm çevresel etkilerin anlaşılması gerekir. En çok ihmal edilen evre planlama ve hazırlık evresidir. Aslında bu evrede, küçük tesisler için önemli sorunlar ortaya çıkmaz. Yani, küçük ölçekli yapılar için işletme ve işletme sonrası evrelerin gözetilmesi yetebilir. Ne var ki, büyük tesisler için yolların açılması ve yerin tesis için hazırlanması gerekir. Dolayısıyla bu evrede de görüntü kirliliği, hava kirliliği ve gürültü oluşabilir, ekosistemler etkilenebilir.

Varınca ve Varank, Güneş enerjisinin çevresel etkilerini büyük ölçüde Tsoutsos ve diğerlerinin çalışmalarından yararlanarak irdelemiştir (Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü 34349 Yıldız / Beşiktaş / İstanbul (212) 259 70 70 / 2278 kvarinca@yildiz.edu.tr, gvarank@yildiz.edu.tr). Bu çalışmalarda söz konusu çevresel etkiler, sistemden ve fotovoltaik güç üretiminden kaynaklanan etkiler ayrı ayrı irdelenmiştir (https://www.researchgate.net/). Aşağıda çevresel etkilere dair ayrıntılar sunulmuştur:

Sistemlerden kaynaklanan çevresel etkiler

Her ne kadar ilk kurulumda çok miktar malzemeye gereksinim duyulursa da işletme sırasında son derece az malzeme kullanılmaktadır. İşletme evresinde soğutma sistemindeki bir kaçak yangına sebep olabilir. Aynı şekilde bir gaz kaçağı da halk sağlığı ve güvenliği için istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Ancak büyük ölçekli güneş ısı sistemleri geleneksel yakıtların kullanımını önemli ölçüde azaltır ki bunun sonucunda da bu yakıtlardan kaynaklanacak çevresel etkiler de azaltılmış olur (Tsoutsos ve diğerleri, 2005).

Alan Kullanımı

Büyük ölçekli sistemlerde önemli ölçüde alan kullanımı gerekebilir. Özellikle tarım alanları ya da kullanılmakta olan meralar bu amaçla kullanılmamalıdır. Çünkü, böylesi kullanımlarda, habitat kaybı ve ekosistemin değişmesi söz konusu olabilir. Özellikle kritik ekolojik alanlardan sakınmak gerekir. Güneş PV sistemleri günümüzde var olan yapılara sabitlenebilse de, daha büyük ölçekli fotovoltaik sistemleri megavat başına 3,5 ile 10 akreye (3,5×4046.86 m2) ile 10×4046.86 m2) kadar ihtiyaç duyabilir ve güneş termik santral tesisleri megavat başına 4 (4×4046.86 m2) ile 16,5 akreye (16,5×4046.86 m2) ihtiyaç duyabilir (Johnston, 2022). Her şeye rağmen iyi bir planlama ile güneş santrallerin, HES'lere göre daha az yer kaplaması sağlanabilir.

Kazalar

Güneş ısı sisteminde işletme esnasında soğutucu sıvının her 2-3 yılda bir değişmesi gerekebilir. Bu değişimlerde dikkatli olmak gerekir. Bazı durumlarda kaza olabilir. Isı taşıyıcı sıvılar aynı zamanda gilikol, nitratlar, nitritler, kromatlar, sülfitler ve sülfatlar içerir. Daha yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda aromatik alkoller, yağlar, kloroflorokarbon (CFC) gibi daha karmaşık kimyasallar kullanılır. Büyük ölçekli güneş enerji sistemlerinde bu maddelerin giderilmesinde iyi bir denetim şarttır. Normal kullanım dışında taşıyıcı sıvı kaçağından dolayı su kirlililiği riski vardır. Soğutucu sıvı kaybı olduğunda güneş dönüştürücü aşırı ısınabilir. Sonuçta bu sıcaklıkta da yangın riskini yaratabilir. Aynı zamanda panel malzemesinden gaz çıkışından kaynaklanan ek sorunlar ve ısı taşıyıcı akışkanın gaz halinde yayılması ya da takip eden yanma olaylarından dolayı çevresel riskler de ortaya çıkabilir.

Görsel Etkiler

Yakın geçmişe kadar güneş enerji siteminin parçaları binanın malzemesi arasında gizlenmeye çalışılırdı. Ancak şimdilerde mimarlar estetik bir bina geliştirmek için güneş enerji sisteminin parçalarından yararlanabileceklerini keşfettiler ve müşterilerine bu konuda tavsiyelerde bulunabiliyorlar. Bugün güneş sisteminin parçaları çekici ve görsel bir mimari parça olarak kullanılabilmektedir.

Güneş panellerinin estetik etkisi, düz panellerin genelde var olan çatıya çok yakın ve aynı eğimde yapılmalarının ve biraz da parıltıya sebep olmalarına rağmen bir tercih sorunudur. Günümüz güneş enerji sistemleri estetik olarak hoş bir biçimde yapıyla kolayca bütünleşen toplayıcı üretimine izin vermektedir. Kuramsal olarak bina dışında güneş ısı sistemlerinin yerleşimi yangın ve çatıya su sızıntısı riskini artırır. Bu kolaylıkla önlenebilir, çünkü her panel için çatıda yalnızca dört delik açılmaktadır.

Fotovoltaik güç üretiminden kaynaklanan çevresel etkiler

Fotovoltaiklerin kullanımı sırasında gürültü ortaya çıkmaz. Ayrıca, bunların kimyasal kirlilik oluşturmamaları sayesinde çevresel etkileri son derece sınırlıdır. Fotovoltaiklerin kentsel alanda kullanım için en uygun yenilenebilir enerji teknolojisidir. Aynı zamanda, fotovoltaiklerin, direk ve tellerden kaçınılan doğal alanlarda ve ulusal parklarda kullanımları çekici bir seçenektir.

Alan Kullanımı

Fotovoltaiklerin alan kullanımında yer seçimi önemlidir. Yer seçiminde, alanın topografyası, doğal güzellik veya hassas ekosistemlere uzaklık ile alanın biyoçeşitliliği gibi özel faktörler gözetilir. Özellikle inşaat evresinde topografyanın şekli değişebilir ve hava kirliliği oluşabilir.

Kazalar

PV sistemlerinin genel olarak işletme evresinde gaz, sıvı ya da katı kirleticilerin yayılması sınırlıdır. Az oranda zehirleyici madde bulunan PV uygulamalarında bu kimyasalların çevreye yayılması sonucu zayıf da olsa bir yangın riski vardır. Büyük ölçekli tesislerde bu zararlı malzemenin yayılımı, tesis işletilmesinin anormal çalışması sonucunda ortaya çıkabilir. Bu da, küçük de olsa iş ve halk sağlığı açısından bir risk oluşturur. Böylece, toprak ya da yeraltı suyu kirlenmesi söz konusu olabilir. Dolayısıyla, acil durumlar için hazırlıklı olmak, bir yangın ya da ısıl patlama durumunda müdahale edecek teçhizatın olması gereklidir.

Görsel Etkiler

Görsel etkiler çoğunlukla PV sisteminin yapım tipi ve görünümüne bağlıdır. PV sistem uygulaması, doğal güzelliklerin yanına ya da yakınına yapılmamalıdır. Özellikle büyük ölçekli uygulamalarda yerleşim yerinin özelliklerine dikkat edilmelidir. Modüllerin binaların cephelerine güzel bir şekilde yerleştirilmesi halinde, pozitif yönde görsel bir etki de ortaya çıkabilir. Ayrıca, PV modüllerinde uygun renkler kullanarak görsellik sağlanabilir. Olumsuz görsel etkilerin minimize edilmesi için mimari çözümler bulunabilir.

Doğal Kaynakların Kullanımı

PV'den güç üretiminde, yüksek enerji ve oldukça fazla malzemeye gereksinim duyulur. Az da olsa kaynağı sınırlı ve zehirleyici etkisi olan maddeler de kullanılır (Cd gibi). Dolayısıyla, teknolojik gelişmeler dikkatle izlenmeli, kullanılacak malzemeden en yüksek verim almanın yolları aranmalı, güvenli malzemeler seçilmeli, gerektiğinde malzeme değişimine gidilmeli, modüller geri dönüştürülebilir ya da geri kazanılabilir özellikte yapılmalıdır. Tesislerin çevresel performansı, sistem üretiminin enerji verimine özellikle de elektrik üretimine bağlıdır. Taşımadan kaynaklanan emisyonlar üretimden kaynaklanan emisyonların %0,1-1 düzeyindedir. Kent çevresinde, modern PV sistemleri, gereksinim duyulan elektriği doğrudan sağlar. Bu sistemler aynı zamanda bina cephelerinde ayna olarak da kullanılabilir.

Gürültü Kirliliği

PV sistemleri, kullanılırken değil de inşaat aşamasında gürültüye neden olurlar. İşletme aşamasında rahatsız edici düzeyde bir gürültü söz konusu değildir.

Atık Yönetimi

Ağır metal içeriklerinden dolayı bataryaların bertarafı denetlenmelidir. Ömrünü tamamlamamış malzemenin değiştirilmesi sırasında malzemelerin türlerine göre uygun bir bertaraf seçeneği öngörülmelidir.

Öte yandan Güneş enerji sistemlerinin olası çevresel etkileri derecelendirilmiştir (Çizelge 1). Yapılan derecelendirmede çevresel sorunlar, uygulanan sistemlerle bu sistemlerin çeşitli alanlarda yarattığı etkiler gözetilerek irdelenmiştir. Çizelge 1' deki **+** düşük; **++** orta; **+++** yüksek çevresel etkiye işaret etmektedir. Ayrıca etkilerin türüne göre teknolojide ve uygulamalarda iyileştirme çalışmaları sürmektedir. Bu çerçevede, zehirli maddeler kullanıldıktan sonra, yasa ve yönetmeliklerde öngörülen standartlara uygun olarak bertaraf edilmeleri gerekmektedir.

Ayrıca Özsayın (2013) Güneş enerjisi ile ilişkili potansiyel çevresel etkileri, arazi kullanımı, su kullanımı, oluşan tehlikeli maddeler ve yaşam döngüsü küresel ısınma emisyonları açısından irdelemiştir. Bu çalışmada da, potansiyel çevresel etkilerin kullanılan Güneş enerjisine dair teknoloji türüne göre tanımlanabileceği kabul edilmektedir. Aşağıda potansiyel çevresel etkiler çeşitli açılardan irdelenerek sunulmuştur.

Çizelge 1. Güneş enerji sistemlerinin olası çevresel etkilerinin derecelendirilmesi (Tsoutsos ve diğerleri, 2005).

Çevresel Sorunlar	Merkezi Güneş Isıl	Dağınık Güneş Isıl	Merkezi Fotovoltaik Güç Üretimi	Dağınık Fotovoltaik Güç Üretimi	Güneş Isıl Elektrik
Görsel Etki	++	+	++	+	+++
Olası Kimyasal Atıklar	+	++	+++	+++	++
Yer Kullanımı	++	+	++	+	+++
İş Güvenliği ve Sağlığı	++	++	++	++	+++
Ekosistemlere Etki	+		+		++
Su Kaynaklarına Etki	++	+	+	+	+++

Arazi Kullanımı

Yere bağlı olarak, büyük ölçekli solar tesisler, arazinin bozulması ve habitat kaybı konusunda endişelere neden olabilir. Toplam alan gereksinimi, teknolojiye, sahanın topografyasına ve solar kaynağın yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir Tesis ölçeğindeki PV sistemleri için megavat başına 3,5 ila 10 dönüm arasında arazi kullanımı öngörülürken, CSP tesisleri için megavat başına 4 ve 16,5 dönüm arazi kullanımı öngörülmektedir.

Rüzgâr tesislerine göre, Güneş enerjisi tesisleri için daha az araz kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, Güneş enerjisi sistemlerin arazi etkileri, terk edilmiş endüstriyel alanlara, terk edilmiş madencilik alanlarına veya mevcut ulaşım ve iletim koridorları gibi düşük kaliteli yerlere yerleştirilmesi suretiyle daha düşük bir düzeye indirilebilir (NREL, 2012). Evler veya ticari binaların üzerine inşa edilebilecek olan küçük ölçekli PV sistemleri için herhangi yeni bir arazi kullanımı gerekmemektedir.

Su Kullanımı

Güneş enerjisi solar PV hücrelerinde, elektrik üretmek için su kullanılmamaktadır. Ancak, tüm üretim süreçlerinde olduğu gibi, solar PV bileşenlerini üretirken bir miktar su kullanılmaktadır. Ayrıca, tüm termal elektrik tesisleri gibi, konsantrasyonlu solar termal tesislerde (CSP), soğutma için suya gereksinim vardır. Bu gibi yerlerde su kullanımı tesisin soğutma sistemi tipine göre değişir.

Soğutma kuleleri ile sulu devri daim teknolojisi kullanan CSP tesisleri için, üretilen elektriğin megavat saati başına 600 ve 650 galon su çekilmektedir. Tek sefer uygulamalı soğutma teknolojisine sahip CSP tesislerinde daha yüksek su çekiş düzeyleri vardır. Ancak, su buhar olarak kaybedilmediğinden, toplam daha düşük düzeyde su tüketimi olmaktadır. Kuru soğutma teknolojisine sahip CSP tesislerinde su kullanımını yaklaşık yüzde 90 azaltabilir (NREL, 2012). Ancak, bu su tasarrufunun karşılığı da daha yüksek maliyet ve daha düşük verimliliktir. Buna ek olarak, kuru soğutma teknolojisi, 100 ^{0}F üzerindeki sıcaklıklarda belirgin olarak daha az etkilidir.

Güneş enerjisi konusunda yüksek potansiyele sahip olan Birleşik Devletlerdeki birçok bölge, çok kurak bir iklime sahiptir. Bu nedenle gereksinim duyulan su miktarının, dolayısıyla su dengesinin gözetilmesinde yarar vardır.

Tehlikeli Maddeler

Solar PV hücresi üretim sürecinde birçok tehlikeli madde kullanılmaktadır. Bunların çoğunluğu yarı iletken yüzeyi temizlemek ve saflaştırmak için kullanılan maddelerdir. Yarı iletken sanayinde kullanılan kimyasallar arasında hidroklorik asit, sülfürik asit, nitrik asit, hidrojen florim, trikloroetan ve aseton yer almaktadır. Kullanılan kimyasal maddelerin miktarı ve türü, hücre tipine, gerekli olan temizlik miktarına ve silisyum plakasının büyüklüğüne bağlıdır (NREL, 2012). İşçiler de silikon tozunun teneffüs edilmesi ile ilişkili risklerle karşı karşıyadır. Bu nedenle, PV üreticileri, işçilerin bu kimyasallardan zarar görmemesini ve atık ürünlerinin uygun bir şekilde bertaraf edilmesini sağlamak için ABD' de uygulanan yasalardan yararlanmalıdır.

İnce film PV hücreleri, galyum arsenik, bakır indiyum galyum diselenit ve kadmiyum telürit gibi geleneksel silikon fotovoltaik hücrelerde kullanılanlardan daha toksik maddeler içermektedir (NREL, 2012). Eğer gerekli önlemler alınmazsa, bu malzemeler çevre ve kamu sağlığı bakımından ciddi riskler oluştururlar. Ancak, üreticiler, bu son derece değerli ve genellikle nadir bulunan malzemelerin, atılması yerine geri dönüştürülmesini sağlama konusunda teşvik edilmelidir.

Yaşam Döngüsü Küresel Isınma Emisyonları

Güneş enerjisinden elektrik üretmek ile ilişkili doğrudan herhangi bir küresel ısınma emisyonu bulunmamakla birlikte, malzemelerin taşınması, kurulum, bakım ve işletme ile demontaj dahil olmak üzere solar yaşam döngüsünün diğer evreleri ile ilişkili emisyonlar ortaya çıkabilir. Fotovoltaik sistemler için yaşam döngüsü emisyonlarının tahmini miktarı kilovat saat başına 0,07 ve 0,18 pound arasında karbon dioksit dengine karşılık gelmektedir.

Konsantre edici solar enerji için çoğu tahmin, kilovat saat başına 0.08 ila 0.02 pound karbon dioksit aralığında değişmektedir. Her iki durumda da, bu, doğal gaz için (0,6-2 pounds CO_2 E/kW-saat) ve kömür (1,4-3,6 pounds CO_2 E/kW-h) için yaşam döngüsü emisyon oranlarından çok daha düşüktür (IPCC, 2011).

Sonuç olarak Güneş enerjisi teknolojileri, geleneksel enerji kaynakları ile kıyaslandıklarında çevresel açıdan bazı avantajlara sahiptir. Bu avantajlar: İşletme sırasında havayı kirleten emisyonların düşük düzeyde olması ve atık ürünün olmaması, değişime uğrayan ortamı iyileştirme kolaylığı, elektrik şebekesi iletim hatlarının az olması, su kaynaklarının kalitesinin iyileştirilmesi sayılabilir (Tsoutsos ve diğerleri, 2005). Sosyo-ekonomik açıdan bakıldığında güneş enerji teknolojilerinin kullanımının yararları; yeni iş olanaklarının sağlanması, enerji üretimi, çeşitliliği ve güvenilirliğine katkı; enerji piyasası düzenlenmesinde yeniden yapılanmaya destek sağlanması, ithal yakıt bağımlılığının azaltılması, uzak ve izole yerlerde yaşayan kırsal toplulukların elektrik ihtiyaçlarının giderilmesi olarak sıralanabilir.

Ancak, Güneş panellerinde kullanılan cam ve alüminyum gereçlerinin üretimi ve kullanımı evresinde çevre için kimi sorunlar yaratması mümkün ve ek olarak güneş hücrelerinden oluşan panellerin çeşitli ağır metaller, katkı maddeleri, genellikle insan sağlığına ve doğaya zararlı olabilecek kimyasallar içerdiği göz ardı edilmemelidir. Yani Güneş enerjisinin kullanım biçimine göre çevre etkiler ve sorunlar değişmektedir. Tesislerde kimi zaman görüntü kirliliği oluşmakta ve tesisler için büyük bir alan gerektirmektedirler. Ayrıca, Güneş santrallerinin şebekeye uzaklığı değerlendirilmelidir. Birkaç km'den sonra uygulamalarda sorunlar yaşanabilir. Santralin yani enerjinin sürekliliği ise güneşli günler ile sınırlıdır.

ÇED Yönetmeliği (2014)'nde yer alan güneş enerjisi projeleri için ise Ek-1 listesindeki 10 MWe ibaresi 10 MWm olarak, Ek-2 listesindeki 1 MWe ibaresi de 1 MWm olarak değiştirildi. ÇED Yönetmeliği (2022)'nde proje alanı 20 hektar ve üzerinde, kurulu gücü 10 MWm ve üzerinde olan güneş enerjisi santralleri EK-1'de; Proje alanı 2 hektar ve üzerinde kurulu gücü 1 MWm ve üzerinde olan güneş enerji santralleri ise EK-2'de yer almaktadır. Güneş enerjisine dair büyük santrallerin çevresel etkileri mutlaka izlenip denetlenmelidir.

SONUÇLAR

Güneş enerjisi tüm enerjilerin babasıdır. Diğer enerji kaynakları bir şekilde Güneş enerjisinden türemişlerdir. Dolayısıyla tüm Dünyada Güneş enerjisi konularında yoğun bir çalışma devam etmektedir. Örneğin Dünyada ısıl performans deney testi gibi çalışmalar da ABD, Almanya, İsviçre, İspanya, Kanada gibi gelişmiş ülkelerde yapılmaktadır. Ülkemizde de üretilen düzlemsel güneş kolektörlerinin Türk Standartları Enstitüsü tarafından verilen ürün belgesi ile ürün veya marka yenileme belgesi alabilmesi ve üretilen yeni bir ürünün ısıl performansının test edilmesi amacı ile ısıl performans deney testi yapılmaktadır (http://www.eie.gov.tr/).

Türkiye, Güneş enerjisine dair Avrupa Birliği ülkelerinin direktif olarak kabul ettiği EN 12975-1 ve EN 12975-2 nolu standart yöntemlerini Mart 2008 tarihinden itibaren geçerli olmak üzere kabul etmiştir.

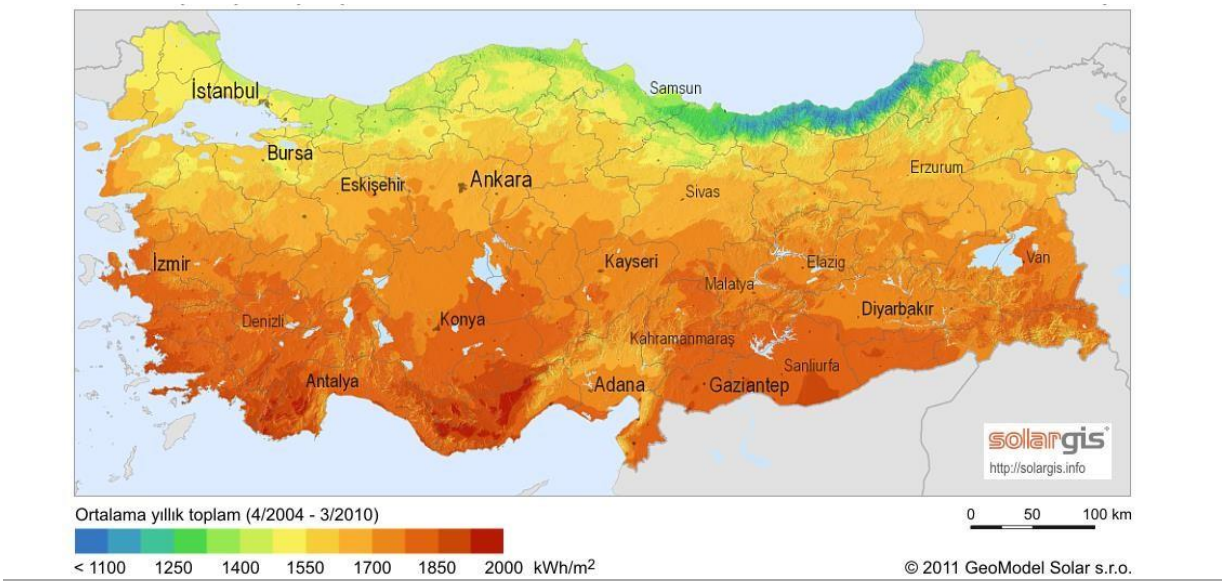
Ancak Güneş enerjisinin değerlendirilmesine yönelik teknolojik çalışmalar henüz yeterli bir düzeyde değildir. Özellikle fosil yakıtların gelecekte biteceği gözetilerek, güneş enerjisinin değerlendirilmesine yönelik teknolojik çalışmalar geliştirilmelidir.

Ülkemizde güneş enerjisinden; konut ısıtmada, sıcak kullanma suyu teminde ve tarım ürünlerinin kurutulması gibi alanlarda yararlanılmaktadır. Bu yararlanma yetersiz bir düzeydedir. Bunun nedeni ise bu konudaki mevcut bilgi birikimi ve teknolojik düzeyimizin düşük olmasıdır (Yılmaz, 2009).

Türkiye Güneş Işınımı Haritası Şekil 14'de görülmektedir. Türkiye'nin bir yılda aldığı Güneş enerjisi 120 milyar TET ya da 80 milyar TEP kadardır. Güneşten gelen bu enerjinin güç olarak karşılığı 111.5

TW'dır. Ülkemize düşen Güneş gücü, elektrik santralleri kurulu gücünün 5300 katını aşar. Türkiye'ye düşen toplam Güneş enerjisi, 1995 yılındaki genel enerji tüketiminin 1286 katı, bilinen katı fosil yakıt rezervinin 32 katı ve bilinen petrol rezervinin 2200 katıdır. Türkiye'nin tüm yüzeyinin Güneş toplayıcılarıyla kaplanmasının ve bu enerjinin doğal döngülerle bile harcanmaksızın denetimli kullanım için toplanmasının söz konusu olamayacağı açıktır. Ancak, 3517 EJ/y Güneş enerjisinin binde biri kullanılsa, bu değerin 1995'teki genel enerji tüketimine eşit olduğu gözden uzak tutulmamalıdır.

Ülkemiz, güneş potansiyeli açısından da son derece şanslı olmasına karşın, bu potansiyelin sadece % 3'ü değerlendirilmektedir. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na göre Türkiye'de, yılda 380 milyar kW-saat elektrik üretebilecek kapasite mevcuttur. 2020 yılı sonunda güneşten elde edilen 11.267 milyar kW-saat elektrik, toplam tüketimin % 3'üne yakındır (Pamir, 2022).



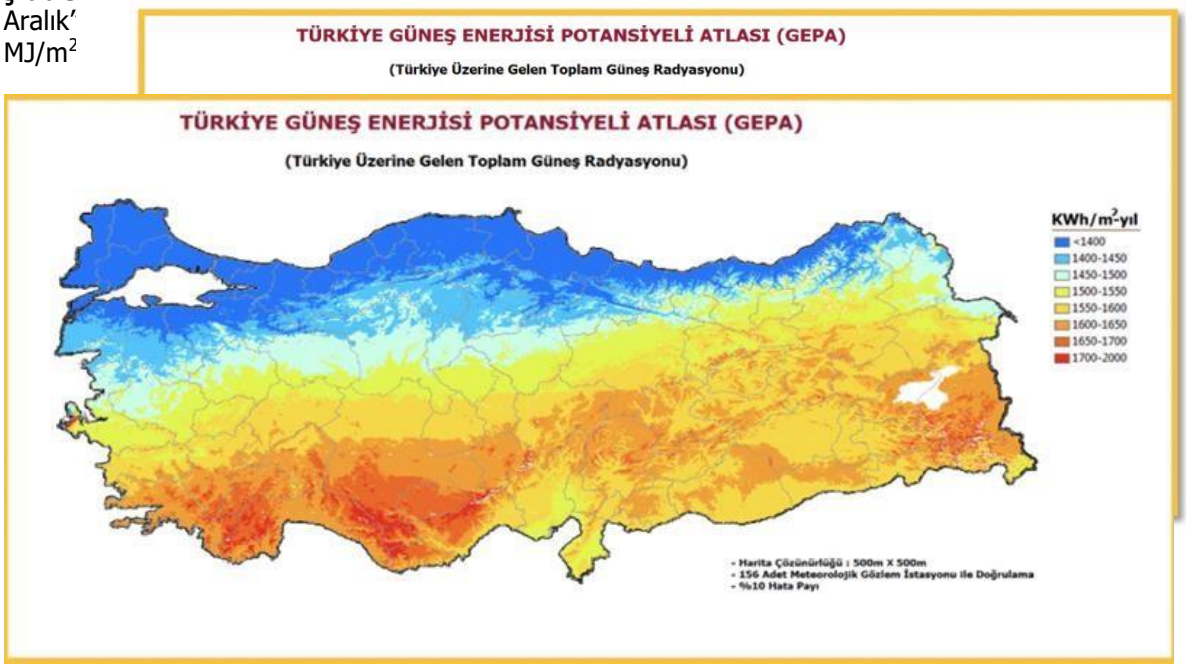
Şekil 14. Türkiye Güneş Işınımı Haritası
(https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15486467).
(SolarGIS, GeoModel Solar s.r.o.-http:solargis.info/free-solar-maps image, CC BY-SA 3.0).

Güneş enerjisi potansiyeli, m^2 başına düşen güneş radyasyonunun enerjisi olarak hesaplanmaktadır. Bu rakamların hesaplanması yıllık, aylık, günlük ortalamalar ve güneşlenme saatine göre alınan ortalamalar şeklinde olmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Enerji Bakanlığınca 2008 yılında Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) oluşturulmuştur (Şekil 15). Bu atlasa bakıldığında, ülkemizin özellikle Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinin güneş enerjisi potansiyeli açısından son derece iyi bir konumda olduğu görülmektedir.

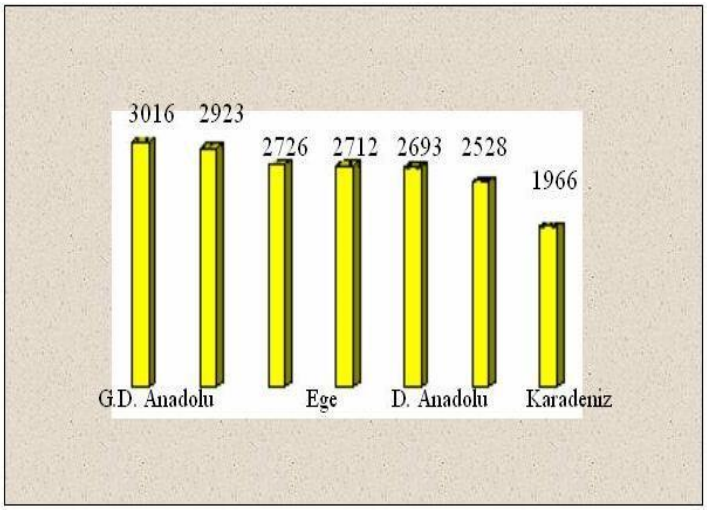
Uzun yıllar meteorolojik gözlemlerinin ortalaması ile Türkiye'nin yıllık **Güneşlenme süresi** 2609 saat olup, en yüksek değer 362 saat ile Temuz ayında; en düşük değer 98 saat ile Aralık ayında gerçekleşmektedir.

Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge 3016 saat ile Güneydoğu Anadolu bölgesi iken bu bölgeyi sırasıyla Akdeniz (2923 saat), Ege (2726 saat), Orta Anadolu (2712 saat), Doğu Anadolu (2693 saat), Marmara (2528 saat) ve Karadeniz (1966 saat) bölgeleri izlemektedir. Türkiye'nin bölgelere göre yıllık Güneşlenme süreleri (saat olarak) Şekil 16'da görülmektedir.

Yine meteorolojik gözlemlere göre, Türkiye'de aylara göre günlük ortalama **Güneş ışınım şidde**
Aralık'
MJ/m^2



Şekil 15. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) (ETKB-EİGM; Sav, 2022'den).



Şekil 16. Türkiye'nin bölgelere göre yıllık Güneşlenme süreleri [(saat olarak), (Ahmed, 1994)].

Güneydoğu Anadolu Bölgesi için yıllık ortalama Güneş ışınım şiddeti 14.3 MJ/m^2.gün olup, bunu Akdeniz (13.9 MJ/m^2.gün), İç Anadolu (13.7 MJ/m^2.gün), Ege (13.6 MJ/m^2.gün), Doğu Anadolu (13.4 MJ/m^2.gün), Marmara (10.9 MJ/m^2.gün) bölgeleri izlemektedir. Yıllık ortalama Güneş ışınım şiddetinin en düşük değeri 10.3 MJ/m^{2}gün ile Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır.

Türkiye'nin Güneşlenme süresi ve Güneş ışınım şiddeti değerleri temel alınarak bir yılda tüm yer yüzeyine düşen Güneş enerjisi 3517 EJ olarak hesaplanmıştır. Bu enerjiden yararlanmak için günümüzde Güneş toplayıcıları kullanılır. İçbükey aynaya benzeyen bu toplayıcılar değişik parabolik biçimlerde yapılır ve yalnızca doğrudan Güneş ışınımını değerlendirirler. Bunun için, 100-200 ^{o}C sıcaklıklı uygulamalarda,

mevsimlik ayarlanma isteyen, uzunlamasına silindirik odaklı toplayıcılar da kullanılmaktadır. Bu tür toplayıcıların 200 ^{o}C'yi aşan uygulamalarda kullanılanlarının, gün boyu Güneşi izleyecek biçimde devingen olmaları gerekir. Çanak tipi odaklı toplayıcılar ise, her sıcaklık kademesinde Güneşi izlemek zorundadırlar. Çanak tipi toplayıcılarla 3000 ^{o}C'yi aşan sıcaklıklara ulaşılmaktadır. Çanak tipi toplayıcılardan farklı bir yapıya sahip vakum-borulu türde olan toplayıcılar da vardır.

Yukarıda sunulan Türkiye' ye dair bilgiler ve güneş enerjisiyle ilgili teknolojik gelişmeler gözetilerek Türkiye'nin güneş enerjisinden en kısa zamanda ve etkin olarak yararlanabilmesi için; bir yandan bilgi birikimi ve teknolojik düzeyini yükseltmeye çalışırken, diğer yandan da güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden başlamak üzere; enterkonnekte sistemden 10 km uzakta ve talebin 10 kwh/gün' ün altında kaldığı yerlerde, fotovoltaik uygulamaların yaygınlaştırılması için destek verilmelidir. Böylece radyo ve TV ara istasyonları, haberleşme istasyonları, yaygın gözetleme kuleleri, çiftlikler, deniz fenerleri, sınır aydınlatmaları, deniz ve dağ evlerinin elektrik enerjisi gereksinimlerinin büyük bir bölümü karşılanabilir (Erdoğan, 1999; Yılmaz, 2009).

KAYNAKLAR

Ahmed, K., 1994, Renewable Energy Technologies., World Bank Technical Papers, Washington, 240 s.

Atlaş H., 1999, Fotovoltaik Güneş Pilleri: Güç Denetimi İçin Bir Modelleme, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 128, Ankara, 73 s.

Becker, A., 1988, Çağdaş Fiziğin Kavramları, Bizim Büro Yayınevi, 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.

Çıtıroğlu A., 2000, Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, TMMOB Türkiye II. Enerji Sempozyumu, Ankara, 97 s.

Erdoğan P., 1999, Güneş Enerjili Sistemlerin Performansının İncelenmesi, İ.Ü. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 78 s.

http://www.alternaturk.org/ http://www.eie.gov.tr/
http://www.enerjinetwork.com/
http://www.gunesenerjisi.com/)
http://www.nukte.org/
https://commons.wikimedia.org/
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15486467/
https://www.researchgate.net/ (Varınca, K. B. ve Varank, G., Güneş enerjisi farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerinin kıyaslanması ve çözüm önerileri (10s.). Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34349 Yıldız / Beşiktaş, İstanbul).

IPCC, 2011: IPCC Special Report on Renewable Energy Source and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. vonStechow (eds)]. (Chapter 7 & 9) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp.

Johnston, M., 2022, Solar Energy: Benefits and drawbacks (https://www.investopedia.com/articles/investing/053015/pros-and-cons-solar-energy.asp). MTA, 1981, Güneş Enerjisi, MTA Genel Direktörlüğü tanıtım yayınları, Ankara.

NREL, 2012, Renewable Electricity Futures Study. Hand, M.M.; Baldwin, S.; DeMeo, E.; Reilly, J.M.; Mai, T.; Arent, D.; Porro, G.; Meshek, M.; Sandor, D. eds. 4 vols. NREL/TP-6A20-52409. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL), ABD.

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.

Pamir, N., 2022. Türkiye ve enerji güvenliği (https://haber.sol.org.tr/haber/turkiye-ve-enerji-guvenligi341857; Erişim, 15.07.2022).

Ültanır, M.Ö., 1966, 21.Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi, Bilim ve Teknik 340, TUBITAK, Ankara. Tsoutsos ve diğerleri, 2005, Environmental Impacts From The Solar Energy Technologies. Energy Policy, 33, 289-296, 2005.
www.abb.com.tr
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

4. 9, HİDROJEN ENERJİSİ

GENEL BİLGİLER

"Hidrojen" sözcüğü Yunanca'da "su oluşturan" anlamına gelir. Sözcük, "su" anlamına gelen "hydro", ile "oluşturan" anlamına gelen "genes"ten türetilmiştir. 1776'da İngiliz fizikçi ve kimyacı Henry Cavendish (1731-1810) tarafından tanımlanan hidrojen, 1784'de su buharının kızdırılmış metal ya da kömür üzerinden geçirilerek hidrojen ve oksijene ayıran Fransız kimyacı Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) tarafından da adlandırılmıştır. Kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen, bir adet proton ve bir adet nötrondan oluşan doğadaki en hafif elementtir (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Dünya nüfusunun artışı ve uygarlığın gelişmesiyle birlikte toplam enerji gereksinimi artmaktadır. Dolayısıyla günümüzde kullanılmakta olan enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, alternatif enerji kaynaklarına olan gereksinimi zorunlu kılmaktadır. Petrol krizinin ve çevre sorunlarının etkisi altında yakın gelecekte içten yanmalı motorlarda kullanılan benzin, mazot gibi petrol kökenli yakıtların yerini alacak alternatif seçeneklerin üretilmesi için yoğun çaba harcanmaktadır.

Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasının tercih edilmesini sağlayan en önemli özelliklerinden biri, hidrojeni ateşlemek için gerekli enerji miktarının diğer yakıtlara oranla çok düşük olmasıdır. Bu durum tutuşma garantisi sağlaması açısından Otto ilkesi ile çalışan motorlarda avantaj sağlamakla birlikte erken tutuşma ve geri yanma gibi sorunları da beraberinde getirmektedir.

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının oldukça yüksek olması (1 Atm Basınçta 847-867 ^{o}K) ve oktan sayısının yüksek olması, hidrojenin dizel motorlardan çok, Otto ilkesi ile çalışan motorlar için daha uygun bir yakıt olacağını göstermektedir. Ancak dizel motorlarda hidrojenin tek başına ya da mazotla birlikte kullanımının gerçekleştirildiği örnekler de bulunmaktadır.

Hidrojen günümüzde artan enerji ihtiyacının karşılanması için çevreyle dost, yenilenebilir alternatif enerji kaynağı olarak her gün daha fazla ilgi çekmektedir. Yakıt pilleri de hidrojenin gücünü kullanarak hidrojeni, kullanabilir enerjiye dönüştüren aygıtlardır.

Hidrojen enerjisinin tarihi

Alman-İsviçreli kimyager Christian F. Schoenbien (1799-1868) 1839 yılında elektroliz yönteminin tersini uygulayarak hidrojen ve oksijen gazlarının birleşmesiyle su ve elektrik akımının ortaya çıktığını ortaya koymuştur. Schoenbien'in çalışmalarını uygulama aşamasına getiren İngiliz hekim ve bilim adamı William Grove (1811-1896) ilk gaz pilini 1845 yılında yapmıştır. Bu buluş kendisinin yakıt pilinin babası olarak anılmasını sağlamıştır.

Gaz pili: Oksijen ve hidrojen doldurulmuş iki ayrı kaba, platin çubukları (elektrot) sokulmuş, daha sonra bu kapların saf sülfürik asit içine yerleştirilmesiyle kaplar içinde su oluşurken platin elektrotlar arasında elektrik akımı oluştuğu belirlenmiştir. Daha sonra elektrotlar arası voltajı arttırmak amacıyla seri devreler oluşturulmuş, böylece **gaz pili** ortaya çıkmıştır.

Yakıt pili ise 1889 yılında Ludwig Mond ve Charles Langer'in hava ile havagazı kullanarak çalışan uygulamalardan sonra yapılmıştır. Hidrojen ve yakıt pili uygulamalarında gelişmenin teknolojik nedenlerle kısıtlanmış olması, petrolle çalışan içten yanmalı motorlarda başarı sağlanması uzun yıllar bu konunun bazı üniversitelerde bilim adamlarının raflarına terk edilmesi sonucunu doğurmuştur. 1920'li yıllarda Alman mühendis Rudolf Eren, bazı kamyon, otobüs ve deniz altılarının içten yanmalı motorlarını hidrojen ve hidrojen karışımları ile çalışır hale getirmiştir. Aynı yıllarda İngiliz bilim adamı J.B.S. Haldane "Bilim ve Gelecek" başlıklı makalesinde "Yenilenebilir Hidrojen" tanımını yapmıştır.

1937 yılında ABD ile Almanya arasında 10 başarılı uçuş gerçekleştiren ve hidrojen gazı ile çalışan Hinderburg uçağı, New Jersey'e inişte yanarak düşmüştür. Bu düşüşün nedenleri ancak 1997 yılında emekli NASA mühendisi Addison Bain tarafından açıklanabilmiştir. Düşüş nedeni uçak dış yüzeyine sıvanmış olan aşırı yanıcı madde ile statik elektriğin etkileşimi olarak açıklanmıştır. Yani, sorun hidrojenin kullanımı ile ilgili değildir.

ABD, 1958 yılında uzay roketlerinde sıvı hidrojen kullanacak olan NASA'yı (National Aeronautics And Space Administration) kurmuştur. 1959 yılında, 27 yıl aradan sonra Francis Bacon yakıt pilinin endüstriyel alanda ilk uygulamasını hidrojen – hava kullanarak çalışan 5 kW gücünde kaynak makinesini yaparak gerçekleştirmiştir. Aynı yıl tarım makineleri üreticisi Allis-Chalmers firmasından Harry K. Ihrig 1008 yakıt pili kümesini kullanarak 15 kW güç elde etmiş ve 20 Hp gücünde traktörü çalıştırmayı başarmıştır.

1960'lı yıllarda uçak üreticisi Pratt ve Whitney Bacon, patentlerinin lisansını almış, orijinal tasarımı değiştirmiş GE PEM tasarımından daha uzun ömürlü "Bacon Cell" tasarımı ile NASA Apollo projelerinde başarılı olmuştur. Bu tasarımla uzayda astronotların kullanımı için elektrik, ısı ve içecek su üretilmiştir.

1970 yılında, kimyacı John O'M Bockris, hidrojen ekonomisi kavramını ortaya atmış ve daha sonra yayınladığı "Enerji: Güneş Hidrojen Seçeneği (Energy: The Solar-Hydrogen Alternative)" başlıklı makalesinde ABD şehirlerinde Güneş enerjisi kullanılarak Hidrojen Ekonomisi'ne geçilebileceğini ileri sürmüştür. 1973 yılında OPEC petrol ambargosu tüm dünyada şok etkisi yapmış, bütün gelişmiş ülkelerde petrol yerine geçecek alternatif enerji kaynağı arayışlarına hız verilmiş, böylece hidrojen yakıt pili araştırmaları öne çıkmıştır.

1974 yılında Miami Üniversitesinde Prof. Nejat Veziroğlu, Uluslararası Hidrojen ekonomisi Miami Enerji Konferansını (THEME-The Hydrogen Economy Miami Energy Conference) hidrojen enerjisi konusunu tartışmak üzere organize etmiştir. Bu konferansa katılan bilim adamları Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliğini (IAHE-The International Association for Hydrogen Energy) kurmuşlardır.

Sonuç olarak, 1970'li ve 1980'li yıllar, gelişmiş ülkelerin üniversiteleri, araştırma firmaları, kamu kuruluşları ve özel sektör firmalarının hidrojen ve yakıt pili konusunda yoğunlaşmasıyla geçmiştir. 1988 yılında Sovyetler Birliği'nde Topolev Tasarım Grubu 164 koltuk kapasiteli TU-154 ticari uçağı sıvı hidrojenle uçurmayı başarmıştır.

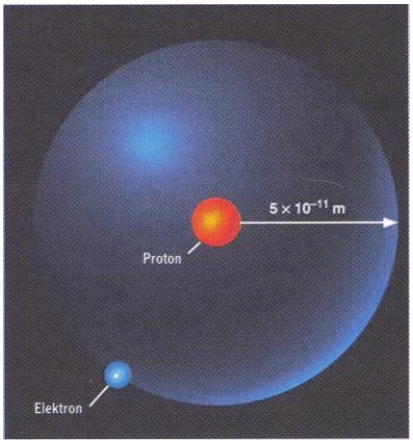
1990 yılında Dünya da ilk olarak Almanya'da güneş enerjisi ile çalışan hidrojen üretim tesisi "SolarWasserstoff-Bayern" işletmeye alınmıştır. 1991 yılında Washington D.C. Georgetown Üniversitesinde 1. Generasyon 30-foot-yakıt pilli otobüs yapılmıştır (TBB- 30-feet Fuel Cell Test Bed Busses). 1993 yılında Kanadalı Baliard firması ilk yakıt pili ile çalışan bir aracın yapımını tamamlamıştır. 1994 yılında Daimler Benz firması hidrojen yakıt pili ile çalışan aracı NECAR (New electric CAR) Almanya'da tanıtmıştır. 1995 yılında Chicago Taşımacılık İdaresi (Chicago Transit Authority) 3 adet yakıt pilleri ile çalışan otobüs sipariş etmiş ve 1996 yılında kullanıma sokmuştur. 1999 yılında Almanya'nın Münih ve Hamburg kentlerinde ilk hidrojen satış istasyonları açılmıştır.

2001 yılında Ballard Power Systems firması, endüstriyel amaçlı ve son tüketicilerin kullanabileceği proton değişim membranlı (PEM-Proton Exchange Membrane) yakıt pillerinin seri üretimine başlamıştır. Son yıllarda önemli otomotiv üreticileri yakıt pili ile çalışan otomobilleri geliştirmiş, bazı hastane ve okullarda yakıt pilleri kullanılmaya başlamıştır. Kuzey Amerika ve Bazı Avrupa ülkelerinde hidrojen yakıt pili ile çalışan otobüsler de kullanılmaya başlanmıştır.

21. yy, doğal kaynakları tasarruflu kullanmaya ilginin daha da artacağı, fosil yakıtların çevreye vereceği zararlarının daha iyi anlaşılacağı, taşımacılıkta ve sabit enerji üretim tesislerinde hidrojen yakıt pillerinin daha da yaygın olarak kullanılacağı yıllar olacaktır.

ÖZELLİKLERİ

Hidrojen (H), periyodik çizelgenin başında yer alan en hafif element olup, yalnızca bir proton ve bir elektrondan oluşuyor (Şekil, 1). **H,** renksiz, kokusuz, tatsız ve zehirli olmayan bir gazdır. Bu gaz, havanın 14' de biri oranında bir yoğunluğa sahip olduğundan, açık havada hızla yükselip dağılır. Yani gazın kendisi kolayca yanıcı ve hatta yüksek enerjiye sahip olan yoğunluğu nedeniyle patlayıcı olmakla birlikte, sızıntı sonucu bir yerde birikip kaza riskine yol açması da mümkün değildir.



Şekil 1. Hidrojen elementinin yapısı ve boyutları (Gürdilek, 2004'den).

Elektronun protona bağlanma enerjisi 13.6 eV kadardır. Hidrojen buna karşın güçlü bir elektropozitif karaktere sahip, yani elektronundan kurtulma eğiliminde, örneğin oksijen gibi elektron almaya meraklı, elektronegatif bir elementle bir araya geldiğinde tepkimeye girer ve atomu başına, yaklaşık 1,3 eV enerji açığa çıkar.

Hidrojen bu nedenle, kütlesel enerji yoğunluğu (142 kJ/g) yüksek bir madde ve gram başına sıvı hidrokarbonlardan (47 kJ/g) bile daha fazla enerji içerir. Uzay uçuşlarında üst kademe roketlerin yakıtı olarak tercih edilmesi bu yüzdendir. Yanma ürünü olarak su buharı çıkarttığından, atmosfere kirletici veya sera gazları salmamaktadır.

Evrendeki görünür maddenin %90'dan fazlasını hidrojen oluşturur. Tüm diğer elementler de hidrojen çekirdeklerinin füzyonuyla oluşmuştur. Yeryüzünde en bol bulunan üçüncü element hidrojen olup, suda ve organik maddelerin tümünde vardır. Ancak kullanımının her aşaması; üretimi, depolanması, taşınması ve yakılması ile ilgili aşılması gereken önemli sorunlar içermektedir. Aşağıda hidrojenin önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri ile diğer yakıtlarla karşılaştırılmasına dair bilgiler sıra ile sunulmuştur.

Hidrojenin fiziksel özellikleri:

- Renksiz ve kokusuz,
- Doğadaki en basit atom yapısına sahip, -252.77 ^{0}C'da ve sıvı hale gelebilir.
- Havadan 14.4 kez daha hafif, yoğunluğu havanın 1/14'ü, doğal gazın ise 1/9 u, sıvı halde benzinin 1/10 dur.
- Sıvı hidrojen hacmi gaz halindeki hacminin sadece 1/700'ü kadardır.
- Hidrojen bilinen yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir.
- 1 kg hidrojen 2.1 kg doğal gaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir.
- Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama 1.33 kat daha verimli bir yakıttır.

Hidrojenin kimyasal özellikleri:

- Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur.
- Yakıt olarak kullanıldığında atmosfere atılan ürün sadece su ve/veya su buharı olmaktadır.
- Hidrojenin çekirdeğinde bir proton ve çevresinde yalnız bir elektron bulunur.
- 5000 hidrojen atomundan birinin çekirdeğinde bir adet nötron bulunur. H'nin bu izotopu döteryum olarak bilinmektedir.
- Çekirdeğinde iki nötron olan H izotopu (tridyum) hidrojen bombası yapımında kullanılır.

Hidrojen enerjisinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması

Ulaşımda kullanılan enerji türlerinde hızlı bir değişim çağı yaşanmaktadır. Hidrojen yakıt pili ile çalışan yeni taşıtlar geleceğin farklı yolcu taşımacılığı hakkında yeni ve köklü bir yaklaşım sunmaktadır. Çünkü hidrojen, yenilenebilir ve çevre kirliliğinden bağımsız olarak çalışan bir enerji formudur.

Hidrojen teknolojisi yakın bir gelecekte kullanılabilir duruma gelecektir. Doğal gaz bu sürecin daha kısa ve kolay olmasını sağlayabilir. Hidrojenin; doğalgaz, petrol ve diğer enerji taşıyıcılarına oranla kullanımı ekonomiktir (Çizelge, 1). Örneğin hidrojen petrole göre ortalama 1.33 kat daha verimli bir yakıttır. Ayrıca, sıvı hidrojenin birim kütlesinin ısıl değeri 141.9 MJ/kg olup, petrolden 3.2 kat daha fazladır. Sıvı hidrojenin birim hacminin ısıl değeri ise 10.2 MJ/m^3 tür ve petrolün % 28'i kadardır. Gaz hidrojenin birim kütlesinin ısıl değeri sıvı hidrojenle aynı olup doğal gazın 2.8 katı kadar iken, birim hacminin ısıl değeri 0.013 MJ/m^3 ile doğal gazın % 32.5'i olmaktadır. Metal hidridlerin hacimsel enerji içeriği 12.6-14.3 MJ/m^3 olup, bu da gaz ve sıvı hidrojenin enerji içeriğinden büyüktür.

Çizelge 1. Yakıt ve motor tipine göre gerekli enerji gereksinimleri (Keçeciler, 2005).

İLERİ TEKNOLOJİ		**MESAFE 724 km**		
Yakıt	Motor Tipi İYM, (İçten Yanmalı Motor)	Gerekli Enerji İhtiyacı (MJ)	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)
Benzin (14 km/l)	İYM Yakıt Pili	1426	45.3	43.1
Sıkıştırılmış Doğal Gaz	İYM Yakıt Pili	1300.8 668.9	158.6 82.1	138 71.7
Sıkıştırılmış Hidrojen Gazı (6.000psi)	İYM Yakıt Pili	1170 596.7	489.8 243.5	152 74.4
Sıvı Doğal Gaz	İYM Yakıt Pili	1198 642.5	96.27 50.9	49.9 26.8
Sıvı Hidrojen	İYM Yakıt Pili	1120.5 552.8	218 107.6	51.3 25.4
Metanol	İYM Yakıt Pili	1300.8 668.9	82.1 42.4	87.6 44.9
Hidrit	İYM Yakıt Pili	1848 650	254.8 121.7	682.4 341.4

Süper Aktifleştirilmiş Karbon	İYM Yakıt Pili	1170 531.7	351.1 172.7	157.5 76.7

Doğal gaz, benzine oranla karbon monoksit ve diğer zehirli hava kirleticilerinde % 95, hidrokarbon emisyonunda % 80, azot oksit emisyonunda % 30'luk bir azalma sağlar. Buna göre, doğal gaz kullanımı küresel iklim değişimlerini az etkileyecektir. Bu açıdan hidrojen ve doğalgaz benzer özelliklere sahiptir.

- Doğal gaz ve hidrojen İçten Yanmalı Motorlar' da (İYM) kullanılabilir.
- Hidrojen doğalgazla birlikte temiz kullanım olanağı sağlayabilir.
- Her ikisinde de benzer depolama ve doldurma teknolojileri kullanılabilir.
- Doğalgazdan hidrojen üretimi yapılabilir.

Hidrojen enerjisi, güvenlik bakımından benzinle karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir. Öncelikle yenilenebilir şekilde üretilebilir. Güvenlik açısından da tehlikeli olduğu düşünülüyorsa da uzay çalışmalarından elde edilen deneyimlerle böyle olmadığı anlaşılmıştır.

Bilinen tüm yakıtlar içinde birim başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir (Sav, 2022). Kömür, doğal gaz gibi fosil kaynakların yanı sıra sudan ve biyokütleden de elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Petrol kökenli yakıtlara göre ortalama 1,33 kat daha verimli olan hidrojen sudan elde edildiği zaman yenilenebilir enerji kaynakları kategorisine girmektedir.

Günümüzde hidrojen konusunda gerçekleştirilen çalışmaların büyük bir bölümü yakıt pilleri ve otomotiv sektörüne yöneliktir. Elektrik enerjisinin aksine ekonomik olarak depolanabilmektedir. Bu nedenle hidrojen kullanan santraller sadece puant güce ihtiyaç olduğu sürelerde devreye alınabilmektedir.

Türkiye'de hidrojen enerjisinden yararlanma konusunda yapılan ilk çalışma; 2011 yılında Bozcaada'da rüzgârdan hidrojen üreten bir tesisin kurulmasıdır. "Bozcaada Hidrojen Adası Projesi" adı verilen bu çalışma pilot ölçekli bir tesis olarak başlamıştır. Enerji Bakanlığı'nın aşırı fosil yakıt tüketimini ortadan kaldırmak ve emisyonları azaltmak amacıyla, doğal gaz şebekesine düşük ve sıfır karbonlu yüzde 2 ila 6 oranında hidrojen enjeksiyonu hedefi bulunmaktadır (Sav, 2022).

Ancak, önemli olan konu, hidrojenin üretim, depolama, dağıtım ve kullanımında seçilecek olan yöntemler ve teknolojilerdir. Hidrojenin üretimi göz önüne alındığında; elektroliz, elektrik üretimindeki maliyetlerin yüksek olması nedeniyle yeterince uygun görülmemektedir. Ayrıca elektrik üretimindeki yöntem de önemlidir. Kömür ve doğalgazdan hidrojen üretiminde ise yayılma (emisyon) faktörlerinin etkileri az olsa da önemini koruyacaktır. Bu etkiler en aza indirmek için fotovoltaik piller doğrudan güneş enerjisi ile ya da biyo-kütle gibi üretim yöntemleri ile entegre şekilde kullanılabilir.

HİDROJENİN VE HİDROJEN ENERJİSİNİN KÖKENİ VE OLUŞUMU

Hidrojen, Yer'i ve Evren'i oluşturan hemen hemen tüm doğal bileşiklerin bileşiminde bulunur. Bu açıdan bakıldığında hidrojenin kökeninin evrenin kendisi olduğu, dolayısıyla tükenemeyeceği söylenebilir. Hidrojen gazı enerjisi ise, çeşitli bileşiklerde yer alan hidrojenin ayrıştırılmasıyla üretilen bir enerjidir. Bu çerçevede hidrojen enerjisinin oluşumuna yol açan gelişmeleri tarihi perspektif içinde sunulmuştur.

İngiliz bilim adamı Henry Cavendish, 1776 yılında çinko ile hidroklorik asidin reaksiyona sokulmasıyla Hidrojen gazının ortaya çıktığını belirlemiştir. Londra Kraliyet Ailesi'ne yaptığı bir sunumda hidrojen gazına kıvılcım uygulayarak su elde etmiştir. Bu buluş daha sonraları suyun hidrojen ve oksijenden olduğunun belirlenmesine öncülük etmiştir.

Fransız fizikçi Jacques Cesar Charles, 1783 yılında hidrojen balonuyla ilk uçuşu gerçekleşmiştir. İnsansız olarak uçurulan balon yerden 3 km yüksekliğe çıkmıştır. Fransız kimyacı Antoine Lavoiser, Cavedish'in araştırmalarını geliştirmiş ve 1788 yılında bu gaza Hidrojen adını vermiştir. Suyun elektroliz yöntemiyle ayrıştırılarak hidrojen ve oksijen gazlarının elde edilmesi 1800 yılında İngiliz bilim adamları W. Nicholson ve Sir A. Carlisie tarafından gerçekleştirilmiştir.

Hidrojenin üretilmesi ile ilgili başlıca yöntemler ise aşağıda sunulmuştur (Turkiye Çevre Fakfı, 2006; Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar):

- Isıtılmış karbon üzerinden su buharı geçirilerek,
- Bazı hidrokarbonların ısı altında kimyasal olarak ayrıştırması,
- Sodyum veya potasyum hidroksitin bazı tepkimeleri,
- Suyun elektroliziyle,
- Bazı metaller kullanılarak asitlerden hidrojen uzaklaştırmayla,
- Kimi madenlerden, petrolden ve diğer gazlardan hidrojenin ayrıştırılmasıyla.

Hidrojenin elde edilmesine ilişkin bazı tepkimeler

Çok etkin metaller (Ca, Sr, Ba ve IA grubu elementleri) su ile oda sıcaklığında tepkimeye girerek hidrojen ve hidroksitten oluşan çözeltilere ayrılırlar. Aşağıda bazı örnekler sunulmuştur.

Örnek: $2Na_{(k)} + 2H_2O \rightarrow 2Na^{+}_{(aq)} + 2OH^{-}_{(aq)} + H_{2\,(g)}$

Yüksek sıcaklıklarda bazı metaller su buharından hidrojen açığa çıkarırlar bu gibi durumlarda, metal hidroksitleri yerine metal oksitleri elde edilir.

Örnek: $2Fe_{(k)} + 4H_2O_{(g)} \rightarrow Fe_3O_{4\,(k)} + 4H_{2\,(g)}$

Asitlerin sulu çözeltileri ile tepkimeye girerek hidrojen veren metallerin listesi oldukça uzundur. Bunlardan bazıları Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe dir. Laboratuar ortamı için uygun bir hidrojen elde etme yöntemi olsa da ticari açıdan fazla bir önemi yoktur.

Örnek: $Zn_{(k)} + 2H^{+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

Kök ve su buharı yüksek sıcaklıklarda (1000 ^{o}C) tepkimeye girerek su gazı olarak bilinen bir gaz karışımı oluştururlar.

Örnek: $C_{(g)} + H_2O \rightarrow CO_{(g)} + H_{2\,(g)}$

Hidrojen, hidrokarbonların yüksek sıcaklıklarda katalitik bozunmasından da hidrojen elde edilir.

Örnek: $CH_{4(g)} \rightarrow C_{(k)} + 2H_{2(g)}$, Ayrıca, elektroliz yöntemi ile de hidrojen elde edilebilir.

Örnek: $2H_2O \rightarrow$elektroliz $\rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$

Hidrojen bağı

Bazı hidrojen içeren bileşiklerde moleküller arası çekim kuvvetleri olağan üstü yüksektir. Bu çekim kuvvetleri hidrojenin atom çapı küçük ve çok elektronegatif element bağ elektronlarını öyle kuvvetlice çeker ki hidrojen önemli miktarda kısmi + yük kazanır. Aslında, hidrojen elementinin perdeleyici elektronları olmadığından burada hidrojen çıplak bir protondur.

Bir molekülün hidrojen atomu ve diğer bir molekülün elektronegatif elementinde bulunan paylaşılmamış elektron çifti birbirini çekerek hidrojen bağını oluşturur. Her hidrojen atomu küçük boyutlu olduğundan ancak bir hidrojen bağı yapabilir. Ayrıca hidrojen bağı canlı sistemlerdeki moleküllerin yapılarının ve özelliklerinin saptanmasında önemli rol oynar. Örneğin, DNA yapısında bulunan hidrojen bağları buna en güzel örnektir.

ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ

Hidrojen enerjisinin de üretilebilmesi için her zaman bir tesise gereksinim vardır. Bozcada' da yapılan bir hidrojen enerjisi tesisi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil, 2. Bozcaada' da hidrojen enerji santrali (http://emretarikprojeodevi.blogcu.com/).

Diğer gazlar gibi, hidrojen gazının da üretimi, depolanması, taşınması ve kullanımı sırasında uygun teknolojileri tercih etmek ve iyi bir planlama yapmak gerekir. Bilindiği gibi pil ve akü üretim tesisleri de yakıt hücreleri olarak hidrojen enerjisinin depolanabileceği yerler olup, bu üretim tesisleri de ÇED sürecine tabidir.

Özellikle motor ve araç teknolojisi açısından alternatif olarak seçilen yakıtın, içten yanmalı motorlarda kullanımı, depolanması, doğal dengenin korunması ve fosil yakıt türleri ile yarışabilir karakteristik özelliklere sahip olması gerekir.

Hidrojen gazı üretimi

Hidrojen gazı farklı yöntemlerle elde edilebilir. Hidrojen üretiminde tüm enerji kaynakları kullanılabilir. Örneğin su, güneş enerjisi ya da onun türevleri olarak kabul edilen rüzgâr, dalga ve biyokütle enerjileri kullanılarak hidrojen gazı üretilebilir. Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak değişik hammaddelerden üretilebilen yapay bir yakıttır. Şekil 3'de birincil enerji kaynaklarının konumu, hidrojen enerjisi ile ilgili döngü ve elektrik enerjisi üretimi yapay olarak görülmektedir. Bu sistemde kullanılan başlıca hammaddeler ise su, fosil yakıtlar ve biyogazdır.

Hidrojen, benzinin 3 ya da 4 katı daha fazla enerji içeren bir yakıt olup birçok başka enerji kaynağı ile üretilebilmekte ya da birçok endüstriyel işlemin yan ürünü olarak alınmaktadır. Hidrojen gücü, Jules Verne'in suyu yakıt olarak kullandığı eski bir rüyanın gerçekleşmesidir.

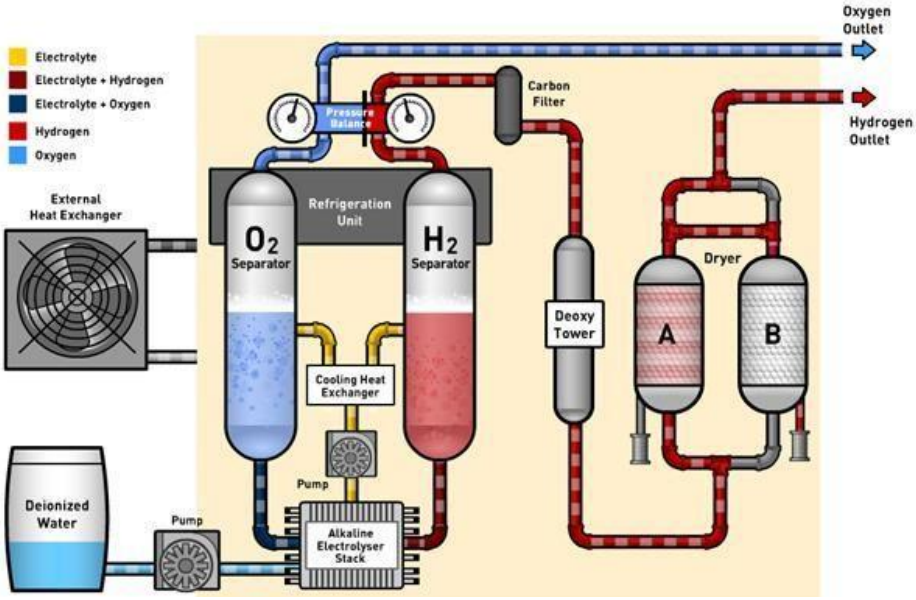
Hidrojen üretiminde genellikle iki yöntem uygulanmaktadır: -
Elektroliz,
- Buharla sentez gazı üretimi veya kısmi oksitleme.



Şekil 3. Hidrojen enerjisi döngüsü ve elektrik üretimi (http://www.hidrojen.gen.tr/).

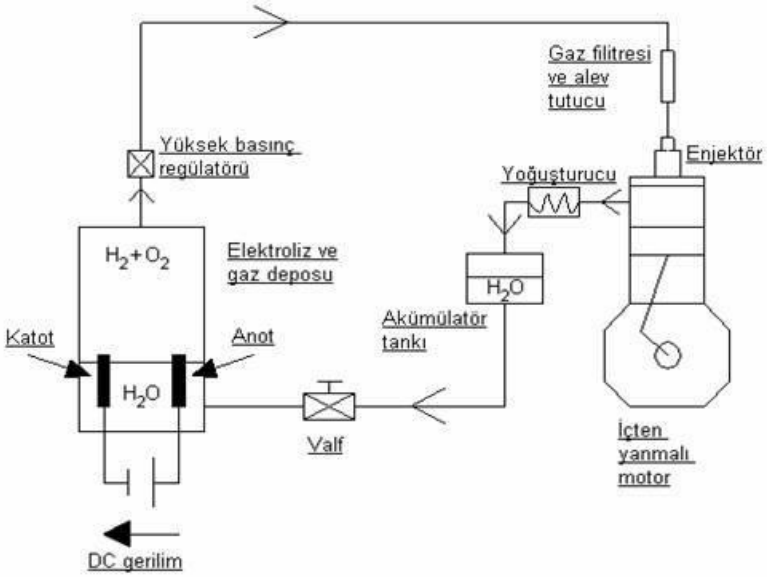
Elektroliz: Yakıt hidrojenin temelde, sudan yenilenebilir enerjilerle üretilmesi ana ilkedir. Hidrojen üretim yöntemlerinin başında suyun direkt elektrolizi gelir. Elektroliz için elektrik gereksinimi fosil yakıtlardan, hidroelektrik kaynaktan, nükleer güçten, jeotermal enerjiden, güneş, rüzgâr ve deniz dalga enerjilerinden elde olunabilir.

Günümüzdeki teknolojiye göre hazırlanmış ve sudan elektrolizle hidrojen enerjisinin üretildiği bir tesisin şematik yapısı Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Hidrojen jeneratörü (http://www.dhe.com.tr/urunler/hidrojen-jeneratoru/).

Elektrolizde, su moleküllerini hidrojen ve oksijene ayrıştırmak için elektrik enerjisi kullanılır. Açığa çıkan hidrojen ve oksijenin kullanılabilmesi için yüksek basınç altında depolanması gerekmektedir (Şekil 5). Elektrik enerjisi, yenilenebilir yakıt dâhil, herhangi bir kaynaktan sağlanabilir. Elektrolizin, gelecekte fazla miktarlardaki hidrojen üretiminin esas yöntemi olması beklenmektedir.



Şekil 5. Suyun elektroliz ile açığa çıkan hidrojenin ve oksijenin basınç altında depo edilmesi (http://www.delinetciler.org/ ve Keçeciler, 2005).

Günümüzde araştırmalara göre hidrojenli motorların araca sadece su konularak çalışabileceği düşünülmektedir. Bu yöntem suyun elektroliz edilmesiyle sağlanıyor. Elektrik motoru kullanılarak suyun elektroliz edilmesiyle hidrojenin açığa çıkıyor. Fakat bu işlem için kullanılan elektrik gücü çok fazla olup, bunu üretecek bir motorun bulunması durumunda bile, bu güç sadece motoru çalıştırabileceği için kullanılmasının bir avantajı bulunmamaktadır.

Buharla gaz üretimi: Bunun için volkanik kayalardan fışkıran sıcak sudan, yani buhardan da yararlanılabilir. Buhar, elektrik enerjisi kullanarak suyu hidrojen ve oksijen atomlarına ayrıştıran hidrolaser isimli bir makineyi çalıştıracak elektriğin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda elde edilen hidrojen ise binek araçlarına yakıt olarak pompalanmaktadır.

Ayrıca, 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. Ayrıca, ısı yoluyla endüstriyel ölçekte hidrojen üretimi yüksek ve orta sıcaklık prosesleri kullanılarak termokimyasal olarak su ayrışmasını dikkate almak gerekmektedir. Böylece, bir tarafta hidrojen üretilirken, diğer tarafta termodinamik verimliliği yüksek güvenlik seviyelerini ve düşük sera gazı emisyonlarını sağlamak mümkündür.

Bu yöntemde, çekirdek reaktör ve helyum, 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).

Özetle hidrojeni üretmenin çeşitli yolları vardır. Bunlar organik atıkların gazlaştırılması, doğal gazın pirolizi, yani hidrojen ve katı karbona dönüştürülmesi, bazı metallerin, örneğin alüminyum veya bor bileşenlerinin su ile kimyasal tepkimeye sokulması (hidroliz) ve yine sudan doğrudan hidrojenin elde edilmesi gibi yol ve yöntemler denenmeye devam etmektedir.

Hidrojenin depolanması ve taşınması

Üretilen hidrojen depolanabilmekte, boru hatları ve/veya tankerlerle taşınabilmektedir. Doğal gaz boru hatlarını gelecekte hidrojen taşınması için kullanılabileceği belirtilmektedir. Yani LPG ve azot gibi hidrojen gazı da uzun vadede depolama için tanklarda depolanabilir. Şekil 6'da depolama tanklarından bir görüntü sunulmuştur.



Şekil 6. Sanayi gazları (LPG, azot, hidrojen vd.) depolama tankları (http://astandarts.com.tr/).

Hidrojenin üretilmesinden sonra gereksinim duyulan yerlere ulaştırılması, kullanılması ve kullanımının azaldığı durumlarda da hidrojenin depolanması zorunludur. Genel olarak hidrojenin kullanıldığı her yerde depolanmasına gereksinim vardır. Taşıtlarda hidrojenin kullanılması durumunda depolama daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nokta da hidrojenin depolanmasını makro ve mikro olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Makro düzeyde merkezi bir jeneratör, güneş hidrojen enerji sistemi, rüzgâr hidrojen enerji sistemi vb. merkezi olarak üretilen hidrojenin depolanmasıdır. Mikro düzey ise kullanım yeri (pişirme, ısınma vb.) veya hidrojen yakıtlı taşıtlarda hidrojenin depolanmasıdır.

Kullanım yerine ve yöntemine bağlı olarak farklı tipte depolama yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır. Depolama sistemlerini maliyet verimliliği geleceğin enerji seçeneklerinden biri olan hidrojen gazının kullanımı için en kritik faktördür.

Günümüzde geçerli depolama yöntemleri çok pahalıdır ve çeşitli uygulamaların gereksinim gösterdiği performansları karşılamamaktadır. Yüksek enerji yoğunluğuna ve düşük ağırlığa sahip taşınabilir (araç üstü) depolara gereksinim duyulmaktadır. Normal sıcaklık ve basınç koşullarında, hidrojen çok düşük enerji yoğunluğuna (benzine göre yaklaşık 1/3300) sahiptir. Bu nedenle depolama konusunda uzun vadede amaç, ağırlık ve hacimsel olarak depolama yoğunluğu açısından benzinle karşılaştırılabilir teknolojilerin gerçekleştirilmesidir. Ekonomik ve pratik hidrojen depolama sistemi kapasiteye, depo malzemelerini yapısal bileşenine toplam maliyet ve hidrojen emniyetli kullanım için gerekli olan basınç ve sıcaklık koşullarına bağlıdır.

Hidrojen depolama yöntemleri

Hidrojenin üç çeşit depolama yöntemi vardır. Bunlar;

1. Hidrojenin basınçlı gaz olarak depolanması
2. Hidrojenin sıvı olarak depolanması
3. Hidrojenin metal hidrid şeklinde depolanması

Hidrojenin basınçlı gaz olarak depolanması

Bu yöntem en ekonomik çözüm şekli olmakla birlikte hidrojenin enerji yoğunluğunun oldukça düşük oluşu ve taşıt boyutlarına bağlı olarak basınçlı kapların belirli boyutlarda yapılma zorunluluğu nedeni ile depolanan hidrojen miktarı ağırlık olarak yetersiz kalmaktadır. Üstelik kullanılan basınçlı kapların emniyetli olmaları gereği nedeniyle kap içindeki hidrojenin az olmasına karşın kabın boş ağırlığı da fazla olmaktadır. Bu durum küçük boyutlardaki taşıtlar için önemli sorunlar yaratmakta ve taşıtın bir depo yakıtla kat edebileceği mesafe kısalmaktadır. Depolama ve taşıma çevre sıcaklığında yapılmalıdır.

Hidrojenin sıvı olarak depolanması

Sıvı hidrojen bilinen yakıtlar içerisinde kaynama noktasındaki yoğunluğu en küçük ve özgül itme kuvvetinin en yüksek olması nedeniyle roketler, süpersonik ve hipersonik uzay araçlarında yakıt olarak kullanılır.

Hidrojen daha yüksek basınçlar altında sıvılaşır. Sıvı hidrojen ısı transferini ve kaynama olayını minimize eden süper izoleli olarak tasarlanmış çift cidarlı kaplarda depolanır. Taşıtlar için gerekli yakıt hem sıvı hem de gaz fazdan çekilerek motora sevk edilir. Hidrojenin sıvı halde depolanmasının bazı yararları ve zararları vardır:

- Hidrojen, diğer enerji kaynaklarına göre daha hafif bir depolama şekline sahiptir.
- Hidrojen yakıtı, yüksek basınç sıvı hidrojen pompası yardımı ile silindire, doğrudan püskürtülürse sıkıştırma oranı dizel motorlarındakine yakın bir değere çıkartılabilir.
- Taşıtta eğer klima ünitesi varsa sıvı hidrojen soğutma amaçlı kullanılabilir.
- Kontrolsüz yanma önlenebilir ve NOx emisyonlarında ise azalma sağlanır.

- Sıvılaştırma için gerekli enerji büyüktür. Sıvılaştırma için hidrojen gazı kullanılmaktadır. Hidrojenin gaz halden sıvı hale geçerken bir kısmı buharlaşır, bu nedenle faz değişiminin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir.
- Sıvı olarak hidrojenin tanklarda depolanması ve kullanılması sırasında buharlaşma kayıpları meydana gelir. Hidrojenin tanklarda depolanması, düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden kullanılacak yakıt tankının, ısı yalıtımının çok iyi yapılması gerekmektedir.

Hidrojenin taşıtlarda metal hidrid şeklinde depolanması

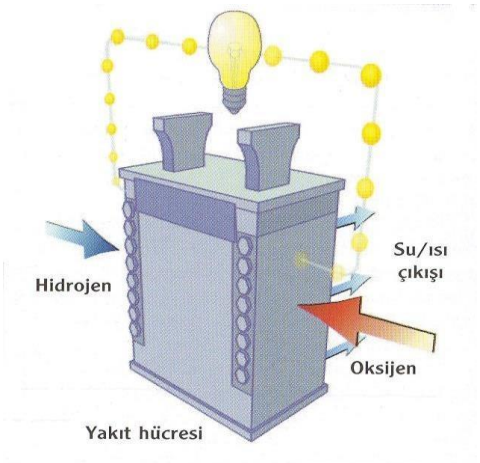
Küçük miktarlardaki hidrojenin depolanması için önerilen yöntemdir. Hidrojen hidrid metallerle veya bu metallerin alaşımlarıyla kimyasal tepkime oluşturarak depolanır.

Hidridler, bir tank içinde hidrojen gazının metal alaşım parçacıkları ile bileşik oluşturmuş şekilde depolanmasıdır. Hidridlere ısı verildiğinde hidrojen serbest kalmaktadır. Hidrid oluşturan metaller ve alaşımlar, bir süngerin suyunu absorblaması gibi hidrojeni absorbe eder. Bir başka deyişle, bunlar hidrojeni çok yoğun bir şekilde depolayabilirler. Gaz hidrojen katı metallerin kafes şeklindeki içyapılarına nüfuz edecek kristal yapının çeşitli yerlerine bağlanır.

Ancak gelecekte, Enerji şirketleri 2030'a kadar yenilenebilir kaynaklardan üretilen 25 teravatsaat elektriği hidrojen formunda depolamayı öngörmektedir. Hidrojenin enerji taşıyıcı olarak farklı formlarda kullanımını içeren senaryolara göre ise 2050'ye kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen 58 teravatsaatlik elektrik enerjisi hidrojen formunda depolanabilir. Ayrıca bu miktar teknolojik gelişmelere bağlı olarak artış gösterebilecektir (https://m.star.com.tr/ekonomi/tum-ulkeler-pesinden-kosuyorenerjide-cigir-acacak-haber-1644212/ (5 Ağustos 2021 Perşembe 11:22).

Hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri ya da yakıt pilleri

Yakıt hücrelerinin amacı, bir elektrik motorunu çalıştırmak, bir elektrik ampulünü ya da bir kenti aydınlatmak üzere hücre dışına yönlendirilecek bir elektrik akımı üretmektir. Akım daha sonra hücreye geri dönüp bir elektrik devresini tamamlar. Bir yakıt hücresinin genel görünümü Şekil 7'de görülmektedir. Yakıt hücrelerinin birçok türleri vardır**.** Hepsinin kullanım alanına göre taşıdığı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Katı oksit yakıt hücreleri, pahalı elektrotlar taşımadığı ve elektrolitin katı olması nedeniyle tercih edilmektedir.



Şekil 7. Bir yakıt hücresinin yalınlaştırılmış yapısı (Gürdilek, 2004'den).

Bir yakıt hücresi, bir kimyasal tepkime **($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2e$)** sonucu elektrik üreten bir araçtır. Her yakıt hücresinin biri pozitif (katot) ve diğeri negatif (anot) olmak üzere iki elektrotu bulunur. Elektrik

üreten tepkimeler, elektrotlarda meydana gelir. Her yakıt hücresinde ayrıca, elektrik yüklü parçaları bir elektrottan diğerine taşıyan bir elektrolit ve elektrotlarda tepkimeleri hızlandıran bir de katalizör bulunur.

Hidrojen esas yakıttır; ancak yakıt hücrelerine oksijen de gerekir. Yakıt hücrelerinin çekiciliği, çok az kirletici çıkararak elektrik üretmelerinde yatıyor. Elektrik üretiminde kullanılan hidrojen ve oksijen sonunda birleşerek tamamen zararsız bir yan ürün olan su ortaya çıkmaktadır.

Tek bir yakıt hücresi çok küçük bir miktar doğrudan akımlı elektrik (DC) üretir. Dolayısıyla yakıt hücreleri demetler halinde bir araya getirilerek kullanılırlar.

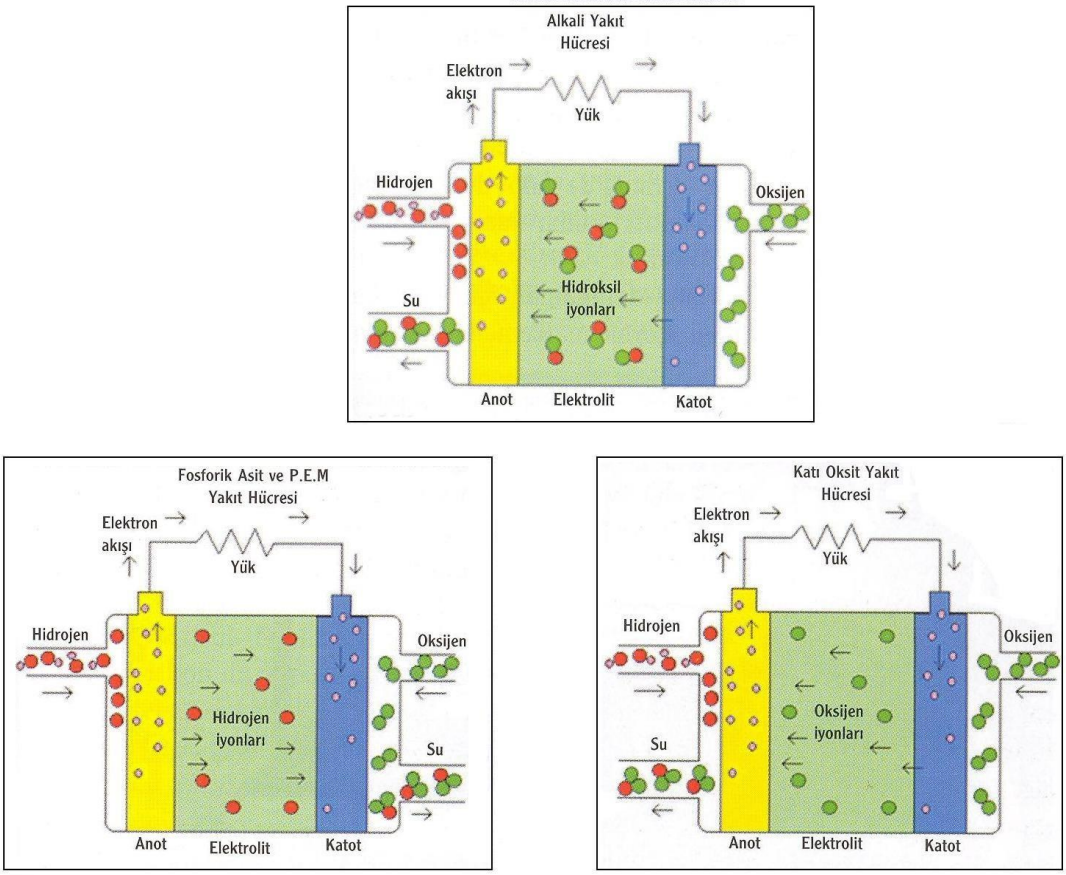
Farklı yakıt hücreleri, farklı biçimlerde çalışır; genelde hidrojen atomları hücreye anottan girer ve burada bir kimyasal tepkime elektronları atomlardan koparır. Hidrojen atomları iyonlaşır ve + elektrik yükü taşırlar. – elektrik yüklü elektronlar teller aracılığıyla akımı sağlarlar. Eğer değişken akım (AC) gerekirse, yakıt hücresinin DC çıktısı inverter (tersindirici) adlı bir aygıttan geçirilir.

Oksijen hücreye katottan girer ve bazı hücre tiplerinde (yukarıda gösterilen) orada elektrik devresinde dönen elektronlarla ve elektrolit içinden geçerek anottan gelen hidrojen iyonlarıyla birleşir. Başka hücre tiplerinde ise oksijen elektronları toplanıp elektrolitten geçerek anoda gider ve hidrojen iyonlarıyla orada birleşir.

Elektrolit önemli bir rol oynar. Anot ile katot arasında yalnızca uygun iyonların geçmesine izin vermek zorundadır. Çünkü serbest elektronlar ya da başka maddeler elektrolitten geçerse, kimyasal tepkimeyi bozabilirler. İster anotta ister katotta olsun, hidrojen ve oksijen birleştiklerinde su oluşturur ve su da hücreden dışarı süzülür.

Bir yakıt hücresi, kendisine hidrojen ve oksijen verildiği sürece elektrik üretir. Verimi de yüksek olur. Yakıt hücreleri elektriği yanma yerine kimyasal olarak ürettiklerinden sıradan bir güç santralini sınırlayan termodinamik yasalarına tabi değildir, dolayısıyla yakıt hücreleri yakıttan daha verimli bir biçimde enerji elde ederler. Bazı hücrelerden çıkan atık ısı da yeniden kullanılıp sistemin verimini daha da yükseltir. Yakıt hücreleri ya da pilleri çoğunlukla çevreye zarar vermeyen, temiz ve en yüksek verime sahip olan enerji dönüşüm teknolojisidir. Genellikle bir türbin veya buhar kazanı kullanılmadan yalnızca kimyasal reaksiyon sağlayarak elektrik enerjisi rahatlıkla üretilebilmektedir.

Günümüzde çeşitli yakıt hücresi türleri üretilmektedir. Bunlar, alkali, erimiş, karbonat, fosforik asit, proton değişim zarı (PEM) ve katı oksit türleri olarak bilinmektedir (Şekil 8). Hepsinin farklı özellikleri, farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Farklı türler, farklı sıcaklıklarda çalışıyor ve verimleri de türlerine göre % 40-80 arasında değişmektedir.



Şekil 8. Bazı yakıt hücrelerinin türleri (Gürdilek, 2004' den).

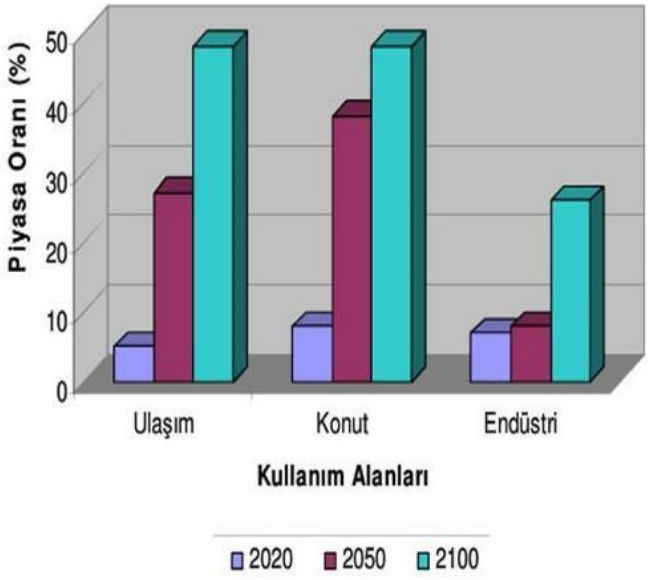
Hidrojenin nasıl yakılacağı konusunda da farklı tercihler söz konusudur. İçten yanmalı motorlarda yakma ve oksijenin hızlı verilmesi halinde, atık ürün olarak su buharının yanında, nitrik oksitler gibi sera gazları da çıkar. Sadece su buharı çıkması istenirse, yanma odasına oksijenin yavaş verilmesi, yani havanın dikkatli pompalanması gerekir. Ama bu durumda da, olaydan enerji çekme hızı, yani güç azalır. Dolayısıyla, hem de % 50-60'lara varan yüksek verim avantajından yararlanabilmek için, hidrojeni yakıt hücrelerinde yakmak daha uygundur. Ama bu, ilgili teknolojinin ekonomik hale gelmesini beklemeyi gerektiriyor.

Oysa şimdiden içten yanmalı motorları ufak bir bedel karşılığında hidrojen yakar hale getirip, bu yakıtın kullanımını başlatmak mümkündür. Fakat halen, otomobil üreticileri yakıtı henüz ortada olmayan bir arabayı üretmek, enerji firmaları da kullanıcısı olmayan bir yakıta yatırım yapmak istememektedir. Bu kilitlenmeyi kırmak için de hidrojenin, hiç değilse fotovoltaikler ekonomik hale gelinceye kadar fosil yakıtlardan üretilip, hiç değilse yakıt hücreleri ekonomik hale gelinceye kadar içten yanmalı motorlarda kullanılmak üzere, otomobil yakıtı olarak şimdiden piyasaya sürülmeye başlanmasını savunanlar vardır.

Dünya'da ve özellikle Avrupa'da yeni yakıt hücreleri ve hidrojen teknolojilerine dair gelişmeler devam etmektedir www.new-ig.eu (NEW IG_Fuel Cell and Hydrogen technologies in Europe 2011 Financial and technology outlook on the Europian sector ambition 2014-2020).

KULLANIM ALANLARI

Hidrojen enerjisi yaşamın her alanında kullanılabilir. 2010-2020 yılları arasında hidrojenin ticari amaçlar için kullanılması öngörülmektedir. Ancak henüz hidrojen enerjisinin pahalı olması nedeniyle, bu enerji diğer enerji türleri ile rekabet etme düzeyinde değildir. Ne var ki, gelecekte hidrojen enerjisinin daha da yaygın olarak kullanılabileceği de hesaba katılmalıdır. Bu çerçevede hidrojenin gelecekte olası kullanım alanları ve piyasa oranları Şekil 9'da görülmektedir. Yani en azından hidrojen enerjisinin ulaşım, konut ve endüstride piyasa oranı 2100 yılında yaklaşık % 40 dolayında olacağı beklenmektedir.



Şekil 9. Hidrojenin gelecekte olası kullanım alanları ve piyasa oranları http://slideplayer.biz.tr/slide/3238425/

Ayrıca hidrojen, içten yanmalı motorlarda ve yakıt pillerinde oksijen ile kimyasal reaksiyona girerek elektrik üretiminde kullanılabilir. Hidrojenin araç ve elektrik üretimi uygulamalarında yakıt olarak kullanılmasının yararları oldukça açıktır. Yakıt olarak kullanımında, yüksek sıcaklık işlemlerindeki çok az miktarlarda emisyon üretilmektedir. Hidrojenin yaygın bir şekilde kullanılması ile oldukça belirgin bir şekilde çevre kirliliğinde azalma olacaktır.

NASA 1950 yılının sonlarında uzay çalışmalarında kullandıkları yakıt pilleri, şimdilerde çoğunlukla ulaştırma sektörü ilk sırada yer alırken hizmet ve sanayi sektöründe de yakıt pillerini artık başarı ile kullanılabilmektedir. Özellikle yakıt pilleri taşınabilen cihazlarda mesela cep telefonu ya da bilgisayar şeklindeki mobil uygulamalarda kullanılabildiği gibi aynı zamanda elektrik santralleri içinde en uygun güç sağlayıcısı olmaktadır. Ayrıca düşük emisyonu ve yüksek verimliliği ile ulaşım sektöründe geniş bir kullanım alanına da sahip olacaktır.

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımı

İçten yanmalı motorlar İYM), kullanılan yakıta göre, büyük ölçüde hava kirliliği yaratabilirler. Ancak bu motorlarda hidrojen ya da elektriğin kullanılması, daha temiz bir hava ortamı için katkı sağlayacaktır. İçten yanmalı motorlarda hidrojenin kullanımı konusundaki araştırmalar, 1900'lü yıllarda başlatılmıştır (Yılmaz, 2009).

Enerji kaynaklarını azalması nedeni ile ortaya çıkan enerji krizleri ve oluşan çevre sorunları, hidrojen üzerinde yapılan çalışmaları tetiklemiştir. Böylece, 1970'lerde hidrojenin alternatif motor yakıtı olarak kullanılması yeniden gündeme oturdu. Egzoz emisyon değerlerini düşük olması, petrole olan bağımlılığın azaltması, hidrojenin çok önce belirlenmiş olan avantajlarıdır.

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olmasına karşın hidrojen-hava karışımlarının tutuşturulabilmesi için gerekli enerji miktarı düşüktür. Tutuşma aralığının geniş olması, hidrojenin daha geniş karışım aralığında düzgün yanmasın sağlar ve yanma sonucunda daha az kirletici oluşur.

Benzin motorları ise stokiyometrik orana daha yakın oranlarda ya da zengin karışım oranlarında çalıştırılmak zorunda olduklarından egzoz gazlarında önemli miktarda azot oksitler (NOx), karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbon (HC)' lar azaltan bir karşım ile çalıştırılabilirler. Böylece daha az NOx oluşurken, HC ve CO emisyonları oluşmaz. Alev hızını yüksek olması ise Otto motorlarında ideale yakın bir yanmanın oluşmasını sağlayarak, ısıl verimi arttırır. Geniş tutuşma aralığı sayesinde, gaz kelebeğine gerek kalmadığından, karşımın silindirlere kısılmadan gönderilmesi sonucu pompalardaki kayıplar da azaltılmış olur.

Hidrojenin yüksek sıkıştırma oranlarında, bir fakir karışım ile yanabilmesi yakıt tüketimini azalttığı gibi, yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığı da azaltır. Yanma sonucu partikkül madde oluşmadığından bujiler kirlenmez. Alev parlaklığının düşük olması, diğer karbon esaslı yakıtlara göre radyasyon yolu ile olan ısı kaybını azaltacağından daha yüksek verim sağlar.

Hidrojenin alev hızının yüksek olması, buji kıvılcımından sonra karışımın başka noktalardan tutuşma (detenasyon) ihtimalini azaltır. Bu durum sıkıştırma oranının arttırılmasın sağlayacağından motorun gücü de artar.

Geçtiğimiz 15-20 yılda hidrojen üzerine artan çalışmalar standart otomobillerin dönüştürülmesi içindir. Çeşitli üniversiteler, enstitüler, araştırma merkezleri, otomobil üreticileri ve hükümetler bu araştırmaları desteklemekte ve pek çok projeler gerçekleştirilmektedir. Bu projenin tümünde iki ana unsur bulunmaktadır.

Bunlar;

i) İçten yanmalı motorların hidrojenle çalışacak şekilde dönüştürülmesi, ii) Araç üzerinde hidrojenin depolanması için teknolojilerin geliştirilmesi.

Benzin motorundan hidrojen motoruna çevrilmiş motorda, stokiyometrik hidrojen-hava karışımında %20 güç kaybı meydana gelir. Karbüratörlü motorların emme manifoldundaki alev tepmesi önemli bir sorundur.

Hidrojen motorunun bu dezavantajları, onun benzin ile rekabet etme şansını azaltmaktadır. Fakat günümüzde kadar yapılan çalışmalarla, hidrojenin motor verimine ve hava kirliliğinin azaltılmasına olan katkıları ortaya çıkmıştır. Hidrojenin sıkıştırma oranı yüksek olan motorlarda kullanılmasıyla da neden olduğu güç kaybı azaltılabilir. Ayrıca aşırı doldurma uygulanarak ek güç sağlanabilir. Sıkıştırma oranının arttırılması ve fakir karışım ile hidrojen motorunun ısıl veriminde, benzinli motora göre % 25'lik bir artış sağlanabilir. Ayrıca fakir karışım ile alev tepmesi önemli miktarda azaltılmaktadır.

Fosil akaryakıt motorlarında görülen buhar tıkaması, soğuk yüzeylerde yoğunlaşma, yeterince buharlaşmama gibi sorunlar hidrojen motorlarında yoktur. Hidrojen motorları, 20.13 ^{0}K'de (-253 ^{0}C) ilk harekete geçerken bile bir sorun ortaya çıkmamaktadır.

İYM' larda hidrojen kullanımında karşılaşılan sorunlar

İYM' larda hidrojen kullanımı ile ilgili ilk deneylerde propan ve doğal gaz için kullanılan yakıt- hava karışım cihazları hidrojene uygun olarak geliştirilmiş ve motor üzerinde deneyler yapmıştır. Hidrojen diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında farklı yanma ve ateşleme özelliklerine sahiptir.

Hidrojen yakıtlı motorlarda yanma açısından ortaya çıkan en önemli iki sorun, geri tutuşma ve erken ateşleme olaylarıdır. Hidrojenin tutuşma enerjisinin düşük olması bu iki sorunu ortaya çıkarmaktadır. Hidrojenin yakıt olarak kullanılabilmesi için bu sorunların ortadan kaldırılması gerekir.

Geri yanma sorunu: Geri yanma, yanma odasına gönderilen yakıt-hava karışımını emme tamamlanmadan çeşitli etkenlerle tutuşması sonucu motorun emme manifoldundan geriye doğru alevin ilerlemesidir. Bu olaya emme sistemi elamanlarını tahrip etmekte ve emniyet açısından sorun oluşturmaktadır. Geri tutuşma ve hava fazlalık kat sayısının (λ) 2 ila 3 arasında olduğu durumlarda oluşmaktadır.

Geri tutuşmanın nedenlerinden biri de, benzin ile kıyaslandığında hidrojenin tutuşturulabilmesi için daha düşük iyonlaşma enerjisine gereksinim duyulmasıdır. Dolayısıyla hidrojen yakıtı motorlarda buji kıvılcımından sonra ateşleme sisteminde kalan artık enerji miktarı daha fazla olur. Egzoz zamanı genişleme periyodundan sonra silindir içi basıncının atmosfer basıncına yakın olduğu durumlarda, sistemdeki atık enerji bujide kıvılcım oluşmasına neden olur. Kıvılcımın oluştuğu nokta döngüden döngüye farklılık gösterir. Eğer buji kıvılcımı emme zamanında oluşursa, diğer bazı etkenlerle birlikte geri tutuşmaya neden olur. Artık enerji oluşumunu önlemek için ateşleme sistemi değiştirilmelidir.

Erken tutuşma sorunu: Önlenmesi gereken diğer olaylardan biri de erken tutuşmadır. Yanma odasına gönderilen karşımın bujide kıvılcım çakmadan önce sıcak odaklar tarafından tutuşturularak yanmayı istenilen zamandan önce başlatması da erken tutuşma olarak tanımlanmaktadır.

Yüksek yük altında, yanma odasındaki sıcak noktalar karışımın erken ateşlenmesine neden olur. Hidrojenin tutuşma enerjisinin düşük olması nedeniyle; yanma odasındaki sıcak noktalar, supap bindirmesinde sıcak egzoz gazları, çok fakir karışımlarda yanma hızlarını düşük olması nedeni ile yanma süresinin artması sonucu yanan gazlarla yeni karışımın teması, motor yağından gelen sıcak partiküller, yanmayı istenilenden önce başlatabilmektedir.

Bu amaçla yanma odası sıcaklığının düşürülmesi gerekmektedir. Bunun için; karışımın bir miktar fakirleştirilmesi, egzoz gazları resirkülasyonu (EGR), yanma odasına su püskürtülmesi, supap bindirmesi süresini azaltılması, giriş havasının sıvı hidrojen kullanımı sonucu soğutulması gibi çeşitli yöntemler uygulanabilir. Ancak karışıma EGR uygulanması veya gönderilen hidrojenin azaltılması sonucu fakirleştirilmesi döngüden döngüye olan farklılıkları artıracak ve motorun düzenli çalışmasını önleyecektir.

Hidrojen yakıtlı motorlarda hava-yakıt oranı 0,8 olduğunda egzoz gazları içindeki NOx miktarı maksimum olur. NOx oluşumunu azaltmak için hidrojene saf oksijen eklenmelidir. Bu durum ise sisteme daha karmaşık hale getirir ve taşıt ağırlığını arttırır. Bu sorunun çözümü için kullanılan yöntemlerden biri; taşıt üzerinde suyu elektroliz ederek, açığa çıkan hidrojen ve oksijenin basınç altında depo edilmesidir.

ÇEVRESEL ETKİLER VE DENETİM

Hidrojen gazının üretiminde çevresel etkiler denilince, hidrojen gazı tesisleri, bu tesislerde kullanılan malzemelerin üretimi ve kullanılan diğer yakıt türleri ile hidrojen gazının depolanması, taşınması ve kullanımını bir bütünsellik içinde değerlendirmek gerekmektedir. Bu konularda kapsamlı bir

değerlendirme yapmadan denetim yapılamaz. Aşağıda, sadece hidrojen gazı özelinde bazı hususlar ele alınmıştır.

Hidrojen gazı diğer yakıtlar da kullanılarak üretilen bir kaynaktır. Günümüzde, daha çok doğal gazdan bir reaksiyon ile hidrojen elde edilebilir. Bu reaksiyon sırasında, doğal gazdan dolayı yan ürün olarak, bir sera gazı olan karbondioksit (CO_2) açığa çıkar. Metan esaslı yakıt hücrelerindeki buhar yapılandırıcılar, hidrokarbonları ya karbondioksite ya da karbon monoksite (CO) dönüştürür. Her ne kadar yerin ya da denizlerin altına depolama gibi yöntemler araştırılsa da açığa çıkan karbondioksit günümüzde atmosfere bırakılmaktadır (Yılmaz, 2009).

Science dergisinde bir grup Caltech'li bilim adamının yayınladığı bir makalede, hidrojen gazı kaçağının neden olabileceği sorunlar hakkında kaygılar dile getirilmeye başlanmıştır. Moleküler hidrojenin saklandığı depoların büyük bir bölümünde yavaş da olsa sızma eğilimi olabilir. Eğer bir varsayım olarak yeterli miktarda hidrojen gazının (H_2) sızdığı düşünülürse, hidrojen gazı morötesi ışınlarla ile stratosferde kolayca serbest radikaller (H) oluşturur. Bu serbest radikaller ise ozon tabakasındaki deliğin genişlemesinde hızlandırıcı rol oynar.

Ancak yapılan incelemeler hidrojen gazı kaçağının büyük boyutta olmadığını göstermiştir. Mevcut kaçak yüzdesi tahmin edilen % 10-20 değerinin çok altındadır. Almanya'da yapılan bir araştırma, kaçak oranının % 0,1'den az olduğunu (doğalgaz kaçağı % 0,7) göstermiştir. Dünya çapında hidrojen kullanımının yaygınlaşması durumunda, bugünkü teknolojilerle bile, kaçak oranının % 1-2'lerin altında kalması beklenmektedir. Gelişmiş bir hidrojen ekonomisinin 50 yıldan önce oluşması beklenmediğinden, bu süre içerisinde gaz kaçağına karşı önemli teknolojilerin geliştirileceği umulmaktadır.

Hidrojen, basında nispeten tehlikeli bir gaz olarak tanıtılmıştır. Ancak, gerçekte de hidrojen hava karışımı diğer gazlardan daha patlayıcı /yanıcı bir özelliğe sahiptir. Yukarıda da belirtildiği gibi hidrojen gazı depolandığı tanktan sızabilir ve bir çatlak olması durumunda çok hızlı boşalabilir. Hidrojen alevi zor görülür ve hidrojen yangınıyla mücadele etmek de oldukça zordur. En çok bilinen hidrojen yangını LZ 129 Hindenburg felaketidir. Yolcuların 2/3 ile mürettebat kurtulmuş, ölenlerin büyük çoğunluğu ise denize atlayanlardır.

Hidrojenin de yanıcı ve patlayıcı özelliği vardır. Hidrojene dair enerji ise elektrik üretiminde ve özellikle İYM'larda kullanılmaktadır. Patlayıcı maddelerin üretildiği tesisler, 154 kV (kilovolt) ve üzeri gerilimde ve 15 km ve üzeri sürekli uzunluktaki elektrik enerjisi iletim hatları ile ilgili faaliyetler ÇED Yönetmeliği (2022)'nin EK-1 listesinde; Elektrik sanayi tesisleri (toplam ısıl gücü 20 MWt-300 MWt arası olanlar) EK-2 listesinde yer almaktadır. Ayrıca ÇED Yönetmeliği (2014)'inde yer alan 154 kV ve üzeri gerilimdeki iletim hattı projeleriyle ilgili Ek-1 listesinde yer alan "15 km ve üzeri uzunluktaki" ibaresi, "15 km ve üzeri sürekli uzunluktaki" olarak değiştirildi; aynı türdeki projeler için Ek-2 listesindeki "5-15 km uzunlukta" ibaresi, "5 km ve üzeri uzunlukta" ile değiştirildi.

Sonuç olarak, hidrojen enerjisinin çevresel etkilerinin bir bütünsellik içinde kümülatif olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak, bu konudaki verilerin henüz sınırlı olduğu kabul edilmelidir. Dolayısıyla, hidrojen gazının şimdilik son derece güvenli bir şekilde depolanması ve kullanırken de patlayıcı/ yanıcı özelliğinin gözetilerek önlemlerin alınması gerekmektedir.

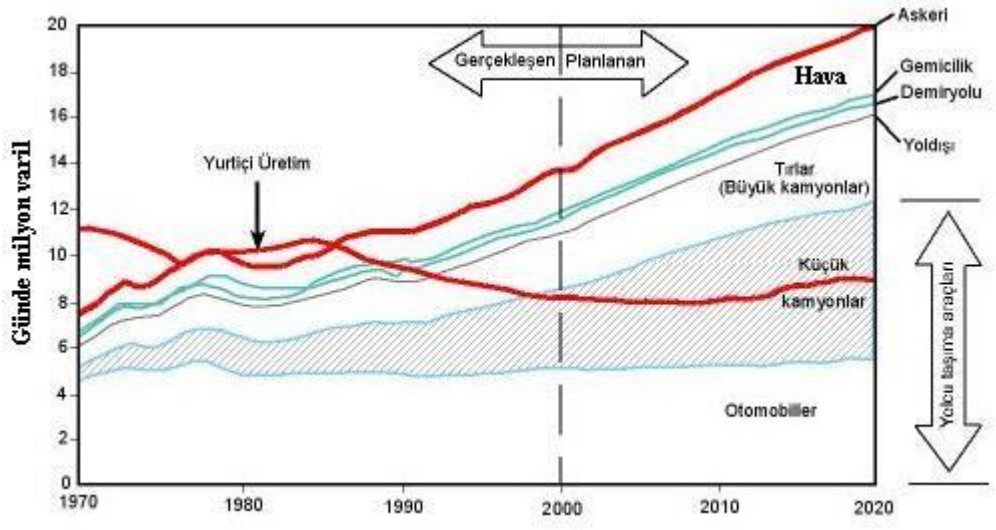
SONUÇLAR

Günümüzde, enerji gereksinimi yönüyle büyük ölçüde petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlara bağımlı bir durum vardır. Ancak Şekil 10'da görüldüğü gibi Dünya' yı yönlendiren ABD'nin yurtiçi petrol üretimi ile tüketimi arasındaki farkın da giderek büyüdüğü de görülmektedir (CEC SEAQ, 2005).

Dünya'daki durum da benzerdir. Bu farkın daha da büyümesi kaçınılmaz gözükmektedir. Dolayısıyla alternatif oluşturan yeni enerji kaynaklarına yönelme zorunluluğu da vardır. Hidrojen enerjisi ile ilgili çalışmaları da bu çerçevede değerlendirmek gerekmektedir.

Değişik araştırma birimlerinde ve üniversitelerde yürütülen hidrojen enerjisi projeleri bir yandan devam ederken, bir yandan da Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi (UHETM) tarafından geliştirilen plan, program ve projeler gerçekleştirilmektedir. Buna göre, Türkiye'de hidrojen enerjisi ile ilgili çalışmaların da önümüzdeki yıllarda giderek artması beklenmektedir. Ayrıca, UHETM tarafından Türkiye için hidrojen enerjisinin planlanması ve hidrojen enerjisinin değişik kaynaklardan sağlanması önerilmektedir.

Buna göre hidrojenin Kuzey Anadolu'da Karadeniz'deki hidrojen sülfürden, Batı Anadolu'da (Çanakkale- İzmir hattında) rüzgâr enerjisinden ve linyit kömürü rezervi olan Yatağan ile Afşin-Elbistan bölgelerindeki kömürden H elde edilmesi hedeflenmektedir. Üretilecek hidrojenin de yakıt olarak mevcut doğal gaz ağını kullanarak (hem ülke içinde hem de Avrupa'ya) dağıtımının yapılması öngörülmektedir.



Şekil 10. Ulaşımda yıllara göre petrol tüketimi (CEC SEAQ, 2005).

Türkiye'de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılabilecek olası kaynaklar; hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi ve jeotermal enerjidir. Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından, uzun dönemde fotovoltaik güneş-hidrojen sistemi uygun görülmektedir.

Türkiye'nin uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz'in tabanında depolanmış hidrojen bulunmaktadır. Karadeniz' in suyunun % 90'ı anaerobiktir ve hidrojensülfid (H_2S) içermektedir. 1000 m derinlikte 8 ml olan H_2S konsantrasyonu, tabanda 13,5 ml düzeyine ulaşmaktadır. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, H_2S den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar vardır. Bu konuda yapılmış bir diğer teknoloji geliştirme çalışması, semikondüktör partikülleri kullanarak fotokatalitik yöntemle hidrojen üretimidir. Güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanarak, Karadeniz'in H_2S içeren derin sularından hidrojen üretimi ile ilgili literatüre geçmiş bilimsel araştırmalar vardır.

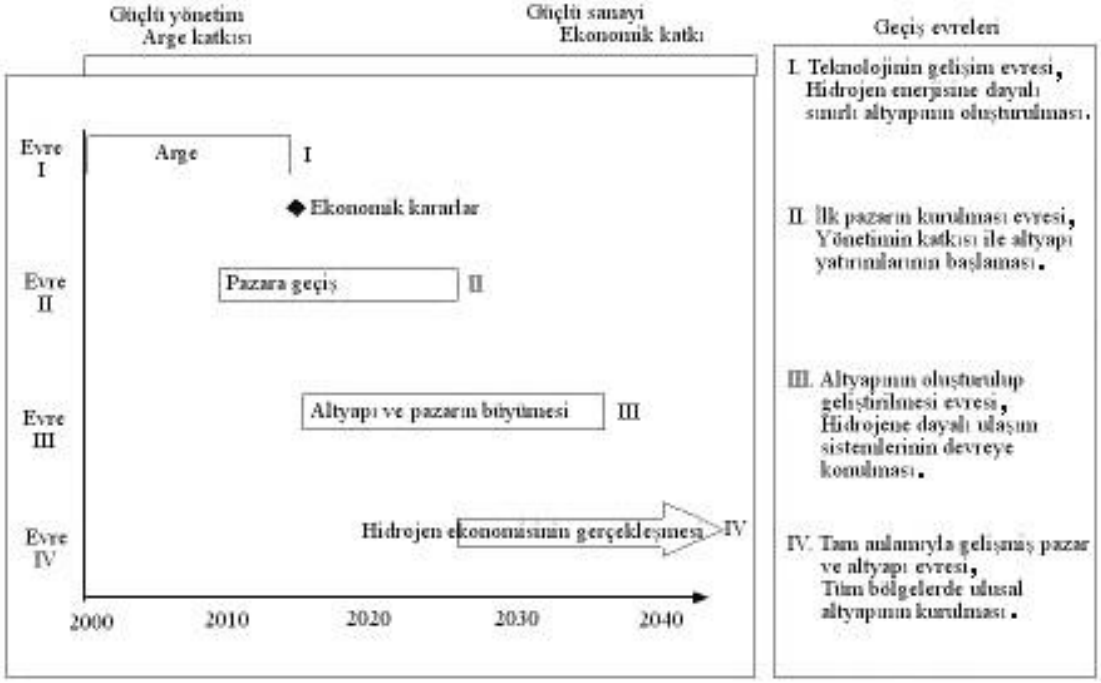
Geleceğe yönelik planlama

Hidrojen enerjisine geçiş için henüz yeterli bir birikim ortaya konulamamıştır. Böyle bir kaynağın akılcı bir biçimde değerlendirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Yapılan çalışmalar da gözetildiğinde hidrojen enerjisine geçiş için çalışmaların bir plan içinde yürütülmesi gerektiği açıktır. Öngörülen planda, söz konusu çalışmalar dört evre halinde sunulmuştur (CEC SEAQ, 2005). Şekil 11'de bu evreler ve evrelerin geleceğe yönelik planlaması da görülmektedir.

İlk evre, ARGE çalışmalarına ayrılmış ve bu evrenin 2010 yılına kadar süreceği öngörülmektedir.

II. ve III. evreler, pazarın kurulması, geliştirilmesi ve altyapı çalışmalarını kapsamaktadır.

IV. ve son evre ise, öngörülen planlama gerçekleşirse, yaklaşık 2040 yılında hidrojen enerjisinin tam anlamıyla alternatif bir kaynak olarak pazarda yerini alacağını göstermektedir.



Şekil 11. Hidrojen enerjisi ekonomisine geçiş süreci (CEC SEAQ, 2005).

Dünyadaki petrol rezervlerinin aşırı kullanımı sonucu bu kaynakların azalması ve buna bağlı olarak petrol fiyatının artması, fosil yakıtların çevreye vermiş olduğu zararlar, bilim adamlarını doğada bol miktarda bulunan hidrojen gibi alternatif yakıtlar üzerinde araştırma yapmaya itmiştir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının çevreye verdiği zararların çok büyük boyutlara ulaşması ülkeleri bu konuda önlemler almaya itmiştir. Bunun için bilim adamlarına çevre dostu olan alternatif yakıtların araştırılması için destekler verilmiştir. Yapılan çalışmalar evrende bol miktarda bulunan hidrojenin, bir yakıt için gerekli özelliklerin birçoğuna sahip olduğunu göstermektedir.

Hidrojen, suyun ve temiz güç kaynağının olduğu her yerde potansiyel olarak mevcuttur. Diğer yakıt türlerine göre daha verimli yanmama özelliğine sahiptir. Hidrojen, karbon ve sülfür içermediği için yanma ürünleri arasında CO, CO_2 ve HC yoktur. Kuramsal olarak hidrojen yandığı zaman sadece su oluşur.

Öte yandan döngüsel ekonomide, çıkan yan ürün veya atık da değerlendirilmektedir. Örneğin metal hidrolizi ile hidrojen üretince, suyun oksijeni metal ile birleşip oksit olmaktadır. Örneğin alüminyum oksit de tekrar alüminyum üretiminde kullanılabilir. Bu süreç yine mükemmel döngüsel bir sistemdir. Çimento ve demir çelik gibi sanayi dallarının saldığı karbondioksiti yakalayıp temiz hidrojenle katalizörler yardımıyla kimyasal tepkimeye sokarsak, yapay gazdan metanole kadar çeşitli malzemeler üretebilir. Tüm bu ürünler kimya sanayinin ana girdileridir. Temiz hidrojen, amonyak olarak da depolanabilir. Amonyak, aynı zamanda gübre üretiminin ana maddesidir. Tüm ülkelerin hidrojenin peşinde koşmasının ana nedenleri, hidrojenin çok yönlü kullanılabilirliğidir https://m.star.com.tr/ekonomi/tum-ulkeler-pesinden-kosuyor-enerjide-cigir-acacak-haber-1644212/ (5 Ağustos 2021 Perşembe 11:22).

Dünya'da ve Türkiye'de hidrojen enerjisi ile ilgili darboğazlar

Bazı ülkelerde pratik uygulamalara geçilmiş olmasına ve yakın gelecek enerji politikalarına alınmış olmasına rağmen, hidrojen enerjisi halen araştırma ve geliştirme aşaması geçirmekte olan bir kaynaktır.

H enerjisinin yaygınlaşması yönünde karşılaşılan darboğazlar aşağıda sunulmuştur (Yılmaz 2009 ve içindeki kaynaklar):

- Hidrojenin yeni bir kaynak olarak görülmesi ve kabul edilmesi için gerekli kamuoyu desteği henüz yoktur. Bunun gerçekleşmemiş olması halen en temel sorunlardan biridir.
- ARGE'den uygulama aşamasında gerekli olan maddi kaynağın sağlanmasına kadarki aşamalarda devlet desteği yeterli değildir.
- Altyapı hizmetleri hemen hemen yok denecek kadar azdır.
- Üniversite ve diğer araştırma kurumlarında hidrojen enerjisi ile ilgili çalışmalara verilen destek yeterli değildir.
- Hidrojenin üretimi ve H kullanan araçların maliyetleri, günümüzde geleneksel enerjilerin üretimi ve bu enerjileri kullanan araçların maliyetine göre çok yüksektir.
- Depolaması kuramsal olarak çeşitli yöntemlerle mümkün olmakla birlikte kolay değildir ve bu işlemin de maliyeti yüksektir.
- Ülkemizde ne yazık ki hidrojen enerjisi ile ilgili yeterli bir yasal düzenleme de yoktur.

Bütün sorunlara karşın bazı ülkelerde hidrojen enerjisine geçiş başlamış bulunmaktadır. Türkiye'nin de özellikle Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin kurulması sayesinde sağlamış olduğu avantajlardan yararlanarak ARGE çalışmalarını teşvik etmesi ve hidrojen enerjisi konusuna çok daha fazla kaynak ayırması yararlı olacaktır.

Türkiye yerli kaynaklarını değerlendirirken hidrojenin de göz ardı edilmemesi gerekir. Avrupa'nın bir kez daha canlandırmaya çalıştığı hidrojen pazarında, Ülkemizin hem kendi deneyimlerini kullanarak hem de ihracat olanaklarını araştırarak çalışmalarına devam etmelidir. Hidrojen kaynaklarına dair stratejilerin temelinde, mevcut doğal gaz şebekesine hidrojenin de aktarılarak kullanılması mümkündür. Bu konuda pilot düzeyde uygulamalar vardır. Dolayısıyla, Türkiye'nin doğal gaz altyapısı geliştirilmeli ve Hidrojen için bu altyapıyı kullanmak, milli servetin korumasını da katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

AR, FF, 1998, Yakıt Hücreleri: Tarihsel Gelişim, Teknolojisi, Çeşitleri ve Dünyadaki Uygulamaları, EİE Yayını, Ankara.

CEC SEAQ, 2005, The Hydrogen Energy Economy: Subcommitee on Energy and Air Quality (SEAQ) Commitee on Energy and Commerce (CEC), U.S. House of Representatives, University Press of the Pacific Honolulu, Hawaii, 94s.

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.
Gürdilek, R., 2004, Hidrojen Ekonomisi: TÜBİTAK Bilim ve Teknik, sayı 442, s. 42-88.

http://www.hidrojenforumu.com/default.asp?go=haber&islem=detay&id=61
http://astandarts.com.tr/ http://emretarikprojeodevi.blogcu.com/
http://slideplayer.biz.tr/slide/3238425/
http://www.hidrojen.gen.tr/ http://www.delinetciler.org
http://www.dhe.com.tr/urunler/hidrojen-jeneratoru/
http://www.tubitak.gov.tr/btpd/platform/enerji/bolum67.html
https://m.star.com.tr/ekonomi/tum-ulkeler-pesinden-kosuyor-enerjide-cigir-acacak-haber-1644212/ (5 Ağustos 2021 Perşembe 11:22).

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.
Keçeciler, A., 2005 Temiz Enerji Uygulamaları – Yakıt Pili, Doğalgaz – Tesisat Klima Aylık Bilimsel Teknik Dergi, cilt 8, sayı 94, s. 45 – 53.
Sav, M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcutpotansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022
Türkiye Çevre Vakfı, 2006, Hidrojen Enerjisi: Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ankara, s.165-185.
www.new-ig.eu (NEW IG_Fuel Cell and Hydrogen technologies in Europe 2011 Financial and technology outlook on the Europian sector ambition 2014-2020).
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

Bölüm 5, ÇEVRENİN ZENGİNLİĞİ VE BÜYÜMENİN SINIRLARI

GENEL BİLGİLER

Tarih boyunca insanoğlu zenginliğe ulaşmayı ilke edinmiş ve kıtlıktan korkmuştur. Bu arada refah içinde olan ülkeler, diğer ülkelerin ulaşmak istedikleri hedef ve çoğunun rüyası olmuştur. Çağımız, nüfus ve refahı birlikte irdeleyen sınırsız bir büyümenin tanığıdır. Çoğu insan, günümüzde, tarihte herhangi bir zamanda olduğundan daha iyi beslenmektedir. Ortaya çıkan kimi sorunlar ise doğal kaynaklarının giderek artan yetersizliğinden kaynaklanmaktadır.

Doğal kaynaklar başlıca toprak, su, hava, mineral, orman, enerji ve diğer doğal kaynakların yanı sıra konaklama ve gıda gereksinimlerini de karşılayan tüm varlıkları içermektedir. Zengin bir kaynağın varlığı, kimi zaman savaşlara ve başka güçler tarafından bölgeye el koymaya da yol açmaktadır. Dolayısıyla doğal çevre de, egemen güçlerin ve kapitalizmin örselediği geri kalmış teknolojilerin kurbanı olmuştur. Oysa uygar çevrecilik, doğal kaynaklarının sağladığı gücü ve öncelikleri tüm insanlığın ortak yararları için kullanmayı ve doğaya saygılı olmayı gerektirir.

Bu bölümde, doğal kaynaklar ve ulusal zenginlik arasındaki ilişki incelenmektedir. Yapılan değerlendirmede ağırlıklı olarak Mather ve Chapman (1998) ile Yılmaz (2009)'dan yararlanılmıştır. Buna göre, çevrenin zenginliği, ya da doğal kaynaklarının zenginliği ile ekonomik açıdan büyüme arasındaki ilişkiye dikkat çekilmektedir. Bir ülkede çevrenin zenginliği, önceleri o ülkenin sahip olduğu kaynakların potansiyeli ile değerlendirilmekteydi. Ancak, nice zengin kaynakların üzerinde yaşayan sersefil toplumların varlığı, bu yaklaşımın çeşitli yönleriyle sorgulanmasına yol açmıştır.

DOĞAL KAYNAKLAR VE EKONOMİK GELİŞME

Genel olarak doğal kaynaklar açısından zengin olan bir ülkenin fakir bir ülkeden daha fazla bir refaha ve ekonomik gelişmeye ulaştığı umulmaktadır. Ayrıntılı olarak refah ve zenginliğin tanımı ve bu tanıma uygun en iyi ölçütlerinin neler olduğu tartışılabilir. Genellikle verimli, sulu arazi, geniş ormanları zengin mineral ve fosil kaynakları olan ve bu kaynakların iyi paylaşıldığı bir ülkenin fakir olan bir ülkeye göre daha yüksek bir refaha sahip olabileceği kabul edilmektedir. Ancak küresel bir bakışla günümüzde kaynakların varlığı ve ekonomik gelişme arasındaki ilişkilerin refahı belirleme konusunda yeterli olmadığı ortaya çıkmaktadır.

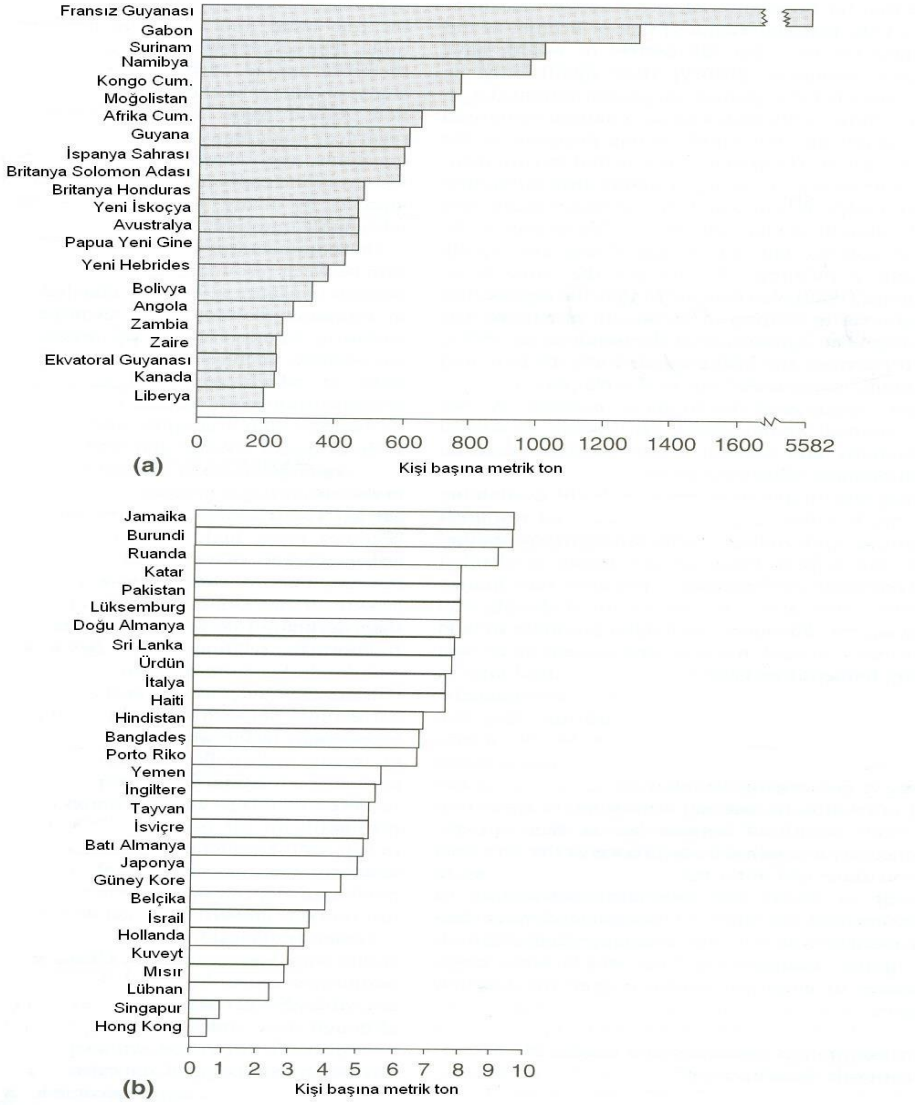
Örneğin sahip olduğu alanı küçük, nüfusu fazla ve kaynakları kıt olan Japonya, gayri safi milli hâsıla yönüyle eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nden ve Avustralya'dan daha yüksek düzeyde bir refaha sahiptir. Benzer şekilde Singapur ve Hong Kong'daki ekonomik gelişme düzeyi, Zaire ve Zambiya'dan daha yüksektir. Yani bir ülke, çevre kaynakları açısından zenginken, refah düzeyi düşük olabilir. Bu örnekler de ekonomik gelişme yalnız başına doğal kaynakların varlığına ve potansiyeline bağlı olmadığını göstermektedir (Mather ve Chapman, 1998; Yılmaz, 2009).

Ülkelerin zenginliği

Smith (1776), **Ülkelerin Zenginliği,** doğası ve nedenlerini sorgulayan eserinde doğal kaynaklar ile ekonomik gelişme arasındaki ilişkiyi de irdelemiştir. Smith'e göre zengin kaynakların varlığından çok, **işgücünün** nasıl değerlendirildiği önemlidir. Yani, kentlerin gelişmesinde arazi kaynaklarının varlığı önemli rol oynayabilir. Bu da uluslararası ticaretin, sanayileşmenin büyümesine yol açar. Dolayısıyla, doğal kaynaklar elbette önemlidir. Ancak, doğal kaynakların varlığı ve potansiyeli ekonomik büyümede belirleyici değildir. Örneğin, sanayileşmiş ülkeler, tarım ülkelerine göre daha ileri bir düzeye ulaşmışlardır. **Demek ki, önemli bir faktör de işgücünün nasıl kullanıldığı ile ilgilidir.** Özü itibariyle sanayileşmede ve tarımda iş bölümünün yani planlamanın olması belirleyicidir. Aynı konuda başka araştırmacılar da ekonomik büyümenin çalışmayı öğrenmekten geçtiğini belirtirler. Örneğin İngiltere

Fransa'ya göre daha yüksek bir ekonomik gelişmeye sahiptir. Oysa Fransa doğal kaynaklar açısından daha zengindir. İngiltere kaynak eksikliğini teknik gelişmelerle aşmıştır.

Sonuç olarak, Smith'e (1776) göre zenginliğin ana kaynağı arazinin büyüklüğünden çok **işgücünün kalitesidir.** Son yıllarda sorunu tanımlama yönünde çeşitli görüşler sunulmuş ve kaynakların önemi de vurgulanmıştır. Örneğin S.R. Eyre (1978) **Ülkelerin Gerçek Zenginliği** isimli eserinde, Smith'in döneminden beri nüfusun 10 kat daha arttığını, Dünya'nın diğer kesimlerinde ve İngiltere'deki koşulların oldukça farklı olduğunu, dolayısıyla geleneksel bakış biçimlerinin artık göz önüne alınamayacağını ileri sürmektedir. Eyre Dünya'daki **ülkelerin biyolojik üretimini ve mineral kaynaklarını, nüfus büyüklüğü** ile karşılaştırmaktadır. Örneğin Fransa Guyana'sı Gabon ve Surinam düşük nüfuslu ve biyolojik üretimi yüksek ve mineral kaynakları açısından zengin ülkelerdir. Hong Kong, Singapur gibi ülkeler ise nüfusu fazla, ancak düşük üretime sahiptir. Bu gruba Almanya, Hollanda, İsviçre ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler de girmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Ülkelerin biyolojik kaynak üretimi: Kişi başına biyolojik üretimin çok olduğu ülkeler (a), az olduğu ülkeler (b). Farklı ölçeklere dikkat edelim (Eyre, 1978'de kısmen değiştirilerek).

Eyre, tarih boyunca zenginliğin merkezinin değiştiğini ortaya koymuştur. Zambia'nın kişi başına düşen gelir açısından, zamanla İngiltere'den daha zengin olduğunu belirten Eyre, üretici ülkelerin doğal kaynaklar açısından zengin olan ülkelerden daha fazla güç kazandığını da ileri sürmektedir. Ona göre doğal kaynakların ulusal refah yönüyle önemi giderek azalmaktadır. Ayrıca, **işgücünün geçmişteki rolü de nüfusun hızlı artması nedeniyle giderek azalmaktadır**. Chisholm'a (1980) göre de kaynaklarının ulusların zenginliği ile olan ilişkisi azalmıştır. **Yani üretim, nüfus, gereksinimler, mineral kaynaklarının potansiyeli ve çeşitliliği gibi koşulları birlikte değerlendirmek gerekmektedir.**

Eyre'nin varsayımı birçok yeni sorunu da beraberinde getirmiştir. Bunlardan birincisi insanın biyolojik üretimi, mineral kaynaklarının varlığının ötesindeki gereksinimin de bir gerçeğidir. Zenginlik ve refah, ham kaynaklardan çok doğal kaynakların geniş bir yelpazede varlığıyla gerçekleşmektedir. Fiziksel çevrenin doğası önemlidir. İnsanın artı değer üretmesi sınırlandırıldığında doğal kaynakların ekonomik büyüme üzerindeki etkisi kaybolacaktır. Yani, ülkelerin gerçek zenginliği ile onların biyolojik üretimi ve mineral kaynaklarının bolluğu farklı olgulardır. **Sonuç olarak, ekonomik gelişmeyle doğal kaynaklar arasındaki ilişkiler, genellemelerden ve varsayımlardan sakınarak değerlendirmek gerekmektedir.**

Doğal kaynaklar ve ekonomik gelişmenin ilişkileri

Bir taraftan doğal kaynaklarının tanımlanması ve değerlendirilmesi, diğer taraftan ekonomik gelişmenin yer aldığı bir çerçevede bazı değerlendirmeler yapılabilir. Tümüyle sayısal analizlere dayalı değerlendirmeler sınırlıdır. Ayrıca, ticaret, alışveriş ve egemenliğin gözetilmesi gerekir. Doğal kaynaklar ve ekonomik gelişme arasındaki ilişki, birçok araştırmacı tarafından çeşitli yönleriyle incelenmiştir.

Bu sorunu inceleyenlerden biri Ginsburg (1957) olup, ona göre ekonomik gelişmede, kaynakların olması zorunluluğundan çok bu kaynaklara **kolaylıkla erişebilir olması** önemlidir. **Ulaşılabilirlik,** sermaye gereksinimiyle gerçekleşen ulaşım ve ithalatı da kapsar. Kaynakları değerlendirmede ulaşımın rolü önemlidir. Ekonomik gelişmenin ilk evrelerinde bir kaynak olarak ön sermayeye de gereksinim vardır. Fakat ülke ileri düzeyde gelişmişse ön sermayenin rolü azalır.

Diğer yorumcular zengin kaynakların rolünün ABD ve Avustralya'nın büyümesinde önemli olduğuna dikkat çekerler. Ancak daha sonra kaynakların varlığı giderek önemini yitirir. Özetle, zamana ve ekonomik gelişme düzeyine göre söz konusu ilişki değişmektedir (Yılmaz, 2009 ve içindeki kaynaklar).

Benzer çalışmalar, Chenery (1965) tarafından yapılmış ve dünya çapında gelir düzeylerinin, kaynak girişleriyle doğrudan ilişkilendirilemediği ortaya konulmuştur. Chenery'e göre doğal kaynaklar, gelir düzeyinin yükselmesinde daha az önemlidir. Düşük gelirli ülkelerde, zengin kaynakların ihracat açısından büyük bir önemi olabilir. Kaynak üretimi, gelişmiş ülkelerde ihracat açısından büyük bir pay oluşturur. Gıda ve diğer kaynakların ihracatı geçmişte yeterli sermayenin birikmesi ve ülkenin gelişmesine katkıda bulunmuş olabilir. Ne var ki, çoğu düşük gelirli ülkeler gelişmiş ülkelerde pazar kurmakta ciddi sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Çünkü çoğu gelişmiş ülkelerde özellikle gıda sektöründe farklı siyasi politikalar izlenmektedir.

Auty (1993), son zamanlarda zengin kaynak varlığının düşük ve orta gelir düzeyli ülkeler için yararlı olabileceğini belirtmiştir. Auty, mineral kaynakları açısından zengin gelişmiş ülkelerin durumunun, daha az kaynaklara sahip ülkelere göre daha da kötüye gittiğini ileri sürmüş (Çizelge 1) ve buradan da **kaynak**

krizi isimli tezini geliştirmiştir. Buna göre, mineral gelirlerinin hızlı bir şekilde akışı ekonomik sonuçlara yansımaktadır. Bu da uluslararası düzeyde tarım ve üretimde rakipsiz olmayı sağlar. Aynı zamanda yabancı ülkelerde yapılan madencilik faaliyetleri çeşitli bağlantılar oluşturur ve bu da ülke ekonomisi için yarar sağlar.

Ekonomik gelişme ve doğal kaynaklar arasındaki ilişkiyi inceleyen çoğu çalışmalar, fosil yakıtlar, mineraller ve diğer fiziksel kaynaklar üzerinde yoğunlaşmıştır. Karşılaştırmada bazı kaynakların rolü ihmal edilmiştir. Son 20 yılda iklim, dağlık alanlar ve kıyılar da ekonomik büyüme ile ilişkilendirilmiştir. Fiziksel kaynaklarca fakir alanlar olmasına rağmen, çevresel açıdan uygun alanlara yerleşmeye farklı açılardan da bakılmaktadır. Örneğin, Kaliforniya ve Florida'nın iklimi, Iowa'nın verimli toprakları, insanların bu bölgelere yönelmesinde önemli rol oynamıştır.

Çizelge 1. Doğal kaynaklar açısından zengin ve diğer gelişmiş ülkelerde ekonomik büyüme oranları (Auty, 1993).

	Hammadde ihracatçıları		Petrol ihracatçıları		Diğer orta gelirli ülkeler		Diğer düşük gelirli ülkeler	
	1960-71	1971-83	1960-71	1971-83	1960-71	1971-83	1960-71	1971-83
Kişi başına ortalama yıllık büyüme	2.5	-1.0	2.9	1.9	3.7	2.0	1.3	0.7
Ülkelerin sayısı	10	10	10	10	29	29	20	20

Böyle sahalarda kentsel büyüme ile beraber şehrin eski olmasının kırsal kesim üzerindeki etkisi vardır. Yerel kaynaklar için yeni istekler ortaya çıkar ve artan gereksinim fiziksel kaynaklara yansır. İyi gelişmiş zengin alanlar her zaman fiziksel kaynaklara ya da gereçlere sahip değildir. Su kaynakları ve kuru iklim arasındaki ters ilişki bir örnek olarak gösterilir. Daha geniş bir ölçekte henüz fakir olan ve diğer gereçlerin yer aldığı bölgelerde dağların öneminin olumlu olduğu belirtilmiştir. Dağlar, fiziksel kaynaklarla beraber getirisi olan diğer kaynakları da temsil etmektedir.

Akdeniz kıyılarının bir bölümündeki iyi arazi kaynakları turizme dayalı ekonomik büyüme için bir ortam sağlamaktadır. Aynı şekilde Batı Avrupa'daki kömür yatakları 19. yy.'da hızlı bir endüstriyel büyüme için ortam oluşturmuştur. Ancak, eski endüstriyel alanlarda olduğu gibi bazı alanlarda da fakirleşme olmuştur. Yani, arazi kaynakları da (geçmişte enerji ve mineral kaynaklarına benzer şekilde) ekonomik gelişme üzerinde etkilidir.

Sonuç olarak, ekonomik gelişme ile kaynak zenginliği arasındaki ilişkinin karmaşık bir doğaya sahip olduğu söylenebilir. Yani, kaynak zenginliği ile ekonomik gelişme arasındaki ilişki küresel ölçekte yeterince açık değildir. Kaynaklar açısından zengin ve fakir ülkelerin tümü kişi başına gayri safi milli hâsıla hususunda da zengin ve fakir sınıfında yer almamaktadır. Bu ilişki, ekonomik gelişmenin düzeyi ile kaynakların türüne bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak kaynak zenginliğinin ekonomi üzerindeki etkisi giderek zayıflamaktadır.

Kaynakların giderek azalan ekonomik önemi Gereçler Çağı'nın ötesi?

Daha önce kişi başına büyüme ve bağıl olarak tüketilen enerji miktarının çoğu gelişmiş ülkelerde giderek düştüğü gerçeğine dikkat çekilmişti. Gelişmenin ilk evrelerinde enerji çok fazla tüketilmekte, daha sonra gelişmeye koşut olarak enerji tüketim miktarı azalmaktadır. Bu ilişki birçok faktörlere bağlı

olarak değişmektedir. Örneğin sanayi yapısının verimli değişmesi, değişen ekonomik yapı ve hizmet sektöründeki çalışmaların üretim sanayilerinden daha fazla gelişmesi gibi faktörler bunların bazılarıdır. Büyük oranda enerji sağlanmasının ekonomik gelişme üzerindeki etkisi belirleyici olmayabilir.

Son yıllarda gelişmiş ülkelerde çeşitli temel kaynakların kullanımında benzer yönelimler ortaya atılmıştır. Örneğin ABD'de 1980'de kişi başına çelik tüketimi 1920'deki düzeye düşmüştür. Benzer olarak diğer kaynaklardaki üretim devam ettiği halde, kaynaklardaki tüketim azalmış ya da aynı düzeyde devam eder hale gelmiştir. Bu yönelimleri inceleyen Larson ve diğerleri (1986) gelişmiş ülkelerin bir dönüm noktasına ulaştığı sonucuna varmıştır. Yani, "**Gereçlerin Çağı" yerine, sanayi devriminde kaynakların verimli kullanımının ekonomik gelişmede önemli bir gösterge olduğu ileri sürülmüştür**. Larson ve diğerleri bu yönelimde üç nedenin altını çizmektedir. İlki bir kaynağın diğerinin yerine kullanılması olup bu da bir kaynağa yönelik gereksinimin büyümesini sınırlar. Diğeri, tasarım değişimleri ile ilgili olup gereçlerin verimli kullanımıyla ilgilidir. Üçüncü olarak "Gereçlerin Çağı"nda hızlı büyüyen pazarların doyma noktasına gelmesidir. Sonuç olarak yeni pazarlar göreceli olarak gereçlerin daha fazla kullanımına yönelmemektedir. Özetle, kaynaklarla ekonomik büyüme arasındaki ilişkiler giderek değişmektedir.

Yetersizlik ve Büyüme

Eyre, Chisholm ve diğer yorumcular 1970'lerde ve 1980'lerin başında kaynaklarla ekonomik gelişme arasındaki ilişkinin değiştiğini kabul etmektedir. Ancak, kaynakların giderek yetersiz hale geldiği de kabul edilmektedirler. Doğal olarak yetersizliğin, kaynakların kullanımıyla giderek büyüdüğü görülmektedir. Dolayısıyla yetersizliğin çeşitli türleri oluşabilir. Kaynakların yetersizliğinin doğası konusunda pek çok çalışma vardır.

Tartışmaya katılanlardan Barnett ve Morse'un (1963) **Yetersizlik ve Büyüme** konusundaki çalışmaları, artan kaynak yetersizliğinin ekonomik boyutunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada kaynakların genel olarak gelecek 25 yıl içerisinde tükenmeyeceği, fakat bazı minerallerin fiyatları konusundaki kaygılar ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, geleceğe yönelik olarak kaynakları değerlendirmek için bir araştırma fonu kurulmuş ve Barnet ve Morse bunun sorumluluğunu üstlenmiştir.

Yapılan değerlendirmelere göre kaynakların yetersizliği ortaya çıktıkça yetersizliğin birim fiyatlarına yansıması beklenir. Yani yetersizliğe koşut olarak gerçek birim fiyatlarının zaman içinde artması beklenmektedir. Ancak gerçek birim fiyatlarının zaman içinde azaldığı görülmektedir (Çizelge 2a). Hammadde sektöründe ise, ormancılık sektörü dışında bu varsayımı destekleyen veriler görülmemektedir (Çizelge 2b). Genellikle ABD'de kaynakların birim fiyatları, 19. yy.'ın sonundan itibaren günümüze kadar korunmuştur. Üretimin sürekliliği nedeniyle fiyatların düşmediği öngörülmektedir. Fiyatların düşmemesi orman ürünleri için de doğrudur. Ancak, mineral kaynakların göreli fiyatlarının düştüğü saptanmıştır. Oysa tarım ürünleri aynı düzeyde kalmıştır.

Çizelge 2. Gerçek birim fiyatları (a), Hammadde sektörüne göre gerçek birim fiyatları (b), (1929=100) (Barnet ve Morse, 1963).

	Çıkarılan toplam kaynaklar	Tarım	Mineraller	Ormancılık
(a)				
1870-1900	134	132	210	59
1919	122	114	164	106
1957	60	61	47	90

(b)										
1870-1900	99	97	154	37	1919	103	97	139	84	
1957				87			89		68	130

"Yetersizlik ve Büyümenin" yayınlanmasından 15 yıl sonra Barnet (1979) bu çalışmayı 1977'ye kadar yeniden gözden geçirmiş ve diğer ülkelerdeki durumu incelemiştir. Sonuç olarak giderek artan gerçek fiyatlara ilişkin yönelimlerin devam ettiği sonucuna varmıştır. Birkaç yıl sonra Hall ve Hall (1984), Barnet'in çalışmasını güncelleştirmiş ve artan yetersizliğin orman ürünlerinin yanı sıra enerjide de geçerli olduğu sonucuna varmıştır. Oysa artan ekonomik yetersizliğe ilişkin yönelim devam etmektedir. Örneğin Smith (1978) 1973 yılına kadar değişik kaynaklarda değişik zamanlardaki fiyat yönelimlerinde farklar olduğunu ve sadece bu verilere göre kaynak yetersizliği ile ilgili hükümlerin verilemeyeceği sonucuna varılmıştır. Yani, ne yazık ki tüm bu verilerin analizi ile genellemelere ulaşılamamaktadır.

Barnet ve Morse (1963), çevrenin kalitesini, yaşamın kalitesinden ayrı olarak değerlendirmeyi öngörmektedir. Hall ve Hall (1984) kaynakların fiyatı ile ilgili verilerin kamunun pazara müdahalesinden etkilendiğini ileri sürmektedir. Kaynakların akarsu ve atmosferi kirletmesiyle ortaya çıkan zararlar da vardır. Yetersizlik ve ekonomik büyüme ile ilgili tartışma, kaynakların giderek azalmasını geniş bir çerçevede özetler. Ancak, Barnet ve Morse kaynakların giderek azaldığına ilişkin herhangi kesin bir sonuca da varmamıştır. Ayrıca büyüme ile çevresel etkiler arasındaki ilişkiler giderek önem kazanmaktadır. Bu da çevresel hareketlerin gelişmesine yansıra nüfus artışı ve kaynakların tükenmesi ilişkileri de, gelecekte daha önemli bir sorun olacaktır.

KAYNAKLARIN AZALMASI VE BÜYÜMENİN SINIRLARI

Kaynakların bolluğundan çok yetersizliği tarih boyunca daima tartışılmıştır. İnsanlığın eşi görülmemiş bir bolluk içinde yaşadığı geçen iki yüzyıllık zaman boyunca, kaynakların bir gün azalabileceğinin tahmin edilmesi de kolay olmamıştır. Malthus'u izleyen son 10 yılda geleceği öngören özel ayrıntılar hakkında pek çok çalışma sunulmuştur. Bu çalışmalardan bazıları özel konularla ve sektörlerle sınırlı iken, bazıları da gıdaların temini ve yaşam koşullarının sorunlarını yansıtır.

Örneğin, 19. yy.'ın ortalarında Jevons (1866) kömürün sınırlı olmasının İngiltere'de endüstriyel büyümeyi engelleyeceğini düşünmüştür. İngilizlerin büyüme eğilimleri, geçmişte de sayısız faktör tarafından etkilenmiştir. Ancak kömürün azalması bu sayılan örnekler arasında yer almamıştır. Benzer şekilde yüzyılın sonunda, azot kaynaklarının yani gübrenin besin üretiminde etkili olabileceğini vurgulamıştır. Kaynaklar, teknolojik değişimin önemsenmediği ve gereçlerin basit bir stok olarak var olması durumunda da tanımlanabilmektedir. Bu tür öngörülerin benzerleri son 10 yılda artarak devam etmiştir. Bunlardan en önemlileri **Yaşam İçin Mavi Proje** ve **Büyümenin Sınırları**'dır. Aynı tür bir çalışma da 1970'lerde çevresel hareketlerin son evrelerinde Başkan Jimmy Carter tarafından yaptırılan bir çalışma olup, bu da **Global 2000'** dir (Barney, 1980).

Yaşam İçin Mavi Proje

1972'de Ekoloji dergisi, **Yaşam İçin Mavi Proje** adlı bir çalışma yayımlandı. Daha sonra yayınlanan diğer kitaplarda, **Mavi Proje** konusunda çevresel kaynakların küresel kullanımında bilim adamlarının çağdaş anlayışları irdelenmiştir. "Mavi Proje", Eyre'yi de içine alan bir grup seçkin İngiliz bilim adamlarının görüşlerini yansıtır. Onların görüşlerine göre; günümüzdeki eğilimlerin devam etmesi durumunda, 20.yüzyılın sonunda güvenliğin bozulması, gezegen üzerinde yaşamımızı destekleyen sistemlerin bozulması çocuklarımızın yaşantılarını etkileyecektir (Goldsmith ve diğerleri, 1972). Bu yorumcular, yetkililerin yüz yüze olduğu gerçekleri kabul etmediğini ve etkili önlemlerin alınmadığını ön görmüşlerdir. Bununla birlikte, çevresel mirasın sağlanmasında gerekli köklü sosyal değişime ilişkin bir programın ve "yaşamın yeni felsefesi"nin ne olacağı irdelenmeye başlanmıştır.

Çağdaş eğilimlerden biri olan **Mavi Proje** olup, bu da metallere dayandırılan bir değerlendirilmedir. Araştırmacılar 16 metal üzerinde yaptıkları çalışmaya göre günümüzde devam eden üretim sürdürülürse bu metallerin 10'unun rezervi 100 yıl içinde tükenecektir. Ama bunlardan ikisi, 1960'dan beri devam eden işletme oranları sürdürülürse varlığını korur. Daha önce yapılan birçok tahminde olduğu gibi bu tahmin de gerçekleşmemiştir. Örneğin, 1960'lardaki tüketimin büyüme oranı korunamamış ve yeni maden cevheri aramalarına gidilerek yeni kaynaklar da bulunmuştur.

Birçok çalışmada olduğu gibi Mavi Proje, radikal sosyal değişimi savunmuştur. Projenin temel amacı; kaynakların potansiyeline göre, nüfusu ve gereksinimi önceden belirlemektir. Bunu başarmanın en uygun yolu, bilinçli sosyal bir çevrenin yaratılmasıdır. Böyle bir çevrenin yaratılmasında yeni bir merkez kurmaya gereksinim vardır. Ayrıca, okul ve hastane gibi hizmetler için sorumluluklar üstlenen bireylerin evlerine yakın yerlerde çalışması ve dolayısıyla kendi kendine yeten bir toplum yaratmak gerekmektedir.

Aynı zamanda kuvvetli bir etki bırakan "Mavi Proje"den kuşku edilmezken, bunun uzun süreli etkilerini kestirmek güçtür. Bununla birlikte, bu çalışmalar, yaşam standardını ve sosyal yapının sorgulanmasını daha fazla teşvik etmiştir. Bu arada, minerallerin yanı sıra daha başka temel ürünlerin araştırılması gibi teknik konulara da girişilmiştir. Sunulan mesajların bazıları, çeşitli bilim adamları (özellikle biyologlar) tarafından verilmiştir.

Büyümenin Sınırları

Roma kulübü 1968 yılında kurulmuştur. Bu kulübün kuruluş amacı Yerküre'nin ve insanlığın geleceği üzerinde öngörülerde bulunmaktı. Amaca yönelik olarak tasarlanan çalışma MIT' de bilgisayar ve sistem kuramcısı olan Prof. Dr. J. W. Forrester'e önerilmiştir. O da henüz doktora öğrencisi olan Dennis Meadows'u görevlendirdi. Üç yıl sonra rapor, Meadows'un yönettiği bir araştırma grubu tarafından kamuoyuna sunuldu. Bu dönemi izleyen evrede, çağdaş dünyanın sınırlarının neler olabileceği tartışılmakta idi (McCutcheon, 1979).

Meadows ve diğerleri (1972), kuşkusuz "Mavi Proje"nin yazarları tarafından ortaya konulan verilerin bilgisayar ortamında değerlendirilip bir modele dönüştürülmesinden etkilenmiş ve **Büyümenin Sınırları** (LTG) konulu çalışmada başlıca beş küresel değişkeni gözden geçirmiştir (Şekil, 2): **nüfus artışı, sanayi üretimi, gıda üretimi, yenilenemeyen kaynakların stoku** ve **çevre kirliliği düzeyi.** Ana konu, geleneksel büyüme ve büyümenin kötü etkileridir. Gelişmiş bilgisayar modelleri yardımıyla, bu değişkenlerin birbirlerini etkilediği de ortaya konulmuştur.

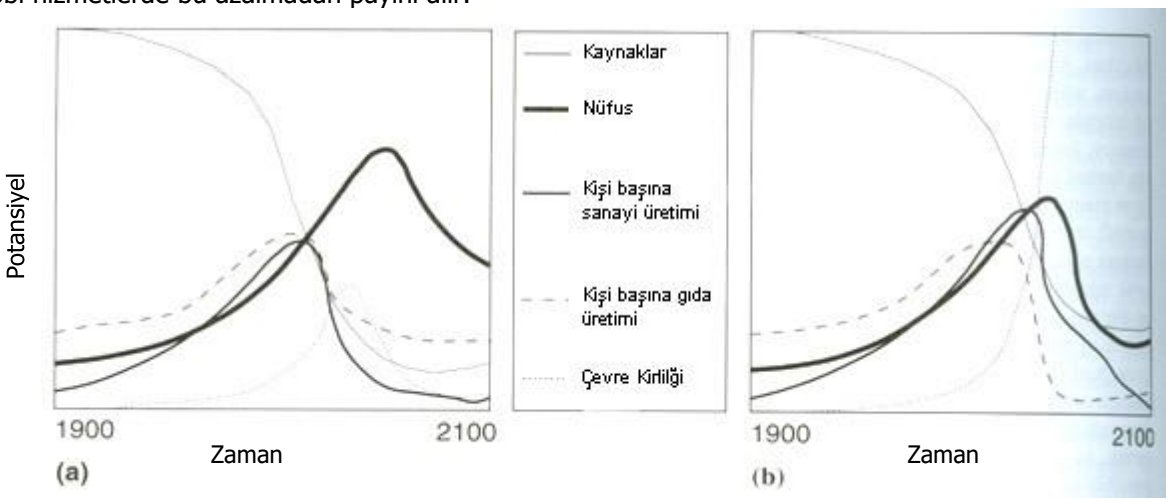
Şekil 2a'da görülen standart dünya modeline göre, günümüzdeki eğilimler devam ederse, sanayi üretimi sürekli olarak büyür (besin üretimi ve nüfus), ancak sanayi üretim kaynaklarının hızlı bir şekilde azalması gündeme gelir. Sanayileşmede zirveye ulaşıldıktan sonraki dönemde nüfus ve kirlilik devam eder. Nüfus büyümesi besinlerin azalmasıyla birlikte durur. En önemli sorun, yenilenemeyen kaynakların azalmasıdır. Ancak, kaynakların miktarı iki katına çıkarsa da benzer sonuçlar er geç yine oluşur (Şekil 2b). Nüfus artışı meydana gelmişse sanayileşme daha ileri bir düzeye erişir. Nüfusun artmasıyla ve besinlerin azalmasıyla birlikte ölüm oranları artar ve hızlı bir nüfus azalması izlenir. Diğer çalışmaların mekanizmaları farklı olsa bile nihai sonuçları aynıdır. Dolayısıyla, 'Dengeli Dünya Modeli' (Şekil 2c) çerçevesinde, öngörülen değişkenlerin denetlenerek izlenmesi gerekmektedir.

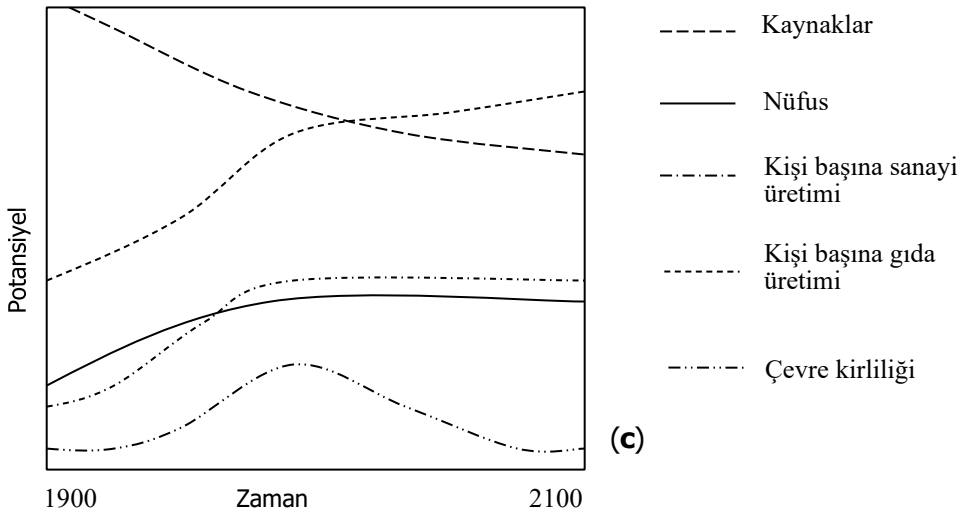
"**Mavi Proje**" gibi "**Büyümenin Sınırları**" (LTG) da nüfus artışındaki değişimlere bağlı olarak bir ekonomik büyümeyi öngörür. Bu çalışmalardan yola çıkarak pek çok eleştiri yapılmıştır. Eleştirilerin bazıları acı ve basit sorgulamalardan ibarettir. Ancak, Dünya dinamiklerinin yeterince gözetilmediği, yeterli veriler olmaksızın modellerin oluşturulduğu gibi eleştirilere de kısmen de olsa hak vermek gerekir. LTG birçok çalışmada tekrarlanmış ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca, LTG kendi çapında büyük bir etki yapmıştır.

Sınırların Ötesinde

"Büyümenin Sınırları", uluslararası düzeyde en çok satılan bir eser olarak yayımlanmıştır. "Sınırların Ötesinde" isimli eser Büyümenin Sınırları' nda yer alan dört yazardan üçü tarafından yazılmıştır (Meadows ve diğerleri, 1992). Üç yazar, daha önceki kitaplarında ortaya koyduğu bilgisayar modellemesini yeniden değerlendirmişlerdir. Özde bu sonuçlar birbirine benzerdir. Sonuç olarak kirlilik akışının da giderek büyüyeceği sonucuna varılmıştır. Eğer kaynaklar ve enerji akışı yeterli olmazsa, gelecek on yılda kişi başına besin üretiminde, enerji kullanımında ve endüstriyel büyümede ciddi sorunlar yaşanacaktır.

Yapılan değerlendirmelere göre 2000 yılından sonra kirlilik, arazi verimliliğinde ciddi bir tehdit olmaya başlar. 2015 yılından sonra ise besin üretiminde bir düşme yaşanacaktır. 21. yy.'ın ilk 20 yılında birçok yenilenemeyen kaynak tükenecektir. Kaynakların kullanılmasında daha fazla sermayeye ve enerjiye gereksinim duyulacaktır. Üretim düzeylerinin korunması için yenilenemeyen kaynaklara ve tarıma yapılan yatırımlar, gereksinime göre saptanmalıdır. Endüstriyel sermaye ise giderek azalacaktır. Bunun sonucunda endüstrileşmiş tarım da azalır. 21. yy.'ın ikinci yarısında, nüfus da, besin temini ve tıbbi hizmetlerde bu azalmadan payını alır.





Şekil 2. Büyümenin sınırları: a) Standart dünya modeli, b) Doğal kaynakların rezervi iki kat olarak artacağı kabul edilirse standart durum, c) Dengeli dünya modeli (Meadows ve diğerleri, 1972).

Meadows ve diğerleri (1992), senaryolarının bir tahminden ibaret olmadığını vurgulamaya özen göstermişler ve hala çeşitli önlemleri almanın olası olduğunu kabul etmektedirler. Bu çerçevede, **sürdürülebilirliğe geçiş** zorunludur. Dolayısıyla çağdaş yaşamda köklü değişikliklere de gereksinim vardır. Çevrenin taşıma kapasitesinin ötesinde her zaman bir kaos ortaya çıkabilir.

Global 2000

1977'de Sahel'de OPEC'in petrol ambargosunun etkilerinden ve meydana gelen yetersizliklerden sonra LTG' nin (Büyümenin Sınırları'nın) verdiği mesaja önemli bir destek ortaya çıktı. Başkan Jimmy Carter geleceğe yönelik politikalarını oluştururken **küresel nüfus, kaynaklar** ve **yüzyılın sonunda çevreye yönelik projeler** üzerinde yoğunlaştı. **Global 2000** olarak bilinen bu çalışmalar, uzun süre hükümetin planlama çalışmaları için bir temel olarak hizmet etti. Bu çalışmaların sonuçlarına göre 2000 yılında Dünya daha kalabalık, daha kirli ve ekolojisi bozulmuş bir gezegen olabilir (Barney, 1980). Gelecekte tarımsal alanlar, ormanlar ve su kaynaklarına olan gereksinim artacaktır. 2100 yılında Dünya nüfusu 30 milyar olduğunda, maksimum taşıma kapasitesi aşılabilir. Global 2000'in yazarları kehanetlerden çok, projelerin geleceği doğru bir biçimde öngörme hususunda çaba harcamışlardır. Elbette bu yazarların öngörüleri çağdaş politikalar devam ederse geçerli olabilir. Ancak onlar da, bu politikaların çoktan değişmeye başladığına dikkat çekmektedirler.

Sonuç olarak, gerekli önlemler zamanında alınmazsa, daha hızlı ve köklü değişime razı olmak gerekecektir. **Özellikle nüfus, kaynaklar ve çevre sorunları konusunda uluslararası iş birliği**
için gereksinim duyulabileceği vurgulanmıştır. Dünya'nın en gelişmiş ekonomisine sahip ABD'de küresel eğilimleri yansıtan politikaların oluşturacağı belirtilmektedir. Ama küresel sorunların ulusların "cömertçe ve haklı olarak" iş birliği yapmak suretiyle aşılabileceği belirtilmiştir.

"Mavi Proje" ve LTG gibi, Global 2000' de büyük bir etki yapmıştır. Bireysel ve özel ekipler tarafından önceden ulaşılmış sonuçlar, şimdi resmî belgelerde daha çok kullanılmaktadır. Her ne kadar yukarıda sunulan çalışmalardaki öngörüler gerçekleşmemiş ise de bu eserlerin çevre duyarlılığına olan katkıları da küçümsenemez.

Ayrıca, enerji tüketiminde büyüme ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerde yeni değişimler saptanmıştır. Gelişen Dünya'da kaynakların çoğunun tüketimi derecelendirilmiş ve azalmıştır. Ayrıca, gereçler çağının ötesinde olmasak bile kaynak kullanımının yeterli düzeyde olmasını sağlamak için bir kaynağın başka bir kaynağın yerine kullanılması mümkündür. Buna göre, kaynakların tükenmesi aniden gerçekleşmeyebilir. Çevresel sorunlara olan ilgi ise gelip geçici değildir. Ancak bu ilgi, besin, orman ve metaller gibi kaynakların yeterliliği konusunda az, küresel ekonominin desteklenmesi konusunda ise yüksek düzeydedir.

NÜFUS, TEKNOLOJİ VE ÇEVRE

Bilimin gelişmesi, özellikle teknolojideki gelişmeler Dünya'yı bir köy haline getirdi. Ayrıca bu gelişmeler ışığında nüfus artışı, teknolojinin yenilenmesi ve bunlara bağlı olarak oluşan çevre sorunları tanımlanabilmektedir. "Mavi Proje" ve LTG gibi çalışmalarda da çevre, nüfus büyümesi ve kaynakların potansiyeli arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Nüfus büyümesi, kaynak potansiyeli ve çevresel sorunlar arasındaki ilişkiler tartışmalı olmakla birlikte, kaynakların yetersizliği ile ilgili konular yapılan tartışmalara yön vermiştir.

Ehrlich (1968) **Nüfus Patlaması** isimli yayınında nüfusun önemini vurgulamıştır. Enerji ve mineral kaynakları üzerinde kişi başına gereksinimin karşılanmasında, kaynakların sınırlı olması nedeniyle, nüfus artışının denetim altına alınması gerekeceği düşünülmektedir. Buna ek olarak taşımacılığın artması, ulaşım ve yerleşmiş geleneklerin korunması ile nüfus büyümesi arasındaki ilişkiler de irdelenmiştir (Ehrlich ve Holdren, 1971). Sonuç olarak, nüfus artışının ancak doğal ekosistemlerin kapasitesi çerçevesinde olabileceği sonucuna varılmıştır.

Nüfus denetim politikaları, Malthus'dan beri doğal kaynaklar hakkında yazılan makalelerde ele alınmış ve 1970'li yılların başında bu konular daha çok tartışılmıştır. Ehrlich'e göre nüfusu denetim altına almak gerekli ise, zorlama ve baskı zorunludur. Ancak, baskıcı önlemlerle "**Sıfır Nüfus Büyümesi**" (ZPG) sağlanabilir.

Buna ek olarak kabullenilmiş ZPG politikalarının tümü sorgulanmıştır. Özellikle **"Cankurtaran Sandalı Ahlakı"** olarak isimlendirilmiş ilginç bir konu irdelenerek sorunlar tartışılmıştır. Bu senaryo, gelişmiş ve gelişen dünya arasındaki ilişkiyi ve küresel düzeyi değiştiren bir senaryodur. Sabit taşıma kapasiteli Dünya'da, hızlı nüfus artışı halinde gıda kaynakları gereksinimi ilerde karşılamayabilir. Nüfus denetiminde kimi yazarların savunduğu baskılar tümüyle şaşırtıcı değildir. Ancak kimi araştırmacıların gözünde, ne kadar çocuğun doğabileceğine, yani nüfus denetimine karar vermek güçtür.

1970' lerin başında tartışmanın en önemli odak noktası, nüfus ve teknolojinin çevresel sorunlar üzerindeki rolü olmuştur. Nüfustan çok teknolojiyi önemseyen tartışmalar da yapılmıştır. Buna göre ana sorun teknolojinin kendisidir. Yani yeni teknolojiler eski teknolojileri atık durumuna getirirken birçok yeni kaynakların kullanımına da yol açarak yeni çevresel sorunlar yaratmaktadır. Böylece doğal kaynaklardan yapay ürünler üretilmekte, bu da yapay zehirli atıkların artışına neden olacaktır.

Bu arada öncelikle teknoloji ile ekonomik gelişme arasındaki ilişki incelemeye değer. Teknolojik değişim süreci, piyasa ekonomilerinin işleyişini ve ilerlemesini sağlayan en önemli itici güçtür. Girişimci teknolojik yenilik sayesinde normalin üstünde kârın oluşumunu sağlar. Makinelerin giderek emeğin yerini alacak şekilde geliştirilmesi sermayenin yükselmesi ile sonuçlanır (Eşiyok, 2014).

Solow'un kullandığı üretim fonksiyonu: Q= F(K, L, t)'dır. Burada Q hasıla, K sermaye, L işgücü ve t ise zamanı temsil etmektedir. Üretim fonksiyonunda herhangi bir kayma teknolojik değişme olarak tanımlanmaktadır.

Üretim fonksiyonu ölçeğe göre sabit getiri ve nötr teknolojik değişme altında şu özel bir biçimi almaktadır. Q= A (t) f (K, L), burada A(t), zaman içindeki kaymanın kümülâtif etkisini ölçmektedir. Böyle bir noktada, sermaye birikimini etkileyen ögeler ile teknolojik gelişmeyi etkileyen ögeler birbirinden ayrılmaktadır (Eşiyok, 2014).

Daha sonra Ehrlich ve Commoner ekolleri birlikte çevresel etkilerle nüfus ve teknoloji arasındaki ilişkiyi tanımlanmıştır. Bu eşitliğe göre, **I=PAT**'dir. Bu eşitlikte **I** çevresel etkileri (ya da çevresel sorunları) temsil etmekte, **P** nüfus, **A** kişi başına tüketim (ya da gelir düzeyi), **T** de teknolojinin yenilenerek artışını temsil etmektedir. İki temel özellik bu ifadeyi karakterize eder. İlk temel özellik nüfusun artışının belirgin olumsuz etkisidir. Diğer önemli özellik ise çevrenin nüfus, kişi başına tüketim ve teknolojik gelişmelerden giderek artan bir biçimde olumsuz etkilenmesidir.

Sonuç olarak nüfus artışının kişi başına tüketimle birlikte ve teknolojik değişimin önemli olduğu kabul edilmektedir. Bu ifadenin kısa ve orta vadede geçerli olabileceği, ancak uzun zaman aralığına uyarlanamayacağı belirtilmektedir. Çevre kaynaklarının ulusların refahını etkilediği doğru ise, aynı şekilde çevrenin de bu refahtan etkilenebileceği kabul edilebilir.

Ne var ki, daha önceki yaklaşımlar, enerji ve diğer kaynakların kişi başına tüketimi azaltılırken ekonominin daha büyüdüğüne, dolayısıyla refahın sağlanabileceğine dikkat çekerler. Ayrıca ekonomi büyürken atıkların çevrede giderek artması, yeni önlemlerin alınmasını gerektirir. Bu önlemler de gelişmiş teknolojilerle beraber emisyonların azalması yönünde bilinçli bir çaba ile geliştirilebilir.

NÜFUS VE ÇEVRENİN TAŞIMA KAPASİTESİ

Çevre kaynakları potansiyeli gözetildiğinde **taşıma kapasitesi**, bir sistemin ya da ekosistemin bozulmadan nüfusta meydana gelen artışı kaldırma konusundaki en yüksek yeteneğidir. İnsan nüfusu açısından çevrenin taşıma kapasitesi, doğal bir çevrede barınabilen insan topluluğunun (yani nüfusun) en üst sınırını göstermektedir. Taşıma kapasitesini etkileyen başlıca faktörler aşağıda sunulmuştur:

1- Nüfusun hızlı artışı taşıma kapasitesini tehdit edebilir.
2- Kaynakların potansiyeli ve verimli kullanımı, bilim ve teknolojinin kaynakları değerlendirme üzerindeki katkısı olumlu kabul edilebilir.
3- Üretim miktarının, özellikle biyolojik üretimin fazla olması taşıma kapasitesini artırma yönünde olumlu kabul edilebilir.
4- Sosyoekonomik sistem ya da kaynakların yönetim biçimi, paylaşımın toplum yararına yapılması taşıma kapasitesini artırabilir.
5- Çevrenin yozlaşması (örneğin erozyon nedeniyle toprak kaybı) ve çevre kirliliği taşıma kapasitesini sınırlar (yani olumsuz olarak etkiler).

Davis (1991) nüfus ile kaynaklar arasındaki ilişkilerde ortaya çıkan iki önemli sorunu aydınlatmıştır. Bu sorunlar birbiri ile yakın ilişki içindedir. İlk sorun, nüfus ile kaynakları birlikte irdeleyen herhangi bir kuramın kültürel (geniş anlamda aletlerin yapılması, gereçleri değişimi, sosyal organizasyon gibi) değerleri önemsememesi halinde yetersiz kalmasıdır. İkinci sorun ise nüfus-kaynak ilişkilerine dayalı olarak gıdanın türü ve gıdanın yeterliliği konusunda belirmektedir. Davis'in öngördüğü gibi Dünya'nın hiçbir yerinin yeteri kadar gıdaya sahip olduğu söylenemez.

"Mavi Proje" ve "Büyümenin Sınırları"nın yazarları, biyolojik kavramlardan yola çıkarak taşıma kapasitesinin insanlara uyarlanabileceği görüşünü savunmuşlardır. Taşıma kapasitesinin çevrenin doğasına bağlı olduğu görüşü yaygın olup, nüfusun önemli bir baskı unsuru olduğu kabul edilmektedir. Dünya'da ekilebilir araziler sınırlıdır. Tıpkı diğer türler gibi insanlar da doğanın bir parçasıdır. Dolayısıyla insan nüfusu açısından da çevrenin taşıma kapasitesinin sınırlı olduğu kabul edilebilir.

Fakat insanlar tam anlamıyla eğer doğanın bir parçası değilse, diğer türler de doğanın bir parçası değildir. Engels'in de belirttiği gibi hayvanın en çok yapabildiği şey toplamaktır. İnsanın yapabildiği şey ise ayrıca üretmektir (Parsons, 1977). Bu temel farklılıklar kaynak kavramlarını ve bunların sınırlı taşıma kapasitesini gözden geçirmeyi gerektirmektedir. 1840'lı yılların başında Engels, bilimin en azından nüfus ile geliştiğini öngörmüştür. Bu çerçevede gıda üretimi de artmıştır. Ayrıca, Marx'a göre biyolojik faktörlerden çok, sosyal koşullar belirleyicidir. Yani taşıma kapasitesi, sadece aşırı nüfus artışı ve biyolojik terimlerle tanımlanamaz. Yoksulluk, açlık ve diğer sorunlar nüfustan çok çürümüş sosyoekonomik sistemden kaynaklanmaktadır.

"Yaşam İçin Mavi Proje"de belirtilen görüşlerin ardında biyologların çoğu, nüfusun biyolojik yasalarını ve taşıma kapasitesini insanların yanı sıra diğer türlere de genellenebileceği konusunda görüşler ortaya koymuştur. Nüfus artışı ve taşıma kapasitesine dayalı tartışma, bu konudaki alt yapının oluşmasında güçlü bir etkiye sahiptir. Çoğu biyologlar da doğal biyolojik yasaların insanlara uyarlanabileceğini kabul etmektedir. Diğer taraftan kimi sosyal bilimciler de biyolojik yasaları yeterince gerçekçi bulmamaktadır. Oysa bazı araştırmacılar, nüfus artışının kaynakların üzerinde, yani kaynakların

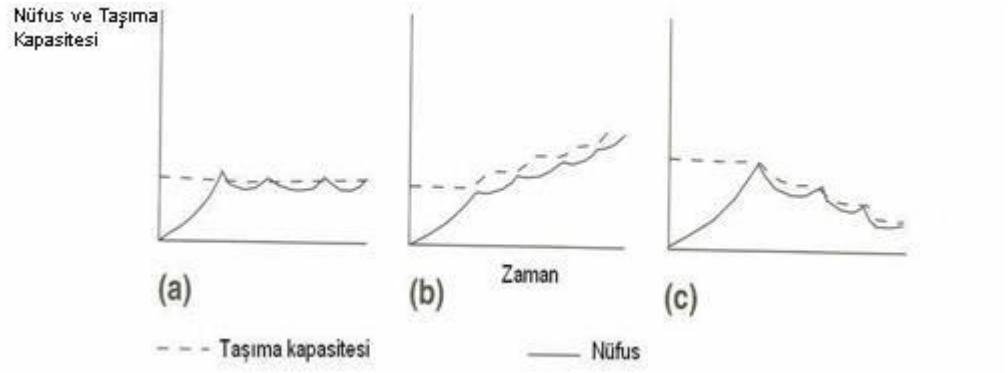
yaratılması konusunda olumlu bir etkiye neden olduğunu kabul etmektedir. Yani nüfus artarken, kaynaklar da artan nüfusun geniş çerçevede yeniden algılamasına koşut olarak artmaktadır.

Nihai Kaynak!

"**Nihai Kaynak"** görüşünü savunan yazarlardan en iyi bilineni Julian Simon'dur. Simon'a (1981) göre hammaddeler ve enerji giderek azalmakta, ancak nüfusun uzun bir zaman diliminde artması yararlı olmaktadır. Simon kitap başlığı olarak seçtiği "Nihai Kaynak" terimi ile "**insanın beyin gücü**" nü tanımlanmaktadır. Yani nihai kaynak, özü itibariyle **insan aklıdır**. Simon (1981) Nihai Kaynak adlı eserinde kaynaklar, nüfus ve çevre arasındaki ilişkileri yeniden sorgulanmıştır.

Nüfus büyümesi birçok kişi tarafından olumsuz algılanırken Simon (1981) tarafından olumlu olarak algılanmıştır. O, nüfus büyümesinin kısa süreli bazı sorunlara neden olacağını savunur. Ancak, nüfus büyümesi ile birlikte kaynaklar üzerindeki baskı, yeni kaynakların yaratılması ve yeniliklerin ötesinde insanın dinamik beyin gücünün ortaya çıkmasını sağlar. İnsanların çabaları ve tutumu belirleyicidir. Yani nüfus büyümesi kaynakların yaratılmasında dinamik güçlerden biri olarak kabul edilebilir. Diğer çalışmalarda da kanıtlandığı gibi **gereksinimler yeniliklerin anasıdır.** Teknik yenilikler olmadan önce, nüfus büyümesine gereksinim duyulur. Genel olarak, üretimdeki yeni yöntemlerin keşfi ve teknolojik gelişmelerin güvenli olması için geniş bir nüfusa gereksinim duyulduğu ileri sürülmektedir.

Nüfus ve taşıma kapasitesi ile ilgili Malthus ile Simon ve Boserup'un görüşleri, Şekil 3'te sunulan basit diyagramlarla özetlenebilir. Şekil 3a'da taşıma kapasitesi sabit ve nüfus artışı baskı altındadır. Şekil 3b'de taşıma kapasitesi daha esnek ve artan nüfusa göre şekillenir. Eğer kaynaklar kritik bölgenin ötesinde kullanılırsa ya da çevre bozulursa taşıma kapasitesi de azalabilir (Şekil 3c). Bu da kaçınılmaz olarak nüfusun azalmasına yol açar. Kaynakların giderek azalma eğilimini yansıtan bu seçeneğin, kaynak yönetiminin yeni biçimlerini teşvik edip etmeyeceği ve sonunda yeni kaynakların yaratılmasına neden olup olmayacağı kuşkuludur.



Şekil 3. Nüfus ve taşıma kapasitesindeki yönelimler: a) sabit taşıma kapasitesi; b) Nüfus baskısına yanıt vermede artan taşıma kapasitesi (teknik yenilik, yeni kaynak kavrayışı); c) Azalan taşıma kapasitesi (arazi bozulmasının sonucu olarak) (Mather ve Chapman, 1998).

Katı ve esnek sınırlar: Bazı varsayımlar

Malthus ve Boserup'ın varsayımları bazı durumlarda kabul edilebilir. Ancak, bu varsayımlar ne evrenseldir ne de kaçınılmazdır. Varsayımlarda gözetilen taşıma kapasitesinin basit bir görüş olmadığı bilinmelidir. Taşıma kapasitesi, özü itibarıyla biyolojik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım aynı zamanda değişik

tipteki ekonomiler için irdelenmelidir. Bugün kimi alanlardaki ekonomiler, kaynaklardan çok turizme dayanmaktadır. Yani yerel nüfus ve yerel kaynakların beslenmede kullanılması konu dışı olmaktadır. Dünya'nın birçok bölgesinde turizmden elde edilen gelirler kullanılarak besinler satın alınabilir. Ama taşıma kapasitesi görüşü insanlığın dikkatini çeken konulardan biri olarak kalmaya devam edecektir

Bilim ve teknoloji ile uluslararası ticaret ve dünya ekonomisi büyümüştür. Daha önce kabul edilen bazı öngörüler değişime uğramıştır. Ama nüfus büyümesi ya da nüfus baskısının dinamik bir güç olarak kabul edilmesi bazı öngörülerle örtüşmemektedir. İlerleyen bilime rağmen, büyük sorunları çözmek zordur. Ancak, eski Roma ve Yunanistan'da nüfus düzeyi ile bilimsel yenilikler karşılaştırılmış ve büyüme oranlarında, nüfustaki artışın ya da azalmanın ve bilimsel etkinliğin gelişmesi arasında bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Çağdaş ülkelerde benzer yaşam standartları ile bilimsel verimin nüfus büyüklüğü ile orantılı olduğu kanıtlanmıştır. Aynı şekilde, Amerika'da ve İsveç'te yapılan çalışmalarda da bilim ile nüfus arasında anlaşılabilir süreçlerin var olduğu belirtilmiştir (Simon, 1981).

Her ne kadar bu kanıtlar ve tartışmalar devam etmekte ise de nüfustan ileri gelen baskı, bazı koşullarda bilimsel yenilikler için itici bir güç olarak kabul edilebilir. Ancak nüfus artışının çevrenin taşıma kapasitesinin geçtiği yerlerde bu olgular yeniden tartışılabilir. Yani söz konusu nüfus, taşıma kapasitesi, bilim ve teknoloji arasındaki ilişkilerde bazı esnek sınırların olabileceği gözetilmelidir.

Avrupa'nın durumu

Birçok tartışma Ortaçağ Avrupası'nda ve nüfusun büyüklüğü üzerinde yoğunlaşmıştır. Avrupa'da 14. yy.'dan 19. yy.'a kadar hızlı bir nüfus büyümesinin olduğu kabul edilmektedir. Birçok tarihçi, Fransa nüfusunun ve Batı Avrupa bölgeleri nüfusunun arazi taşıma kapasitesi üzerinde baskı oluşturduğunu ve bu baskıların 1348'deki "**Siyah Ölüme**", yani açlıktan ileri gelen ölüme neden olduğunu ileri sürmüştür. Yani, 14 yy.'da nüfusun artmasının olasılıkla taşıma kapasitesinin sınırlarını zorlamaya başlaması son derece açık bir olgudur. İngiltere'de de nüfus 1550 ve 1820 yılları arasında dört kat artmıştır. Böyle bir durumda, besin konusunda kendi yeterlilikleri korunduğuna göre, tarımsal üretim de dört kat artmış olmalıdır.

Diğer taraftan Hollanda'da besin gereksinimi duyan hızlı bir nüfus büyümesi; mali ve ticari konuların gelişmesinde Orta ve Doğu Avrupa'daki yeni bölgelerde üretimin hızlı bir şekilde genişlemesinde ve dünya ekonomisinin büyümesinde yol gösterici olmuştur (Bogucka, 1978). Özetle Avrupa'daki nüfus büyümesinin önemli olduğu, ancak bunun tek belirleyici olmadığı kabul edilmektedir.

Birçok yazar, İndus Vadisi'ndeki Harappan Uygarlığı ve Orta Doğu'daki Mezopotamya'nın ovalarında boy vermiş eski birkaç uygarlığın yok olmasına çevresel sorunların neden olduğunu savunmaktadırlar. Çevresel sorunlarda nüfus azalmasında ya da artmasında bir uyarı işlevi görmektedirler. Bununla beraber nüfus azalmasının köklü çevresel dönüşümler ile ilişkilendirildiği bazı örnekler de vardır. Easter Adası, çevresel sorunların yarattığı toplumsal bir çöküş örneği olarak sunulmuştur. Bu model ışığında, gelecekte Dünya'nın nasıl şekilleneceği konusunda bir model de Dünya Adası modeli olarak sunulmuştur.

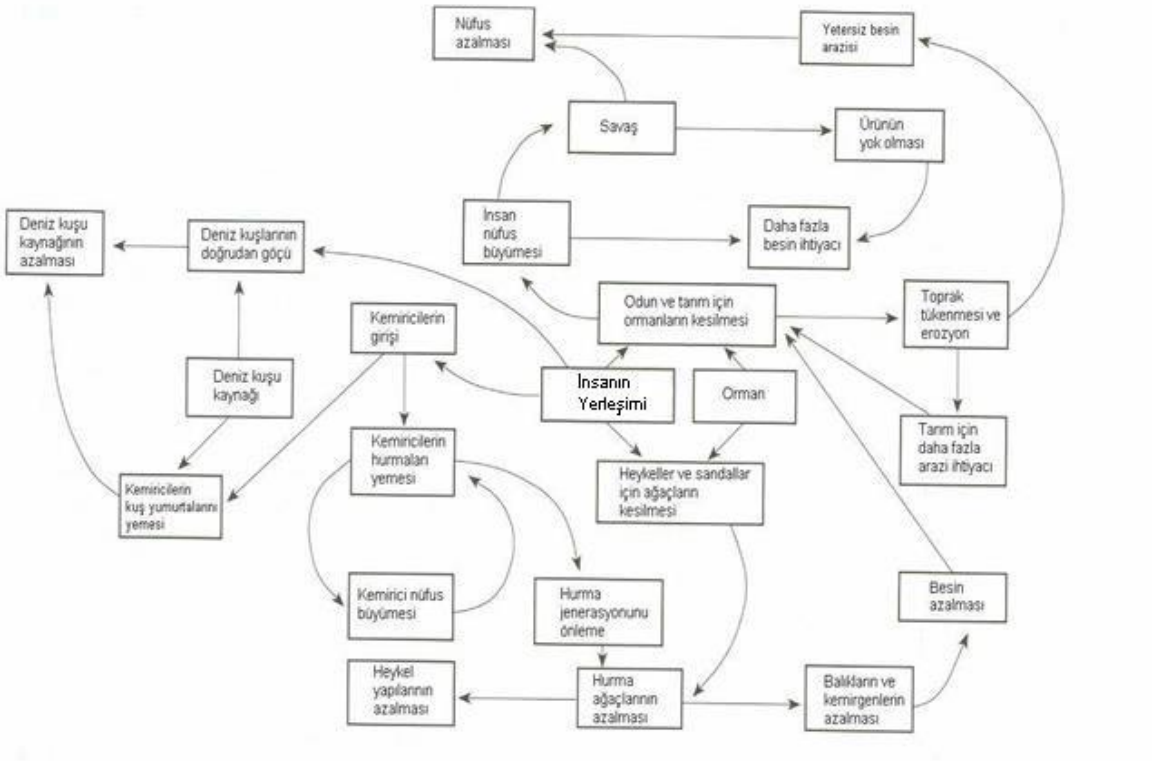
Easter Adası'nın durumu

Easter Adası, Dünya'nın en uzak bölgelerinden birisidir. Küçük bir ada olup yüzölçümü 200 km^2'den azdır. Bu ada Güney Amerika'nın batısında ve 3500 km uzaklığında Pasifik Okyanusu'nda yer almakta ve en yakın yerleşim bölgesine uzaklığı 2000 km'den fazladır. Avrupalı denizciler, 1722 yılında adayı ilk ziyaret ettiklerinde, kötü koşullara sahip ada içinde 3000'den fazla insan yaşamaktaydı ve birbirleriyle devamlı kavga halindeydiler.

Ada, boyu ortalama 6 m olan taş heykellerle donatılmıştı. Bu şekilde yapılan heykellerin gereksinim duyduğu teknolojiyi, bu sefil insanlar nasıl başarabilmiştir? Açıkça, 18. yy.'daki Easter Adası insanları, yalnızca heykellerden sorumlu bir toplumdu.

Yapılan arkeolojik çalışmalara göre, Easter Adası'ndaki ilk yerleşim izlerinin 14. yy.'a ait olduğu anlaşılmıştır. 1550'li yıllarda nüfus 7000 dolayında artmıştır. Ancak daha sonra bir azalma görülmüştür. Heykellerin çoğu terkedilmiştir. Avrupalı denizciler, adayı ilk ziyaret ettiklerinde nüfus oldukça azalmıştı. Bu çöküş, "Büyümenin Sınırları"nda belirtilen bazı sonuçlarla karşılaştırılabilir.

Ada, öncelikle heykellerin dikilmesi için ormansız hale getirilmiştir. Şehirlerin yapılanmasında kullanılan ağır taşların ağaç gövdeleriyle taşındığına inanılmaktadır. Çok sayıda heykelin dikilmesi uğruna büyük ormanlar yok edilmişti. Toprak, erozyon nedeniyle verimliliğini yitirmiş ve ürünlere yönelik üretim azalmıştır. Besin azalması ile yüz yüze kalınınca, insanlar yamyamlığa başlamıştır. Gıda yetersizliği, heykellerle beraber inanç sistemini ve toplumsal organizasyonu olumsuz etkilemiş ve ada sürekli savaşlara sahne olmuştur. Sonunda, söz konusu adada, sosyal dağılma ve nüfus azalması ortaya çıkmıştır. Şekil 4'de Easter Adası'sında göçler nedeniyle meydana gelen çevrenin bozulması ve nüfusun azalması ilişkiler görülmektedir. Sunulan şekilden nüfustaki azalmanın aşamaları bir ölçüde tahmin edilebilir. Böyle bir olguya neden olan etkilerin çözümlenmesi de mümkündür.



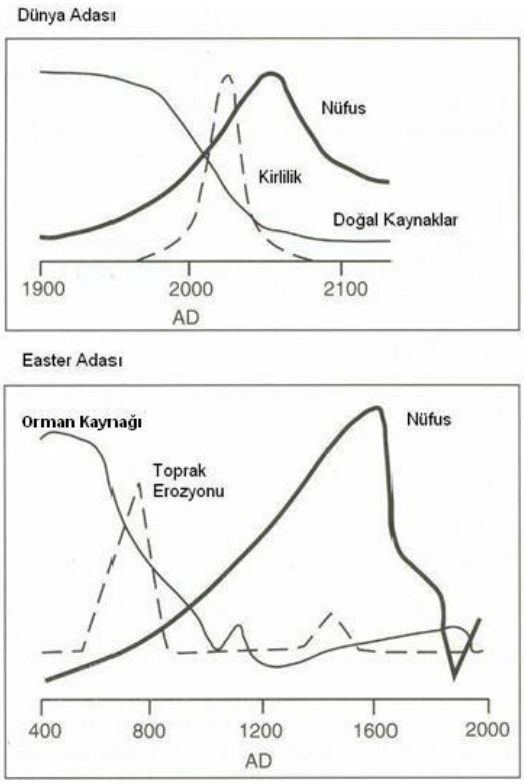
Şekil 4. Easter Adası: Göçler, çevrenin bozulması ve nüfusun azalması ilişkileri (Bahn ve Flenley, 1992).

Şekil 5'te ise Easter Adası ile Dünya Adası benzer bazı değişkenler aracılığı ile karşılaştırılmaktadır. Yani, Dünya'nın bir ada olarak kabul edilmesi durumunda, nüfus artışının, çevrenin taşıma kapasitesini aşması durumunda benzer süreçlerin yaşanabileceği ileri sürülmektedir. Gerçi, bu günkü teknoloji ile yaşamın olabileceği bir gök cismine ulaşmanın olanaksız olduğu bilinmektedir. Ancak, bir bütün olarak

ele alındığında, Dünya'nın Easter Adası'nın bir kopyası olarak görülmesi doğru mudur? Okyanusa ait küçük bir adada birkaç bin kişiden meydana gelen kapalı bir toplumdaki kurumsal yapı ve bilimsel gelişme düzeyi, 7-8 milyar nüfusa sahip Dünya'nın gelişme düzeyi ile karşılaştırılabilir mi? Ayrıca, günümüzde düzenli kaynak yönetimi daha bilinçle gerçekleştirilebilir. Diğer taraftan kaynakların göze çarpan bir hızla tüketilmemelerine dikkat edilebilir.

Nüfus ve taşıma kapasitesindeki yönelimler ve tanımlanan koşullar gözetildiğinde, Easter Adası, büyümenin sınırlarındaki çöküşü anlatmakta; toplumun ve nüfusun hızlı bir şekilde azalmasını doğruladığını onaylamak gerekmektedir. Ne var ki, kaynakların yönetiminde gerçekleşen yeniliklerin önemli olduğu da öngörülmekte ve bu kaynakların potansiyeli ile nüfus arasındaki ilişkiler değerlendirilebilir. Yukarıda Şekil 3'de görüldüğü gibi sonuç olarak öncelikle iki seçenek olasıdır:

Kaynakların sınırlı olduğu ve nüfusun denetlendiği seçenek (Şekil, 3a), ya da kaynakların artmasına koşut durumlarda, nüfusun da arttığı seçenek (Şekil, 3b). Günümüzdeki değerlendirmelerin genel olarak bu iki seçenek ışığında ele alındığı kabul edilmektedir.



Şekil 5. Dünya Adası'nda ve Easter Adası'nda büyümenin sınırları (Bahn ve Flenley, 1992).

Ancak, bazı durumlarda insan ve çevre koşulları çabuk değişmekte ve bu durumlardan olası başka yeni seçenekler de ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede insan ve çevre koşulları birlikte değerlendirilmelidir. Bazı çevre koşulları, duyarlı çevreler yaratabilir. Örneğin yüksek dağlar ve yarıkurak yerler duyarlı çevrelerdir. En azından böyle yerlerde çevrenin taşıma kapasitesi daha düşük olmaktadır. Çevrenin taşıma kapasitesinin düşük olması da nüfusun azalmasına yol açabilir. Şekil 3c'de böyle bir durumun yansıması izlenmektedir.

Duyarlı çevreler

Akdeniz'i çevreleyen dağlık ülkelerde, insan nüfusunun ormanlardan mahrum kalmasının yanı sıra, toprak erozyonunun egemen olmasıyla taşıma kapasitesinin azaldığı düşünülmektedir. McNeill'e göre dağlık bölgeler gibi duyarlı yerlerde nüfusun yarattığı baskı, ovalardaki nüfus baskısından daha fazla hissedilir. Ancak bir görüşe göre, nüfusun az olması da bir tehdittir. Nüfusun belli bir düzeyin altında olduğu durumlarda yetersiz işgücü meydana gelir. Bu da tarımsal çalışmaları etkileyip tarımdaki üretimin azalmasına yol açar. Buna bağlı olarak, toplumun etik değerleri giderek bozulup, bu da toplu göçe yol açar. Yani, nüfustaki azalma, nüfusun artması gibi bazı sorunlara yol açabilir. Nüfustaki azalmayla birlikte, artma da hızlı bir göçe yol açıyorsa potansiyel yenilikler yol gösterici olabilir.

Akdeniz'i çevreleyen dağlarda (diğer çoğu duyarlı bölgelerde olduğu gibi) dış koşulların değişmesi nedeniyle durum oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Sanayi devrimi ile birlikte Akdeniz çevresi ovaları, işgücü ve kaynakların sınırlaması konusunda Avrupa ekonomisinde önemli rol oynamaya başlamıştır. Daha önceki dengeler değişerek, kendi içinde "Pazar Bütünleşmesi" (Ortak Pazar) bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Bununla beraber kaynak üretimi dış taleplere göre giderek artmıştır. Ancak, daha kötü koşullarla yüzleşen yerel topluluklar, ileri derecede sömürü sürecine katılabilir (Coppola, 1978). Dış taleplerin değişmesi, nüfus ve taşıma kapasitesindeki değişimi de ciddi bir biçimde etkiler.

Bölgesel ya da küresel çöküş

Yeryüzünün kaynak potansiyeli, (kültürel ve teknolojik koşullar altında) çevresel duyarlılık açısından kimi yerlerde değişiklikler göstermektedir. Küresel çöküş, LTG modeli çerçevesinde bölgesel çöküşe göre daha az gerçekleşebilir. Çağımızda giderek artan ilişkiler çerçevesinde, bölgesel çöküşün olduğu yerlerde nasıl bir tepkinin çıktığı tartışılabilir. Gıda yardımının büyük ölçüde sağlandığı durumlar da vardır. Kısa süreli yardımlar, uzun süreli sorumlulukların kabul edildiği anlamına gelmemektedir. Kaynak baskısı ile ilgili diğer olası bir karışıklık, güç kullanarak yapılan çözümdür. Kitle halinde göç, kaynak savaşlarının bir biçimini yansıtır. Yerli halkla birlikte ortaya çıkan kimi çelişkiler bu bölgelerde yayılabilir. Kaynakların yenilenmesindeki yetersizliklerin Bangladeş'te, Afrika'da, Filipinler' de, ve hatta Amerika' da çeşitli sosyal sorunlara yol açtığı bilinmektedir.

Kaynakların yenilenememesindeki yetersizliklerle, şiddet ve kargaşa arasında önemli bazı ilişkiler olabileceği açıktır. Özellikle su kaynakları, Orta Doğu'da potansiyel bir sorundur. Gelişmekte olan ülkelerin çoğunda dini ve etnik sorunlar, çevre sorunlarını da tetikleyebilir. Örneğin gıda ve su gibi kaynakların dağılımı, Sudan'daki iç savaşın olmasında önemli bir rol oynamıştır (Thomas, 1992). Etnik ve dini çelişkiler, önemli ekolojik sorunlara yol açabilir. Ekolojik sorunlar da örneğin Kuzey Sudan'daki halkla güneydeki halk arasındaki ilişkilere yansımıştır (Suliman, 1993).

Nüfus artışı, küresel iklim değişikliği, biyo-çeşitliliğin azalması gibi küresel sorunlar gelecekteki yaşamı derinden etkileyecektir. Örneğin bu sorunların yol açacağı temel gıdalardaki yetersizlik, fakir bir halkın da kaynak savaşlarına kalkışabileceğini göstermektedir. Aynı şekilde petrol ve stratejik mineraller gibi kaynakların yetersizliği ile karşılaşan zengin ülkeler de benzer çatışmalara yol açabilir. Bu çelişkiler önce bölgesel çöküşe, sonra da küresel çöküş için bir zemin yaratabilir. Bu da olasılıkla kaynakların doğası itibariyle sosyal yönünün, çevrenin teknik yönünden daha yüksek bir baskı yarattığını da göstermektedir.

Son çeyrek yüzyılda kaynakların geleceği ile ilgili tartışmanın doğası, köklü olarak değişmiştir. Önemli kaynakların küresel yetersizliği, 1970'li yılların başındakinden daha fazla egemen olmaktadır. Fazla gıda, gelişmiş ülkelerin çoğunda sağlanabilir. Petrolün ve diğer kaynakların fiyatları tarihi bir çizgide şimdilik devam etmektedir. Çok büyük değişimler beklenmemektedir. Kaynakların yetersiz olmasından çok bolluğu görülmektedir. Bu da çevre kaynakları ile ilgili tüm kaygıların yersiz olduğu anlamına gelmez. Çevrenin estetik ve diğer değerlerinin yanı sıra çağdaş yaşamın ürünü atıklar da diğer bir sorun olarak

ortaya çıkmaktadır. Nüfus artışı ve kaynak tüketiminin bugünkü biçimiyle sürekli devam edemeyeceği açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak Dünya nüfusu ile kaynak gereksinimleri dengelenmelidir. Günümüzdeki kaynak kullanımının aynen sürdürülemeyeceği açıktır. Eğer günümüzdeki kullanım biçimi, uzun zaman devam ederse Dünya'daki insanların giderek fakirleşebileceği ve olasılıkla yok olabileceği gözetilmelidir. İnsanlar, kaynaklar ve çevre konusundaki tutumlarını gözden geçirmek ve yeni bir yaşam biçimine yönelmek zorundadır. Çözüm olarak, son yıllarda çevre kaynakları yönetiminde **sürdürülebilirlik kavramı** ortaya atılmıştır (Bu konu daha ayrıntılı olarak Bölüm 1.6'da ele alınmıştır). **Sürdürülebilirlik, nüfusa bağlı olarak, ekonomik değerlerle yani kaynaklarla çevrenin korunması arasında bir dengenin kurulabildiği yaşam biçimidir.** Günümüzde sürdürülebilirliğin kıyısında bulunuyoruz. Ancak, günümüzde devam eden durum, tarım ve sanayi devrimine göre daha büyük sorunlar da yaratabilir (Yılmaz, 2009).

Ne var ki, sürdürülebilir bir kalkınmanın alt yapısını oluşturmak için çevre kaynaklarının üretimi, değerlendirilmesi ve kullanımı süreçlerinde yoğun bir bilgi birikimine ve bu birikime uygun bir planlama yapma zorunluluğu vardır. Sürdürülebilirliliğin sağlanmasında yapılacak çalışmaların gerekliliği, yer seçimi, uygun proje seçenekleri, fayda / maliyet analizleri (yani ekonomik boyut) ve çevre duyarlılığı gibi hususları bir arada değerlendirmek gerekmektedir. Ancak, sürdürülebilirliliğin koşulları yeterince tanımlanmamıştır. Dünyanın geleceği, büyük ölçüde tarımsal üretime, enerji üretimine ve küresel iklim değişikliklerine karşı hazırlanan alt yapıya bağlıdır.

Ayrıca ulusal gelirin adil paylaşımı önemlidir. Örneğin, ulusal gelirin çok büyük bir bölümü küçük bir azınlığın elinde olursa ekonomi büyüse bile halkın yaşamında önemli bir değişim yaratmaz. Aslında, kişi başına ulusal gelir de çok belirleyici değildir. Örneğin Yunanistan'ın kişi başına ulusal geliri Türkiye'nin üç katıdır. Ama ülke felç oldu. Yani sayısal artışların ve yükselen grafiklerin üzerinde ne kadarı çarpıtma olduğu yazılmıyor. Ücretlerin ne kadar arttığı belirleyici değildir. Yaşam kalitesi, fiyat artışı ve ücretin artması arasındaki ilişkiye göre değerlendirilmektedir. Bu arada nüfus önemlidir. Örneğin, iki çocuklu bir ailenin üçüncü çocuğu olduğunda, iki odalı bir evden üç odalı bir eve sahip olması yaşam kalitesini değiştirmiyor. Yani sonuç olarak sürdürülebilirlilik çok yönlü bir konu olup, bazen konu çarpıtılarak sadece bir yalana dönüşmektedir.

Ekonomik değerlerin büyüklüğünden çok, bu ekonomik ilişkilerin gelişmekte olduğu yasal çerçeve, yani hukuk adil olduğunda sorunlar daha iyi çözülebilir. Adam Smith'in belirttiği gibi ekmeğimizi fırıncımızın, etimizi kasabın iyilikseverliğinde değil, onların da kendi çıkarlarını koruyabileceği adil bir düzende yaşamanın hedeflenmesi gerekir.

20. yy.'dan bu yana Dünya tarihinde görülmemiş bir servet birikimi vardır. Gerekli gereksiz her şey artmış bulunuyor. Böyle bir noktada Dünya ekonomisine bakıldığında, bu zenginlik içinde aç ve eğitime muhtaç çocukların bulunması kabul edilemez. Ayrıca bir yanda büyük bireysel servetler birikirken, diğer yanda çok sayıda insanın işsiz kalması da kabul edilemez. Günümüzdeki kavgalar, bilgi ile cahillik, yoksulluk ile orantısız zenginlik ve hoşgörü ile bağnazlık arasında sürmektedir. Dolayısıyla ekonominin ve adil hukukun ilkelerini iyi bilen, kalbi para için değil, halkın iyiliği için çarpan hoşgörü sahibi politikacılara gereksinim vardır.

İnsanlığın tarihinde üç önemli devrim vardır. Bunlarda birincisi tarım devrimi olup binlerce yıl sürmüştür. İkinci devrim sanayi devrimi olup bu da yüzlerce yıl sürmüştür. Üçüncü ve en önemli devrim ise sürdürülebilir yaşam devrimi olacaktır. Ancak bu devrimi gerçekleştirebilmek için son derece sınırlı bir zaman vardır.

KAYNAKLAR

Auty, R.M., 1993, Sustaining development in mineral economies: the resources curse thesis. London: Routledge.

Bahn, P. ve Flenley, V., 1992, Easter Island, Earth Island. London: Thames and Hudson.

Barney, G.O., 1980, The Global 2000 report to the President of the U.S., New York: Pergamon.

Barnett, H.J. ve Morse, C., 1963, Scarcity and growth: the economics of natural resource availability. Baltimore: Johns Hopkins Press for Resources for the Future.

Barnett, H.J., 1979, Scarcity and growth revisited. In Smith, V.K. (ed) Scarcity and growth reconsidered. Baltimore and London: Johns Hopkins Press for Resources for the Future: s. 163217.

Bogucka, M., 1978, Northern European commerce as a solution to resource shortage in the 16th-18th countries. In Maczak, A. ve Parker, W.N. (eds) Natural resources in European history. Washington DC: Resources fort he Future, s. 9-42.

Chenery, H.B., 1965, Land: the effects of resources for economic growth. In Berill, K. (ed.) Economic development with special reference to East Asia. London: Macmillan, pp. 19-52.

Chisholm, M., 1980, The real wealth of nations. Transactions of the Institute of British Geographers, 5, 255-76.

Coppola, P., 1978, Natural resources and economic development in the Mediterranean Basin. In Maczak, A. and Puler, W.N. (eds) Natural resources in European history. Washington DC: Resources fort he Future, s. 205-220.

Davis, D.W., 1991, Oil in the northern Gulf of Mexico, In Smith, H.D., and Vallega, A. (eds). The development of integrated sea-use management. London: Routhledge, s. 139-152.

Eyre, S.R., 1978, The real wealth of nations. London: Arnold.

Ehrlich, P., 1968, The population bomb: Population control or race ablivion. New York: Ballantine.

Ehrlich, P.H. ve Holdren, J.R., 1971, The impact of population growth. Science. 171, 1212-1217.

Eşiyok, B. A., 2014, İktisat kuramları çerçevesinde teknolojiye panoramik bir bakış, CBT (Cumhuriyet Bilim Teknoloji, no. 1437, 3 Ekim 2014, s.8-9.

Ginsburg, N., 1957, Natural resources and economic development. Annals, Association of American Geographers, 47, 197-212.

Goldsmith, E., Allen, R., Allby, M., Davol, J. ve Lawrance, S. (editors of the Ecologist), 1972, Blueprint for survival. Harmondsmith: Penguin.

Hall, D.C. ve Hall, V.V., 1984, Concepts and measures of natural resource scarcity, with a summary of recent trends. Journal of Environmental Economics and Management, 11, 363-79.

Jevons, W.S., 1886, The coal question: an inquiry concerning the progress of the nation and the probable exhaustion of our coal mines. London: Macmillan.

Larson, E.D., Ross, M.H. ve William, R.H., 1986, Beyond the era of materials. Scientific American, 254, 24-31.

Mather, A.S. ve Chapman, K., 1998, Environmental Resources. Addison Wesley Longman Singapore Pte Ltd., 279s.

McCutcheon, R., 1979, Limits of modern world. London: Butterworth.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. ve Behrens III, W.W., (1972, Limits to growth. London: Pan.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., ve Randers, J., 1992, Beyond the limits. London: Earthscan.

Nordhaus, W.D., 1973, World dynamics: assesment with-out data. Economic Journal, 83,1156-83.

Parsons, H.L. (ed), 1977, Marx and Engels on ecology. Westport, Connecticut: Greenwood.

Simon, J.L., 1981, The Ultimate resource, Oxford, Martin Robertson.

Smith, A., 1776, The wealth of nations (1970 edn). hormondsworth: Penguin

Smith, V.K., 1978, Measuring natural resources scarcity: theory and practice. Journal of Environmental Economics and Management, 5, 150-71.

Suliman, M., 1993, Civil war in the Sudan: from ethnic to ecological conflict. The Ecologist, 23, 104-9.
Thomas, C., 1992, The environment in international relations. London: Royal Institute of International Affairs.
Yılmaz, A., 2009, Çevre Kaynakları. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi yayını, No: 117, Sivas, 348s.

KAYNAKLAR

Acarkan, N., 1997, Altın-Gümüş Üretiminde Modern Yöntem: Siyanür Prosesi, Altın Madenciliği ve Çevre", Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 61-77 s.

Açıkalın, N., 1991, Türkiye'de ve Dünya'da diyatomit. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 30s.

AÇY, 2013., Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik (AÇY), Resmî Gazete Tarihi: 25.01.2013 Resmî Gazete Sayısı: 28539; 16/1/2014, 28539 güncellendi. Adair, M.J., 1979. Geologic evaluation of a site for nuclear power plant, Reviews in Engineering Geology, vol. IV, Geology Society of America.

Ahmed, K., 1994, Renewable Energy Technologies., World Bank Technical Papers, Washington, 240 s.

Akbulut, A., 1996, Bentonit, MTA Eğitim Serisi No. 32, Ankara, 78 s.

Akça, E., Kapur, S., Serin, M., Çevik, B. ve Eswaran, H., 2000, Karapınar: A Case Study of Rehabilition of a Wind Eroded Area in Turkey, 13-17 June, 2000 Desertification Meeting, Konya, s. 202210.

Akkaya, A. V., Akkaya, K. E. ve Dağdaş, A., 2002, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt I, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 16-18.

Akkuş İ., 2017. Neden Jeotermal Enerji? Türkiye İçin Önemi, Hedefler ve Beklentiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi Sayı:23. S: 25-38 Ankara.

Akkuş, İ. 2021. Jeotermal sektöründe durum: yasal düzenleme ve idari yapılanmanın gerekliliği. Ortak Akıl Platformu (OAP)-YET (Enerji Topluluğu) paylaşımları, Ankara.

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., ve Tekin, Z., 2005, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri: MTA Genel Müdürlüğü, Envanter Serisi-201, Ankara, 849s.

Akkuş, İ. ve Alan, H., 2016, Türkiye' nin jeotermal kaynakları, projeksiyonlar, sorunlar ve öneriler raporu. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, No 123, Ankara, 76s.

Akoğlu, A., 2011, Nükleer Santraller ve Güvenlik. Tubitak Bilim ve Teknik, 521, 32-36.

Alpan, S., 1969 a, Sondaj tekniği. MTA yayını, Eğitim serisi, No 3, Ankara, 27 s.

Alpan, S., 1969 b, Maden işletme metotları. MTA yayını, Eğitim serisi, No 2, Ankara, 21 s.

Alpan, S., 1969 c, Cevher zenginleştirme. MTA yayını, Eğitim serisi, No 4, Ankara, 15 s.

Altın, V., 2003, Biyogaz: Bilim ve Teknik, TUBİTAK Aylık Popüler Bilim Dergisi, Sayı 428, s. 42-48. AMÜ, JAUM, 2015, Jeotermal enerjinin çevresel etkileri. Adnan Menderes Üniversitesi, Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları, No 1, Aydın, 18s.

Anderson, K., 1992, Agriculturel trade liberalization and the enviroment: a global perspective. World Economy, 15, 153-71.

Anthony, V.C., 1993, The State of Groundfish Resources off the Northeastern United States Fisberies 18(3):12-17.

AR, FF, 1998, Yakıt Hücreleri: Tarihsel Gelişim, Teknolojisi, Çeşitleri ve Dünyadaki Uygulamaları, EİE Yayını, Ankara.

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).

Asante-Duah, D.K., 1998, Risk assessment in environmental management, John Wiley & Sons, Chichester. Bu kitap kirletici problemlerin doğasını açıklar ve farklı şekillerde riskinin nasıl hesaplanacağını gösterir. Bazı karmaşık kuramlar ve biraz matematik bir arada bulunmaktadır. AST, 2013., Asbest Sökümü ile İlgili Eğitim Programlarına İlişkin Tebliğ, 25/1/2013 tarihli ve 28539 sayılı Resmî Gazete.

ASTM, 1984, Annual book of ASTM standards. Gaseous Fuels; Coal and Coke: 1916 Race Street, Philadelphia, USA.

Atabey, E., 2005. Tıbbi Jeoloji. TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayını, Yayın No:88,

Atabey, E., 2009. Türkiye'de Asbest, Eriyonit, Kuvars ve diğer mineral Tozları ve Çevresel Etkileri. MTA Yerbilimleri ve Kültür Serisi, no: 6, Ankara, 191s.

Atabey, E., 2015. Türkiye Asbest Haritası (Çevresel asbest maruziyeti-akciğer kanseri-mezotelyama), Tuberk Toraks, 63/3, 199-219.
Atabey, E., 2017, Jeotermal kaynaklarda peloid (termal çamur) kullanımı. Bilim ve Gelecek Dergisi, 161-86-87.
Atagündüz, G., 2001, Kentlerde ve Köykentlerde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkin Kullanımında Yerel Yönetim Politikaları Ne olmalıdır? Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir.
Atalay, Ü., 1997, Atık Barajları Yapımı, İşletilmesi ve Rehabilitasyonu, "Altın Madenciliği ve Çevre", Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 89-118 s.
Atasoy, Y., 1983, Üçköprü Kromit Artıklarının Değerlendirme Olanakları, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, s. 45-51.
Atilla, A., 1980, Sivas-Celalli-Gürlevik dağı, Yozyatağı asbest sahası raporu: MTA Derleme Rap. No.7441, Ankara.
Atlaş H., 1999, Fotovoltaik Güneş Pilleri: Güç Denetimi İçin Bir Modelleme, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 128, Ankara, 73 s.
Atmaca, E., Beyazıt, N. ve Yılmaz, A., 2001, Bentonitin Çevre Kirliliğinin Önlenmesi ve Kontrolündeki Önemi, Katı Atık ve Çevre Dergisi, s. 2-9.
Auty, R.M., 1993, Sustaining development in mineral economies: the resources curse thesis. London: Routledge.
Aydal, D., 2000, Altın ve Jeolojisi, AÜ. Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü (özel baskı), Ankara, 82 s.
AYY, 2015., Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY), 2 Nisan 2015 PERŞEMBE , Resmî Gazete, Sayı: 29314.
AYYD, 2017., Atık Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik AYYD), 23 Mart 2017 PERŞEMBE, Resmî Gazete, Sayı: 30016.
Baba, A., 2004, Environmental impact of the utilization of a geothermal area, Journal of Istanbul Kültür University, 2004/1, pp.33-38.
Baba, A., 2013, Yeraltı suyu kaynaklarını etkileyen risk ve tehditler. İzmir örneği. TMMOB 2. İzmir Kent Sempozyumu, İzmir, s. 675-681.
Baba, A. ve Armannsson, H., 2006, Environmental impact of a the utilization of a geothermal area in Turkey, Energy Source, volüme 1, s. 267-278.
Baba, A. ve Murathan, A., 2006, Yüksek kontrasyonlara sahip ağır metal içeren jeotermal akışkanların su kaynaklarına etkisi. Türkiye jeoloji Kongresi sunumundan, Sadrettin Alpan Salonu, Ankara. Baba, A., Yüce, G., Deniz, O., Yasin, D. ve Hozcan., 2008, Tuzlu sıcak su kaynaklarının kontrolsüz boşalımlarının çevresel etkileri: Tuzla Jeotermal Örneği. 61. Türkiye jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabi, Sadrettin Alpan Konferans Salonu, Ankara. s.19- 21.
Bağdatlıoğlu, C., 2011, Nükleer Enerji ve Japonya'daki Son Durum. Tubitak Bilim ve Teknik, 521, 2431.
Bahn, P. ve Flenley, V., 1992, Easter Island, Earth Island. London: Thames and Hudson.
Bakak, Ö., 2012, Deniz içi hidrotermal çıkışların tesbitinde canlıların önemi. Mavi Gezegen, 17, 1-7.
Barbir, F., 2005, PEM Fuel Cells Theory and Practice, Elsevier.
Barney, G.O., 1980, The Global 2000 report to the President of the U.S., New York: Pergamon.
Barnett, H.J. ve Morse, C., 1963, Scarcity and growth: the economics of natural resource availability. Baltimore: Johns Hopkins Press for Resources for the Future.
Barnett, H.J., 1979, Scarcity and growth revisited. In Smith, V.K. (ed) Scarcity and growth reconsidered. Baltimore and London: Johns Hopkins Press for Resources for the Future: s. 163217.
Barrow, C.J., 1997, Environmental ve social impact assessment: An introduction Arnold, London Bu kitap ÇED'in gelişimini, rolünü, süreçlerini ve yöntemleri açıklamaktadır. Örnek olay incelemeli iyi bölmeler mevcuttur.
Barrow, C.J., 2006, Environmental management for sustainable development, Routledge, London Bu bölümde, yer alan konuların yanı sıra hukuk, standartları ve ekonomileri kapsayan açık bir metin vardır.
Baysal, O., Gündoğdu, M.N., Temel, A. ve Öner, F., 1986, Bigadiç Zeolit Oluşumlarının Ekonomik Jeolojik İncelenmesi Projesi, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Proje no. YUVAM/85-2, 155 s., (yayınlanmamış).

Becker, A., 1988, Çağdaş Fiziğin Kavramları, Bizim Büro Yayınevi, Ankara.Türkiye Çevre Atlası, 1996, Çevre Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü yayını, Ankara.
Becker, M., 1993, Solar Thermal Energy Utilization., Springer Verlag, New York. Beifer,
A., 1988, Çağdaş Fiziğin Kavramları: Bizim Büro Yayınevi, Ankara
benkoltd.com-655X443- Google/Görselle ara
Berk, S., Yalçın, H., Doğan, Ö.T., Epöztürk, K., Akkurt, İ., Seyfikli, Z., 2014. The Assessment of the Malignant Mesothelioma Cases and Environmental Asbestos Exposure in Sivas Province, Turkey. Environmental Geochemistry and Health, 36, 1, 55-64.
Berkes, F., Feeny, D., McCay, B.J. and Anderson, J.M., 1989, The benefits of the commons. Nature, 340, 91-3.
Bilgin, N., 2003, Biyogaz Nedir?, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
Bircan, A., 1968. Türkiye diyatomit envanteri. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayın No: 138, Ankara, s. 1-28.
Block, W., ed., 1990, Economics and the Enviroment: A Reconciliation. Vancouver: Fraser Institute.
Bogucka, M., 1978, Northern European commerce as a solution to resource shortage in the 16th-18th countries. In Maczak, A. ve Parker, W.N. (eds) Natural resources in European history. Washington DC: Resources fort he Future, s. 9-42.
Borat, M., 1992. Türkiye diyatomitlerinin özellikleri ve filtrasyon karakteristikleri. İTÜ, Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, İstanbul, 115 s.
Bordovskiy, O.K., 1965, Accumulation of organic matter in bottom sedimemts: Marine Geology, v.3, s. 33-82.
Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, S. ve Paslı, N., 2001, Ekoloji I: Başkent Klişe Matbaacılık, Bayındır sok. no 30/E, Kızılay, Ankara, 884s.
Botkin, D. B., M., Caswell, J. E., Estes, ve A. Orio, ed., 1989, Changing the Global Enviroment: Perspectives on Human Involvement. New York: Acedemic Pres.
Botkin, D.B. ve Keller, E. A., 1995, Environmental Science, Earth As a Living Planet. John Willey and Sons, Inc. Newyork, 6275.
Bottke, H., 1981, Lagerstattenkunde des Eisens: Verlag Glückauf GmbH, Essen, 202 s.
Bögli, A., 1980, Karst Hydrology and Physical Speleology (Translated by June C. Schmidt): New York Springer Verlag, 284 s.
Bradbury, I.K., 1998, The biosphere, John Wiley & Sons, Chichester.
Brawner, C.O. ve Campbell, D.B., 1973, The Tailing Structure and Its Characteristics – A Soil Engineer's Viewpoint, Aplin, C.L., Argall, G.O. (Co-Edit), Miller Freeman Publications Inc., San Francisco, s. 59-101.
Breck, D.W., 1974, Zeolite Molecular Sieves, John Wiley & Sons., Inc., New York, 771 s.
Broecker, W.S. ve Denton, G.H., 1990, What drives glacial cycles? Scientific American, 262, 43–50.
Browne, P. R. L., 1991, Minerological guides to interpreting the shallow paleohydrology of epitermal mineral depositing environments. Proc 13 th NZ Geothermal Workshop, Auckland, s. 263-270.
Brune, C., 1965, Anhydrite and gypsum problems in engineering geology. Engineering Geology, 2, 1, s. 26-33.
Burçak, M., 2015, Kızgın Kuru Kaya (KKK) ve geliştirilmiş jeotermal sistemler (GJS) ve Türkiye' de araştırmaya uygun bölgeler. MTA 80. Yıl Sempozyumu, Ankara. s. 1-7.
Caner, G., 1975, Açık İşletmelerde Optimum İşletme Sınırlarının Saptanması ve Maksimum Karın Elde Edilmesi Amacı ile Kullanılan Matematiksel Teknikler: TMMOB Maden Müh. Odası, 22s.
Caner, G., 1976, Maden İşletme Yöntemlerinin Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması ve En Uygun (Optimum) İşletme Politikasının Saptanması: MTA Yayınl., Eğitim Ser. No 18. Ankara, 27 s.
Caner, G., 1983, Maden Ekonomisi: MTA Yayın., Eğitim Ser. No 27, Ankara, 206 s.
Cangir, C., Kapur, S., Boyraz, D., Akça, E. ve Eswaran, H., 2000, Land Resource Consumption in Turkey, Journal of Solid and Wrae Conversation, 3rd Quarter, s 253-259.
Carson, R., 1962, Silent spring, Houghton Mifflin, Boston, MA.
CEC SEAQ, 2005, The Hydrogen Energy Economy: Subcommitee on Energy and Air Quality (SEAQ) Commitee on Energy and Commerce (CEC), U.S. House of Representatives, University Press of the Pacific Honolulu, Hawaii, 94s.

Chapman, K., 1981, Issues in environmental impact assessment. Progress in Human Geography, 34, 405-16.
Chenery, H.B., 1965, Land: the effects of resources for economic growth. In Berill, K. (ed.) Economic development with special reference to East Asia. London: Macmillan, pp. 19-52.
Chisholm, M., 1980, The real wealth of nations. Transactions of the Institute of British Geographers, 5, 255-76.
Ciambrone, D.F., 1997, Environmental life cycle analysis, Lewis, Boca Raton, FL.
Clark, C., 1976, Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources. New York: John Wiley & Sons, Inc.
Coddington, A., 1970, The economics of ecology. New Society, 9 April, 95-7.
Coppola, P., 1978, Natural resources and economic development in the Mediterranean Basin. In Maczak, A. and Puler, W.N. (eds) Natural resources in European history. Washington DC: Resources fort he Future, s. 205-220.
Correia, S.J., 1992, Flounder Population Declines: Overfishing or Pollution? Division of Marine Fisheries News. Boston: Massachusetts Division of Marine Fisheries.
Culshaww, M.G. ve Waltham, A. C., 1987, Natural and artifical cavities as graund engineering hazards. Quarterly Journal of Engineering Geology, 20:139-150.
Çağlar, Ö., Ünal, U., Balköse, D., Köktürk, U. ve Ülkü, S., 2001, Toz Kaolin ve Aluminyum Silikat Liflerinin Karakterizasyonu, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, S.Ü., Konya, s.1-10.
Çakın A., Gökçen G., Eroğlu A. E. ve Baba A., 2012, Hydrogeochemistry and Environmental Properties of Geothermal Fields. Case Study: Balçova, Izmir-Turkey", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 34:8, 732-745.
Çakır, S. ve Çakır, O., 1987, Ülkemizde kullanılan enerji kaynakları ve alternatif enerji kaynaklarının çevre açısından incelenmesi: Çevre, 4, s. 69-80.
ÇED Yönetmeliği, 2008, 17 Temmuz 2008 tarih ve 26939 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
ÇED Yönetmeliği, 2014, Resmi Gazete'nin 25 Kasım 2014 tarih ve 29186 sayılı baskısı, Ankara.
ÇED Yönetmeliği, 2022, Resmî Gazetenin 29 Temmuz 2022 tarih ve 31907 sayılı baskısı, Ankara.
Çelik, H., Mordoğan, H. ve İpekoğlu, Ü., 1997, Siyanürlü altın üretim tesisi atıklarının arıtma yöntemleri. Madencilik, c. XXXVI, s.1, 33-45.
Çelik-Karakaya, M. ve Karakaya, N., 2009, Kaplıca tedavisinde kullanılan termal çamurların uygunluğunu belirleyen parametreler. 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı Kitabı. 30 Ekim-1 Kasım 2009, Ürgüp Belediyesi, Kültür Merkezi, Ürgüp/Nevşehir, s.31-43.
Çepel, N., 2003, Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara, 183 s.
Çerikcioğlu, B., 1997, Doğal Zeolitler, CÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Sivas, 110 s.
Çıtıroğlu A., 2000, Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, TMMOB Türkiye II. Enerji Sempozyumu, Ankara, 97 s.
Çinku, K. ve Bilge, Y., 2001, Bentonit ve Aktivasyon Yöntemleri, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, SÜ., Konya, s. 1-10.
ÇMO, 1998, Altın Bergama-Demokrasi, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, 265 s.
Dasmann, R.E., 1988, Towards a biosphere consciousness. In Waster, D. (ed), The ends of the earth: perceptions on modern environmental history. Cambirdge: CUP, s. 177-188.
Davidson, J., 1990, Values and uses: seeing the forest through different eyes. In Webb, L.J. and Kikkawa, J. (eds), Australian tropical rain forests: science, values and meaning. Melbourne: CSIRO, s. 124-132.
Davis, D.W., 1991, Oil in the northern Gulf of Mexico, In Smith, H.D., and Vallega, A. (eds). The development of integrated sea-use management. London: Routhledge, s. 139-152.
Dean, K.C., 1972, Reclamation of Mineral Milling Wastes, Proceedings of the 3rd Mineral Waste Utilization Symp., Schwartz, M.A. (Edit.), Chicago, s. 140-142.

Dean, K.C. ve Havens, R., 1973, Comparative Costs and Methods of Stabilization of Tailings, Aplın, C.L., Argall, G.O. (Co-Edit), Miller Freeman Publications Inc., San Francisco, s. 45-76.
Demaison, G.J., ve G.T. Moore, 1980, Anoxic environment and oil source bed genesis: AAPG Bull., v.64, n.8, s. 1179-1209.
Demir, K., 2000, Bor Üretim Teknolojisi ve Eti Holding Kırka Boraks Tesisindeki Bor Üretimi , Ankara, 108 s.
Demirocak, Y., 2003, Fabrika işletmeciliği: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 115-141.
Dickson, B., Yashayaev, I., Meincke, J. et al., 2002, Rapid freshening of the deep North Atlantic ocean over the past four decades, Nature, 416, 832–837.
Dilek, S., 2009, Yüzey Madenciliği ve Çevresel Etkiler, TMMOB Mad. Müh. O., Altın Pol. Sim., s. 12-13.
Doğan, M., 2000, Biyogaz. Standard Dergisi, s. 39/468, s.28-36.
Doğan, M.Z., Özbayoğlu, G. ve Atalay, Ü., 1981, Çinkur Tesislerinde Elde Edilen Liç Atıklarının Zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik Kongresi 7, Ankara, s. 231-238.
Dorian, J.P. ve Borisuich, V.T., 1992, Energy and Minerals in the Former Soviet Republics-Distribution, Development Potential and Policy Issues, Resources Policy, vol 18, no 3.
Dorr, J. N.V. ve Basqui, F.L., 1950, Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores, 2. Edition, Mc Graw Hill Book Co., U.S.A.
Down, C.G. ve Stocks, J., 1977, Methods of Tailings Disposal, Mining Magazine, s. 345-359.
Down, C.G. ve Stocks, J., 1977, Environmental Problems of Tailings Disposal, Mining Magazine, s. 2533.
Down, C.G. ve Stocks, J., 1977, Positive Uses of Mill Tailings, Mining Magazine, s. 213-223.

Döngel, İ., Bayram, M., Bakan, N.D., Yalçın, H., Gültürk, S., 2013. Is living close to ophiolites connected to asbestos related diseases? A cross-sectional study. Respiratory Medicine, 107, 1, 870-874.

DPT, 1980, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı yayın no. 2434, Özel İhtisas Komisyonu, Ankara, 491s.

DPT, 1992, Perlit, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 32 s.
DPT, 1997, Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı, Metal Dışı Madenler Raporu, Özel ihtisas komisyonu, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
DPT, 1997, Metal Dışı Madenler Raporu, Özel ihtisas komisyonu, 4. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara. Haziran.
DPT, 2000, Madecilik Sektörü Özel İhtisas Komisyonu: 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Trona Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Plalama Teşkilatı, Ankara, 18s.
DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler alt komisyonu, Değerli metaller çalışma grubu raporu, Ankara, 26 s.
DPT, 2000, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenleri Alt Komisyonu, Demir Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 64 s. (yayınlanmamış).
DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik özel ihtisas komisyonu, endüstriyel hammaddeleri alt komisyonu, Genel endüstri mineralleri, Cilt 4, Bentonit-Barit-DiyatomitAşındırıcılar çalışma grubu raporu, Ankara, 68 s.
DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel hammadeleri alt komisyonu, Genel endüstri mineralleri cilt 2, Mika-zeolit-lületaşı çalışma grubu raporu, Ankara,76 s.
DPT, 2000, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı Madencilik Özel ihtisas komisyonu, Endüstriyel hammaddeleri alt komisyonu, Genel endüstri mineralleri, Cilt 1, Asbest-grafit-kalsit-titanyum çalışma grubu raporu, Ankara, 113s.

DPT, 2000, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Petrol ve Doğalgaz Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
DPT, 2000, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Nükleer Enerji Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara,
DPT, 2001, Jeotermal Enerji Raporu; Madencilik Sektörü Özel İhtisas Komisyonu Jeotermal Enerji Alt Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, s. 46.

DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), No:2569-ÖİK:585, Ankara.
DPT, 2001, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı Madencilik özel ihtisas komisyonu Metal madenler alt komisyonu, Bakır ve pirit çalışma grubu raporu, Ankara, 48 s.
DPT, 2001, Sanayi Hammaddeleri 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 237 s.
DPT, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeleri Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 19s.
DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Madencilik Sektörü Özel İhtisas Komisyonu. Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Kömür Çalışma Grubu Raporu. Ankara, 143 s.
Dünya Çevre Kalkınma Örgütü, 1987, World Commission on Environment and Development, Our common future, Oxford University Press, Oxford.
Dünya Sağlık Örgütü, 1999, World Health Organization, Gothenburg Consensus Paper, (WHO), Geneva.
Easton, J., 1991, Mining Rehabilitation in South Africa, Success by Cooperation, Min. Tech. 91, s. 197198.
Ediger, V., 2015. TKİ ve Kömürün tarihçesi ile Türkiye Kömür stratejileri. TKİ Kurumu Yayınları, Ankara, 497 s.
Eğilmez, M., 2022. Ünlü Ekonomist Mahfi Eğilmez enflasyounun patlama nedenini tek tek anlattı https://www.yenicaggazetesi.com.tr/mobi/unlu-ekonomist-mahfi-egilmez-enflasyonun-patlamanedenini-tek-tek-anlatti-528006h.htm; Erişim, 5 Nisan 2022 Salı, 12:18.
Ehrlich, P., 1968, The population bomb: Population control or race ablivion. New York: Ballantine. Ehrlich, P.H. ve Holdren, J.R., 1971, The impact of population growth. Science. 171, 1212-1217.
Ekici, S., 2001, MTA'da Jeotermal Enerji ve Hidrojeoloji Araştırmaları, Hizmet içi Eğitim Semineri Bildiriler Kitabı (Editör M. Zorlu, N.S. Kavak ve H. Orak), MTA 1. Bölge Müdürlüğü, Sivas, s. 140-160.
Elevli, B., 1998, Madencilik, Çevre ve ÇED Raporu, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No:78, s. 43-49.
Emery, J.J. ve Kim, C.S., 1974, Trends in the Utilization of Wastes for Highway Construction, Proc. 4th. Mineral Waste Utilization Symposium, Aleshine, E. (Edit), U.S.B.M., I.T.T. Research Institute, Chicago, s. 23-32.
Emrullahoğlu, F., Kara, M., Çelik, M.S. ve Tolun, R., 1993, Kalsine Kolemanit Atıklarının Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirilmesi, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, İstanbul, s. 629-638.
EPDK. 2021, 2021 Yılı Aralık Ayı Sektör Raporu, Ankara.
Erarslan, K. ve Karakoç, F., 2002 Bor'lu Yakıt sistemleri -1: Hidrojen Motorları ve Entegre sistemleri 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 3 – 4 Ekim 2002, DPÜ, Kütahya, Türkiye.
Erarslan, K.,ve Karakoç, F., 2002, "Bor'lu Yakıt Sistemleri -2: Bor'la Çalışan Motorlar", 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 3 – 4 Ekim 2002, DPÜ, Kütahya, Türkiye.
Ercan, T., Matsuda, J. I., Nagao, K., ve Kita, I., 1993, Anadolu'daki kaplıca sularında bulunan doğal gazların izotopik bileşimleri: Jeomorfoloji Dergisi 17, 101–110.
Erdoğan, B. ve Yavuz, A. B., 2003, Güneydoğu Anadolu'nun Miyosen paleocoğrafyası ile mermer yataklarının ilişkisi: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 1-13.
Erdoğan P., 1999, Güneş Enerjili Sistemlerin Performansının İncelenmesi, İ.Ü. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 78 s.
Erickson, S.L. ve King, B.J., 1999, Fundamentals of environmental management, John Wiley & Sons, Chichester. Bu kitap Kuzey Amerika'da yapılan düzenlemelerin tartışmalarıyla oldukça alakalıdır. Çevresel yönetim denetim çalışmalarının kontrol listesini ve iyi bir sözlüğü içeren çok kullanışlı bir ek bulunmaktadır.
Erkal, İ.F. ve Girgin, İ., 1992, Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Kaba Atıklarının Konsantre Üretimi Amacıyla Değerlendirilmesi, 4th Int. Min. Proc. Symp., Antalya, s. 599-608.
Eryılmaz, H., 1981, Biyogazın Teknolojide ve Evlerde Kullanım İmkanları, Yurt Ekonomisi ve Tarımında Biyogaz'ın Önemi ve Biyogaz Potansiyeli, Biyogaz' Sempozyumu.

Eşiyok, B. A., 2014, İktisat kuramları çerçevesinde teknolojiye panoramik bir bakış, CBT(Cumhuriyet Bilim Teknoloji, no. 1437, 3 Ekim 2014, s.8-9.
Eyre, S.R., 1978, The real wealth of nations. London: Arnold.
Flanigen, E.M. ve Mumpton, F.A., 1981, Commercial Properties of Natural Zeolites, In Mineralogy and Geology of Natural Zeolites, F.A. Mumpton ed., Book Crafters Inc., Michigan, s. 165-174. FSW, 2010, Fish and Wildlife Service (FSW) Recommendations of the wind turbine guidelines advisory committee. Fish and Wildlife Service (FSW), ABD.
Fuerstenau,M.C. (Ed.), 1976, Flotation A.M. Guadin Memorial Volume, Volume II, AIME Inc., Port City Press, Inc., New York, s. 250-257.
Fuerstenau, M.C., Wakawa, B.M., Price, R.K. ve Wellik, R.D., 1974, Tokxicity of Selected Sulfhydryl Collectors to Rainbow Trout, AIME Transactions, Volume 256, s. 337-341.
Galley, A.G. ve Jonasson, I, R., 1992, Semi- comfortable alteration and volcanogenic masifse sulphide deposits. Proc. 14th NZ geothermal Workshop, Auckland, NZ.
Gehman, H.M., 1962, Organic matter in limestones: Geochim. Et Cosmochim. Acta, v.26, s. 885-897.
Gevrek, A., ve Şener, M., 1984, Çanakkale-Tuzla Jeotermal sahasının Hidrotennal Alterasyon Etüdü. MTA Derg. No. 78, Ankara.
Güldal A., 1999, Biyogaz Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Türkiye'deki Uygulamaları, TMMOB-MMO Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Türkiye'deki Uygulamaları Konferansı, İstanbul, 77 s.
Gillott, J. E., 1968, Clay in engineering geology: Elsevier publishing company, New York, 296s.
Ginsburg, N., 1957, Natural resources and economic development. Annals, Association of American Geographers, 47, 197-212.
Goldsmith, E., Allen, R., Allby, M., Davol, J. ve Lawrance, S. (editors of the Ecologist), 1972, Blueprint for survival. Harmondsmith: Penguin.
Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. Ve Tuncalı, E., 1993, Türkiye Linyit Envanteri: MTA yayını, Ankara, 356 s.
Göksu, E., 1971, Petrol Jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi Petrol Arama ve İşletme Kürsüsü, İstanbul, 94s
Grim, R.E., 1962, Applied Clay Mineralogy: McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, USA, 422s.
Grim, R.E., 1968, Clay Mineralogy: McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, USA, 596s.
Grim, G. ve Güven, N., 1978, Bentonites, Geology, Mineralogy, Properties and Uses: Elsevier, s. 256.
Grolier International Americana Ansiklopedisi.
Gross, G.A., 1965, Geology of iron deposits in Canada, 1. General geology and evaluation of iron deposits: Geol. Surv. Canada, Econ. Geol. Rep., 22 (1), Ottawa, 181 s.
Gross, G.A., 1970, Nature and occurence of iron ore deposits: Survey of World Iron Ore Resources da, Birleşmiş Milletler, New York, 13-31.
Gulbrandsen, R.A., 1969, Physical and chemical factors in the formation of marine apatite: Econ. Geol., 64, s. 157-169.
Gültekin, A.H. ve Örgün,Y.,1993, Doğalgaz ve Çevre: Çevre Dergisi,9,37-41
Gümüş, A., 1998, İç Olaylara Bağlı Maden Yatakları. Bilim Ofset, Bornova, İzmir, 481s.
Gümüş, A., 1999, Dış Olaylara Bağlı Maden Yatakları, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, No 276, Bornova-İzmir, 210s.
Güney, A., Önal, G., Doğan, M.Z. ve Altaş, A., 1994, Flotation of Fine Choromite Tailings Using Novel Techniques, Progress in Mineral Processing Technology Proceedings of 5th Int. Min. Proc. Symp., Demirel, H., Ersayın, S. (Co-Edit), A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, s. 473-478.
Güngör, N., 1981, Bentonitik kil minerallerinin yapı ve özellikleri üzerine değişebilen katyonların etkilerinin fiziksel yöntemlerle incelenmesi, Doktora tezi, İ.Ü.
Gürdilek, R., 2004, Hidrojen Ekonomisi: TÜBİTAK Bilim ve Teknik, sayı 442, s. 42-88.
Hall, D.C. ve Hall, V.V., 1984, Concepts and measures of natural resource scarcity, with a summary of recent trends. Journal of Environmental Economics and Management, 11, 363-79. Hardin, G., 1968, The Tragedy of the Commons. Science 162:1243-48.
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, 387s.

Harding, G. 1968, The tragedy of the commons, Science, 162, 1243–1248.
Hargrove, E.C. 1989, Foundations of environmental ethics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

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.

Healey, M.J ve Ilbery, B.W., 1990, Location and change: pespectives on economic geography. Oxford: OUP.
Hedberg, H.D., 1967, Geologic controls of petroleum genesis, in origin of oil, geology and geophysics:7Th Petroleum Cong., Mexico City, Proc., v.2, s.3-11.
Helm, D. and Pearce, D. (1990) Economic policy towards the environment. Oxford Review of Economic Policy, 6, 1-16.
Helvacı, C., 2001, Türkiye Boraks Yatakları: Jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası: TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası, yayın no.71, Ankara, 34 s.
Helvacı, C., 2004, Bor yatakları ve oluşum modelleri: Evaporitler Tuzlar Semineri, MTA Kültür Sitesi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, yayın no 81, Ankara, s. 10-24.
Higgins., R.A., 1976, Engineering Metallurgy: Hodder and Stoughton, Londra, 467 s.
Hinesly, T.D., Jones, J.K. ve Sosewitz, B., 1972, Use of Waste Treatment Plant Solids for Mined Land Reclamation, Mining Congress Journal, s. 66-73.
Holden, J. ve Burt, T.P., 2002, Laboratory experiments on drought ve runoff in blanket peat, European Journal of Soil Science, 53, 675–689.
Holden, J., Evans, M.G., Burt, T.P. ve Horton, M., 2006, Impact of land drainage on peatland hydrology, Journal of Environmental Quality, 35, 1764–1778.
Hollister, V., 1985, Discoveries of Epithermal Precious Metal Deposits in Case Histories of Mineral Discoveries, Published by the Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers inc., New York, Volume 1, 164 s.
http://arcamuhendislik.com/arca_br/nedir.html
http://astandarts.com.tr/
http://aygunhoca.com/ ,2016
http://bianet.org/bianet/saglik/145055
http://britishbiogen.co.uk
http://dogalgazkombiservisi.com
http://ekutup.dpt.gov.tr/madencilsanayiha/oik491c2pdf http://emretarikprojeodevi.blogcu.com/
http://haber.sol.org.tr/toplum/ankara-kanser-mi-soluyor-185854 http://hackhell.org/
http://jeolojimuhendisleri.net/dogal-nanomateryal-diyatomit/
http://morfikirler.com/
http://slideplayer.biz.tr/slide/3238425/).
http://slideplayer.biz.tr/slide/3396586/
http://ziraat.uludag.edu.tr/ http://www.adsgrup.com.tr/
http://www.alternaturk.org/ http://www.angelfire.com/
http://www.biba.com.tr/ http://www.bilmerinsaat.com/
http://www.bilgiustam.com/
http://www.bilgizenginleri.org/
http://www.biogas.org.uk http://www.biogas-international.com http://www.biyogaz.web.tr/
http://www.delinetciler.org
http://www.dhe.com.tr/urunler/hidrojen-jeneratoru/
http://www.diken.com.tr/ http://www.eie.gov.tr/
http://www.enerjinetwork.com/
http://www.gunesenerjisi.com/)
http://www.guneyyildizi.com.tr/sondaj-ve-workover-kuleleri/
http://www.haberler.com/ http://www.hidrojen.gen.tr/
http://www.hidrojenforumu.com/default.asp?go=haber&islem=detay&id=6

1 http://www.hurriyet.com.tr/ http://www.isolaponza.it/
http://www.jeotermaldernegi.org.tr/
http://www.kriegfischer.de/basics_inhalt.html
http://www.lafsozluk.com/2010/07/rafineri.html http ://www.lior-int.
com/biogas/biogas 1 .htm http://www.maden.org.tr/
http://www.mgm.gov.tr/ http://www.mta.gov.tr/
http://www.neutron.kth.se/gallery/reactor_main_gallery.htm/
http://www.normenerji.com.tr/ http://www.nukte.org/
http://www.nukte.org/node/119
http://www.nukte.org/node/1293
http://www.slideplayer.biz.tr/ http://www.slideshare.net/
http://www.slideshare.net/oncel/ugur-gonulalan http://www.temiz-enerji.ucoz.com/
http://www.tubitak.gov.tr/btpd/platform/enerji/bolum67.html
http://www.yenimuhendis.com/forum/dogalgaz-nedirkullanim-alanlari-ustunlukleridunyada-ve-turkiyede-dogalgaz-t32.html?s=b0829f003d0db774b57f5f4fd8bea13d&amp
http://www.yerbilimleri.gen.tr/petrol-ve-dogal-gaz/. http://www.yerliteknoloji.net/
http://haber.sol.org.tr/toplum/ankara-kanser-mi-soluyor-185854 https://borates.today/boron-fuel/ (29 Aralık 2022). https://borates.today/tesla-boron/ (29 Aralık 2022).
https://commons.wikimedia.org/, 2003
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15486467/ https://m.star.com.tr/ekonomi/tum-ulkeler-pesinden-kosuyor-enerjide-cigir-acacak-haber-1644212/ (5 Ağustos 2021 Perşembe 11:22).
https://ortakakil.org.tr/sektorel-oncelikler/dogu-akdeniz-ve-karadenizdeki-dogalgaz-ve-petrolaramalari-ve-bu-alandaki-belirsizlikler-sektorel-oncelikler-masasi/(03/10/2021).
https://seyler.eksisozluk.com/dogal-gaz-hakkinda-genel-bir-fikir-sahibi-olmanizi-saglayacak-birtakimbilgiler (03/02/2023).
https://slideplayer.biz.tr/slide/2019203/; 07 Şubat 2019, saat 15.10
https://tr.depositphotos.com/73367853/stock-photo-in-the-asbestos-quarry.html: (07 Şubat 2019, Saat 13.15).
https://tr.sputniknews.com/20181009/rus-bakteri-cevre-nukleer-1035590176.html (09.10.2018)
https://tr.wikipedia.org/wiki/Ponza.
https://www.youtube.com/ https://www.yenisafak.com/hayat/379-koyde-asbest-tespit-edildi-2057611,07 Şubat 2019, saat 15.00 https://www.botas.gov.tr/Sayfa/dogal-gaz-ve-petrol-boru-hatlari-haritasi/168#gallery (2020). https://www.google.com.tr/görseller/perlit (2016).
https://www.researchgate.net/ (Varınca, K. B. ve Varank, G., Güneş enerjisi farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerinin kıyaslanması ve çözüm önerileri (10 s.). https://www.siteper.com/ (2016).
https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcutpotansiyeli/; Erişim,16 Mayıs 2022
https://www.youtube.com/
Hughes, P. ve Lea, W., 1993, The Earth Summit: one year on. House of Commons Library Research Paper 93/71.
Hurlbut, Jr. C.S., 1970. Dana's manual of minerology, 18.Baskı, John Wiley and Sons, Inc., Tokyo, Japan, 579 s.
Hurrell, A. ve Kingsbury, B. (eds), 1992, The international politics of the enviroment. Oxford, Clarendon.
Huston, M., 1993, Biological diversity, soils and economics. Science, 262, 1676-9.
Industrial Minerals and Rocks, 1993.
IPCC, 2011, IPCC Special Report on Renewable Energy Sourcesand 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. Von Stechow (eds)]. Chapter 4 & 9. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdomand New York, NY, USA, 1075 s.

İleri, S.,1976, Bor Bileşikleri, Yeryuvarı ve İnsan, 1/4, s. 48-66.
İrkeç, T., 1990, Asbest; MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Serisi, No. 31, Ankara, 107s.
Jaszczur, M., Rosen, M. A., Sliwa, T., Dudek, M., ve Pieńkowski, L., 2015, Hydrogen Production Using High Temperature Nuclear Reactors: Effıciency 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.
Jevons, W.S., 1886, The coal question: an inquiry concerning the progress of the nation and the probable exhaustion of our coal mines. London: Macmillan.
JMO, 1997, Bergama-Ovacık Altın İşletmesi Girişimi Konusunda TÜBİTAK-YDABÇAĞ Uzmanlar Komisyonu Raporu'nun Eleştirisi, TMMOB-Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No 75, Ankara, 195 s.
JMO, 2001a, Bor Dosyası, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, Sayı, 2001/1-2, s. 5-29.
JMO, 2001b, Özelleştirmeler ve Bor Gerçeği Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları no 70, Ankara, 90s.
JMO. 2003, Seramik Semineri Ders Notları; TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın no 78, 17-23 Kasım 2003, Ankara, 302 s.
JMO, 2003, Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 175 s.
JMO, 2004, Evaporitler Tuzlar Semineri:19-23 Ocak 2004 MTA Genel Müdürlüğü: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No.81 Ankara, 368s.
JMO, 2019, 2. Çevre Jeolojisi Çalıştayı (01-02 Kasım 2019, Sonuç Raporu, Ankara, 364 s.
Johnston, M., 2022, Solar Energy: Benefits and drawbacks https://www.investopedia.com/articles/investing/053015/pros-and-cons-solar-energy.asp
Jones, J.D., 1980, Design and Construction of Tailings Ponds and Reclamation Facilities – Case Histories, Mineral Processing Plant Design, Mular, A.L., Bhappu, R.B. (Co-Edit), A.I.M.E., New York, s. 703-732.
Kagel, A., 2007, A Guide to Geothermal Energy and the Environment. Geothermal Energy Association, Washington, DC.
Kagel, A., 2008. The State of Geothermal Technology. Part II: Surface Technology. Geothermal Energy Association, Washington, DC.
Kakaç, S., 2005, Küresel ısınma ve nükleer enerji: TÜBA (Türkiye Bilimler Akademisi) Günce, sayı 32. s.11-13.
Kalender, L. Kırat, G., Bölücek, C. ve Sağıroğlu, A., 2009, Görgü (Malatya-Türkiye) Pb-Zn yatağının eski imalat pasalarının jeokimyası: Türkiye Jeoloji Bülteni, 52/2, s. 49-56.
Kalkan, İ., 1989, Petrol: Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Daire Başkanlığı, Ankara , 23s.
Kantarcı, D., 1997, Madencilik ve Ormancılık, "Altın Madenciliği ve Çevre", Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 119-134 s.
Karaca, Z., 2003, Mermerlerin yataklanma şekilleri: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 13-19 Ocak 2003, Ankara, 82-93.
Karacan, E. ve Yılmaz, I., 1997, Collapse dolines in Miocene gypsum: an example from SW Sivas (Turkey), Environmental Geology, 29 (3/4), p. 263.
Karadeniz, M., 1996, Cevher Zenginleştirme Tesis Atıkları, Çevreye Etkileri ve Önlemler, MTA Genel Müdürlüğü Cevher Zenginleştirme Servisi Raporu, İstanbul, s. 21-37, 174-325.
Karakaya, M.Ç ve Karakaya N. 2001, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Bildiler kitabı, 19-22 Eylül 2001, Konya 598 s.
Karaman, E. ve Kibici, Y., 1999, Temel Jeoloji Prensipleri: Devran Matbaacılık, Necatibey Caddesi No: 31/D, 06440, Sıhhiye, Ankara, 361s.
Kargı, F., 2001, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İZMİR.
Kasapoğlu, K. E., 1989, Killerin Jeo-Mühendislik Özellikleri: IV. Ulusal Kil Sempozyumu, C.Ü., Sivas, s. 1-29.
Kaya O., 1999, Yemek Artıklarından Biyogaz Enerjisi Üreten Sistemin Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, ANKARA.
Kealy, D., 1973, Safe Design for Metal Tailings Dams, Mining Congress Journal, s. 51-55.

Keçeciler, A., 2005 Temiz Enerji Uygulamaları – Yakıt Pili, Doğalgaz – Tesisat Klima Aylık Bilimsel Teknik Dergi, cilt 8, sayı 94, s. 45 – 53.
Keen, E. A., 1988, Ownership and Producticity of Marine Fishery Resources: An Essay on the Resolution of Conflict in the Use of the Ocean Pastures. Blacksburg, Va.: McDonald and Woodward Pub. Co.
Keen, E. A., 1991, Ownership and Productivity of Marine Fisheries Resources, Fisheries 16:18-22.
Ketin, İ., 1977, Genel Jeoloji, Cilt 1, Yer Bilimlerine Giriş, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, 597 s.
Kırşan, H. İ., 1999, Madencilik Sektöründe Yeniden Yapılanma, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı İstanbul, 188s.
Kirkby, M.J., 2001, Modelling the interactions between soil surface properties and water erosion, Catena, 46, 89–102.
Klinger, F.L., 1985, Iron Ore: Mineral Facts and Problems de, A.W. Knoerr (ed), Bur. Mines Bull., 675, Washington, 385-403..U.S.Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 1998.
Koçak A., 2000, Türkiye'de Uygulamada Olan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Biri; Jeotermal Enerji, TMMOB Türkiye II. Enerji Sempozyumu, Ankara, 84 s.
Kondyli, J., 2010, Measurement and evalution of sustainable development. A composite indicator for the island of the North Aegean region, Greece. Environmental Impact Assessment Review, 30, s. 347-356.
Korur, E., 1989, Yenilenebilir enerji kaynakları, Bilim ve Teknik, v. 254: s. 6-9.
Kosakevitch, A., 1979, Chapeaux de fer: problemes de definition et de nomenclature pratique: Bull. BRGM, Sect. II, No2-3, 141-149.
Koşal, C., 1973, Divriği A-B-C demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu üzerine çalışmalar, MTA Dergisi, sayı 81, sayfa 1-20.
Kurhan, M., 1971, Edirne-Enez bentonit etüdleri: MTA Rap. (yayımlanmamış), Ankara, 446 s.
Larson, E.D., Ross, M.H. ve William, R.H., 1986, Beyond the era of materials. Scientific American, 254, 24-31.
Lawren , B. 1992, Net Loss, National Wildlife, 30(6): 47-52.
Lawrence, E., Jackson, A. ve Jackson, J., 1998, Dictionary of environmental science, Longman, Harlow.
Leal, D. R., 1992, Using Property Rights to Regulate Fish Harvest, Christian Science Monitor, p.18.
Lefond, S.J., 1975, Asbestos Industrial Minerals and Rocks, Baltimore, USA, s.379-426.
Lefond, J. (Edit), 1975, Industrial Minerals and Rocks, 4th Edit, Port City Press, Baltimore, s. 59-67.
Leroy, J.C., 1973, How Establish and Maintain Growth on Tailings in Canada-Cold Winters and Short Growing Seasons, Aplın, C.L., Argall, G.O. (Co-Edit.), Miller Freeman Publications Inc., San Francisco, s. 411-449.
Lin, I.J., Spevakova, I., 1994, Utilization of Natural Minerals in Water Treatment, Progress in Mineral Processing Technology Proceedings of 5th Int. Min. Proc. Symp., Demirel, H., ersayın, S. (CoEdit), A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, s. 289-294.
Lovelock, J.L., 1979, Gaia: A new look at life on Earth. Oxford University Press, Oxford.
Ludeke, K.L., 1973, Vegetative Stabilization of Copper Mine Tailing Disposal Berms of Pima Mining Company, Aplın, C.L., Argall, G.O. (Co-Edit.), Miller Freeman Publications Inc., San Francisco, s. 377-410.
Maddison, A., 1964, Economic growth in the west. London: George Allen&Unwin.
Manahan, S.E., 1994, "Environmental Chemistry", 6th Ed., Lewis Publishers, USA.
Mather, A.S. ve Chapman, K., 1998, Environmental Resources. Addison Wesley Longman Singapore Pte Ltd., 279s.
Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G. ve Swişft, M., 1997, Agricultural Intensification and Ecossystem Properties, Science, 277, 504-509 s.
McCutcheon, R., 1979, Limits of modern world. London: Butterworth.
McDonald, A.T., 2000, Ecosystems and their management, In: Kent, A. (ed.), Reflective practice in geography teaching. Paul Chapman, London, 11–25.

McDonald, A. T., 2008, Managing environmental change. In: Holden, J. (ed.), An Introduction to Physical Geography and the Environment, School of Geography, University of Leeds, 762, 675705. www.pearsoned.co.uk/holden

McDonald, A.T., Lane, S.N., Haycock, N.E. ve Chalk, E.A., 2004, Rivers of dreams: on the gulf between theoretical and practical aspects of an upland river restoration, Transactions of the Institute of British Geographers, 29, 257–281.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. ve Behrens III, W.W., (1972, Limits to growth. London: Pan.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., ve Randers, J., 1992, Beyond the limits. London: Earthscan.

Mertoğlu O., 2000, Türkiye'deki Jeotermal Enerji Uygulamalarının Çok Yönlü Önemi ve Dünyadaki Yeri, TMMOB Türkiye II. Enerji Sempozyumu, Ankara, 85 s.

Mete, Z., 1982. Kimi Batı Anadolu diyatomit yataklarının özelliklerinin incelenmesi ve kullanım alanlarının araştırılması. Doçentlik Tezi, E.Ü. Kimya Fak. Kimya Müh. Böl s: 84- 90, İzmir.

Miller, J.R., 1970 Impurities in iron ore: Survey of World Iron Ore Resources da, Birleşmiş Milletler, New York, 35-41.

Millot, G., Farrand, W.R. ve Paguet, H., 1970, Geology of Clays, Springer-Verlag, New York, USA, 429s.

Moody, J.D., 1959, Discussion, in relationship of primary evaporites to oil accumulation: 5th World Petroleum Cong., New York, Proc., sec.1, s.134-138.

Morrey, D.R., 1995, Using Metal-Tolerant Plants to Reclaim Mining Wastes, Mining Engineering, s. 247-249.,

MTA, 1975, Dünya'da ve Türkiye'de metal ve mineral kaynaklarının potansiyeli, ticareti, beklenen gelişmeler, 1. Demir: MTA Yayınları, No 155, Ankara, 24 s.

MTA, 1977, 1. Ulusal Perlit Kongresi, Bildiriler, 20-22 Aralık 1977, Ankara, 184 s.

MTA, 1977, Maden Yatakları Oluşumunun Jeolojik Evrimi ve Pratik Önemi, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

MTA, 1981, Biyogaz. MTA Genel Direktörlüğü tanıtım yayını, Ankara.

MTA, 1981, Güneş Enerjisi, tanıtım bilgileri, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

MTA, 1984, Türkiye'nin Radyoaktif Mineralleri Hakkında Rapor, Arama-Potansiyel ve Teknolojinin Dünü Bugünü ve Geleceği, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara.

MTA, 1993, "Kömür", Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tanıtım yayınları, Ankara, 3s.

MTA, 1994, Mineraller, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını: Ankara, 72 s.

MTA, 1995, MTA, Doğal Kaynaklar Envanteri: Sivas ili doğal kaynaklar envanteri, MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Sivas, 275 s.

MTA, 1998, "Bentonit", Mevcut Durum, Zuhurlar ve Yataklar, Potansiyel Bölgeler, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

MTA, 1999. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt Dairesi Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik (Metal Madenler) Özel İhtisas Komisyonu "Kıymetli Metaller Madenciliği" Raporu, Ankara, 63 s.

MTA, 2000, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Genel Endüstri Mineralleri, Cilt II, Ankara, 76 s.

MTA, 2005, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri:Envanter serisi- 201, Ankara, 849 s.

MTA, 2017, Dünya'da ve Türkiye'de Uranyum ve Toryum yatakları. Maden serisi, 3, Ankara, 35 s.

Muffler, P. L. J., 1986, Geological models of geothermal systems, Geothermal Workshop Aukland NZ.

Muffler, P. L. J., 1976, Tectonic and hydrologic control of the natüre and distribution of geotermal resources , Proceedings, Second U. N. Symposium on the Development and Use of Geotermal Resources, 1, 499-507.

Mumpton, F.A., 1978, Natural Zeolites: A New Industrial Mineral Commodity, In Natural Zeolites, occurence, properties, use, L.B. Sand and F.A. Mumpton eds., Pregamon Press, New York, 285302.

Müezinoğlu, A., 2001, Karbona Bağlı Nedenlerle İklim Değişikliği ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İZMİR.

Müezinoğlu, A., 2005, Altın madenciliğinin ve üretiminin çevresel etkileri: Çevre Bilim ve Teknoloji (TMMOB ÇMO yayını), 2/3, 261-283.

Myers, N., 1993, Population, environment and development. Environmental Conservation, 20, 205-16.

Nagahama, T., 1974, Treatment of Effluent from the Kamioka Concentrator by Flotation Techniques, Including the Development of the Nagahm Flotation Machine, CIM Bulletin, s. 25-29.
Nakoman. E., 1979, Radyoaktif Hammaddeler Jeolojisi, MTA Enstitüsü yayınları, Eğitim Serisi No:20, Ankara.
NAS, 2010, Electricity from Renewable Resources: Status, Prospects, and Impediments. National Academy of Sciences (NAS), ABD.
Nath, B.,Hens, L., Compton, P. ve Devuyt, D. (eds), 1998, Environmental management in practice, Routledge, London. Bu kitap çok ayrıntılıdır ve üç cilte sahiptir. Cilt 2 topraklar, su kalitesi, ulaşım, sürdürülebilir tarım, turizm, balıkçılık, vb gibi fiziksel bileşenlerinin yönetimi hakkında bilgi için iyidir oysa Cilt 3 dünyadaki ekosistemler ile ilgilidir.
Newson, L. A., 1998, A historical-ecological perspective on epidemic disease: Advences in Historical Ecology (ed. W. Balee), Columbia Univ. Press, New York, s. 42-43.
NWCC, 2010, Wind türbine interactions with birds, bats, and theirhabitats: A summary of research results and priority questions. National Wind Coordinating Committee (NWCC), ABD.
Nicholson, K., 1993, "Geothermal Fluids", Springer-Verlag, New York, USA.
Nishkov, I., Alexandrova, L. ve Nedialkova, T., 1993, Coprecipitation – Flotation Removal of Heavy Metal lons, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, s. 491-502.
Nordhaus, W.D., 1973, World dynamics: assesment with-out data. Economic Journal, 83,1156-83.
Norton, G.A., 1984, Resource economics. London: Edward Arnold.
NRC, 2010, Hidden costs of energy: Unpriced consequences of energy production and use. National Academies Press. Washington, DC., Online at National Research Council (NRC) http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12794.
NREL, 2012, Renewable Electricity Futures Study. Hand, M.M.; Baldwin, S.; DeMeo, E.; Reilly, J.M.; Mai, T.; Arent, D.; Porro, G.; Meshek, M.; Sandor, D. eds. 4 vols. NREL/TP-6A20-52409. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL), ABD.
NWCC, 2010, Wind türbine interactions with birds, bats, and theirhabitats: A summary of research results and priority questions. National Wind Coordinating Committee (NWCC), ABD.
Ohle, E.L., 1972, Evaluation of iron ore deposits: Econ. Geol., 56, 331-361.
Oksay, R., 2011, Japonya' nın Nükleer Felaketle İmtihanı, Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji, 25 Mart 2011, 1253, s. 6-7.
Ophulus, W., 1977, Ecology and the politics of scarcity: prologue to a political theory of the steady state. San Francisco. W.H. Freeman.
Oralalp, F., 1994, Rüzgarın gücü: Bilim ve Teknik, v. 315:s. 71.
Owen, L. ve Unwin, T., (eds), 1997, Environmental management: Readings and case studies: Readings and case studies., Blackwell, Cambridge, MA.
Owens, S. ve Owens, P.L., 1991, Environment, resources and conservation., Cambridge University Press, Cambridge. Şuanda sınırlı tarihli olmasına rağmen, çevresel yönetimi ile ilgili genel sorunların çoğu bu metinde tarif edilmiştir. Kaynakların yönetimi hakkında iyi bir teorik tartışma mevcuttur.
Oygür, V., 1991, Demir Cevherlerinin Değerlendirilmesinde Temel İlkeler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:22, Ankara, 95 s.
Oygür, A. V., 2014, Madencilik ve sürdürülebilir kalkınma. Sektörden Haberler Bülteni, Mayıs ayı sayısı, 86-92.
Oygür, A. V., 2015, Altın madenciliğinin sosyal ve ekonomik etkileri üzerine. (www.madencilikturkiye.com).
Ozaner, F., 1991, Enerjide yeni slogan : Dışa bağımsız, yenilenebilir, temiz: Bilim ve Teknik, v. 279: s.35-37.
Öcal, M.D., 1978, Açık İşletmeciliğin El Kitabı: Etibank, c.II, Ankara, 223 s.
Ölmez, E. ve Ercan, T. 1996, Türkiye'de Volkanizma-Jeotermal Enerji İlişkisi: Türkiye Enerji Bülteni, vol.3, no 1-2, s.3-14
Ölmez, E., Akbaşlı, A., Gevrek A. İ., Aydın Ş. N., Ercan, T., Yıldırım, N., 1992, Acıgöl (Sofular- Aksaray) alanının jeotermal enerji olanakları. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 7, Ankara, s. 22-32.

Ölmez, E., Ünlü ,M. R., Ercan, T., Can A. R., 1993, Nemrut Tatvan- Bitlis) jeotermal alanının jeotermal enerji olanakları Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 8, Ankara, s. 231-236.
Ölmez, E., Ercan, T., ve Yıldırım, T., 1994, Tendürek (Doğu Anadolu) jeotermal alanının (Diyadin Zilan Çaldıran) volkanolojisi ve jeotermal enerji olanakları.Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.
Önal, G., Bilgin, N. ve Nizamoğlu, S., 1984, Dünya demir madenciliğinin bugünü ve teknolojik gelişmeler: Türkiye'nin Demir Cevheri İmkanları ve Değerlendirilmesi Semineri, İskenderun, 118.
Önenç, D. İ., 2003, Sedimenter kaya mermerciliğinde bloklarda ürün alınmasını engelleyen jeolojik oluşumlar: Mermer: Meslek içi eğitim semineri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, no.74, 1319 Ocak 2003, Ankara, 42-46.
Önem, Y., 1997, Sanayi Madenleri: Kozan Ofset Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Şti., Ankara, 368s.
Özbayoğlu, G., Akkurt, S., Topkaya, Y. ve Karakaya, İ., 1992, Recovery of Germanium and Other Metal Values from the Electroyte Purification Precipitates of Çinkur Zinc Plant, 4th Int. Min. Proc. Symp., Antalya, s. 679-690.
Özbek, T., 2011, Jeotermal kaynakların sağlık ve termal turizmde değerlendirilmesi. Jeofizik Bülteni (www. Jeofizik.org.tr), s.27-37.
Özdemir, O., 1975, Evaporitler-1, TPAO Arama Grubu Yayını, Nuray Matbaası, Ankara,282s.
Özer, Z., 1996, Fosil yakıtsız yaşama doğru: Bilim ve Teknik, v. 338, s. 54-61.
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, M., 2007, Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
Öztürk, O.Ç., 1999, Sivas İli Doğal Kaynaklar Envanteri, cilt 1, MTA Bölge Müdürlüğü, Sivas.
Paillard, D., 2001, Glacial cycles: toward a new paradigm, Reviews of Geophysics, 39, 325–346.
Pamir, N., 2022. Türkiye ve enerji güvenliği (https://haber.sol.org.tr/haber/turkiye-ve-enerji-guvenligi341857; Erişim, 15.07.2022).
Paquet, H., 1970, Evolution Gėochimique des Minėraux argileux Dans Ies Altėrations et Ies Sols des Climats Mėditerranėens Tropicaux a Saison Contrastėes: Memoire Service Carte Gėol. a'Alsace et de Lorraine, 30, 210 s.
Parsons, H.L. (ed), 1977, Marx and Engels on ecology. Westport, Connecticut: Greenwood.
Pearce, D. W., ve Tunner R. K., 1990, Economics of Natural Resources and the Enviroment. Baltimore: Johns Hopkins Univercity Press.
Petts, J. (ed.), 1999, Handbook of environmental impact assessment), Blackwell Scientific, Oxford.
Peterson, E.C., 1980, Iron ore: Mineral Facts and Problems de, W. Knoerr (ed), Bur. MinesBull. 671, Washington, 433-453.
Peterson, J.A., ve R.J. Hite, 1969, Pennsylvanian evaporite-carbonate cycles and their relation to petroleum occurrrence, southern Rocky Mountains: AAPG Bull., v.53, s.884-908.
Peterson, J.R. ve Gschwind, J., 1972 Leachate quality from acidic mine spoil fertilized with liquid digested sewage sludge, Journel of Environmental Quality, s. 410-412.
Pettibone, H.C. ve Kealy, C.D., 1972, Engineering Properties and Utilization Examples of Mine Tailings, Proc. 3rd. Mineral Waste Utilization Symposium, Schwarz, M.A. (Edit), U.S.B.M., I.T.T. Research Institute, Chicago, s. 161-169.
Pettifer, L, 1981, Iron oxside minerals-the other uses: Ind. Miner. (GBR), no 161, 53-63.
Philippi, G.T., 1965, On the depth, time and mechanism of petroleum generation: Geochim. Et Cosmochim. Acta, v.29, s.1021-1049.
Pierce, D., 1992, New England Council to Cut Fishing Effort in Half over Next 5 Years. Division of Marine Fisheries News. Boston: Massachusetts Division of Marine Fisheries.
Qian, M.G., Shi, P. ve Xu, J.L., 2010, Ground pressure and strata control. China University of Mining and Technology Press, Xuzhou (in Chinese).
Ray, G.F., 1984, Mineral Reserves: Projected Lifetimes and Security of Supply, Resources Policy, vol. 10, s. 75-80.

Rees, J., 1991, Resources and the environment: scarcity and sustainability. In Bennett, R.J. and Estall, R.C. (eds), Global change and challenge. London: Routledge, s. 5-26.
Reno, H.T., 1970, Benefication and smelting: Survey of World ıron Ore Resources da, Birleşmiş Milletler, New York, 32-34.
Roskill, 1979, The Economics of Bentonite, Fuller's Earth and Allied Clays: Roskill Inf. Serv., (Ireland) Ltd, London, s. 128.
Rozes, B., 1981, Sodium-exchanged bentonites in France: Industrial Minerals, Nov., s. 59-64.
Rowbotham, P.J., 1979, The impact of changes in the bulk shipping market on iron ore transportation: Iron Ore Symposium da, R. Cordero (ed), Metal Bull., Amsterdam, 90-100.
Ruckelhaus, W.D., 1989, Towards a sustainable world. Scientific American, 261, 114-20.
Salem, R., Eren, A., Özbahçeci, H., Araç, M., Öncü, H., İşbilir, M., Üngör, A., Biçer, Z., Yılmaz, Z., ve Yılmaz, E., 1986, GDA X. Bölgedeki Maestrihtiyen sedimanlarının jeolojik ve hidrokarbon açısından yorumu: TPAO Araştırma Merkezi Rapor no. 1009, Ankara, 53s.
Saner, S., 1981, Petrol Oluşumu, Birikmesi, Aranması ve Aramacılığın Gelişimi, Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Dizisi, Ankara, 31s
Saraçoğlu, N., 2000, 3. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Biyokütle Enerjisinin 21. Yüzyılda Dünya ve Türkiye İçin Önemi, Cilt 2, İstanbul.
Sarıer, N. ve Önder, E., 2010, Altın: Nanoteknolojinin Hizmetinde Soylu Bir Metal. Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji, 1239, s.14.
Satchell, M., 1992, The Rape of the Oceans, U.S. News ve World Report 112(24):64-75. Sav,
M., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Ülkemizin Mevcut Potansiyeli
https://www.tenva.org/makale-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-onemi-ve-ulkemizin-mevcutpotansiyeli/ (Erişim,16 Mayıs 2022).
Savaş, M., 1999, Bor: Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
Scheer, L., 1971, Çelik Nedir (Çev. M. Sağışman): İstanbul, 139 s.
Schneiderhohn, N., 1941, Lehrbuch der Erzlagerstattenkunde: Verlag von Gustov Fischer, Jena, 858 s.
Schottman, F.J., 1985, Iron and steel: Minerals Facts and Problems da A.W. Knoerr (ed). Bur. Mines Bull. 675, Washington, 405-424.
Schramm, G. and Warford, J.J. (eds), 1989, Environmental management and economic development. Washington: World Bank.
Scruton, P. C., 1971, Deposition of Evaporites: AAPG reprint series no 2,"Origin of Evaporites", vol.37 no.11, s. 2498-2512
Sevinç, C., 2022a, Türkiye Toryum Rezervlerinden Nükleer Enerji üretmek için yararlanılmalıdır. OAPGD Enerji Çalışma Grubu Başkanlığı Raporu, Ankara. s. 11.
Sevinç, C., 2022b, Hızlandırıcı sürümlü sisteme dayalı nükleer reaktör teknolojisinde Belçika'dan
MYRRHA (çok amaçlı hibrid yüksek teknoloji uygulamaları için araştırma reaktörü) deneyiminin
bugün geldiği nokta (http://toryumendertopraklarplatformu.blogspot.com/2020/06/hizlandirici-surumlu-sisteme-dayali.html).
Sillitoe, R.H., 1983, Geological Association of Canada, Special Paper 40, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ankara, 403-417 s.
Simon, J.L., 1981, The Ultimate resource, Oxford: Martin Robertson.
Smith, A., 1776, The wealth of nations (1970 edn). Hormondsworth: Penguin
Smith, V.K., 1978, Measuring natural resources scarcity: theory and practice. Journal of Environmental Economics and Management, 5, 150-71.
Stach, E. Mackowsky, M. Th, Teichmuller, M. Taylor, G. H., Chandra, D. ve Teichmuller, R., 1982, Stach's Textbook of Coal Petrology. 3rd edition, Berlin.
Stevens, C., 1993, The environmental effects of trade. World Economy, 16, 439-51.
Stevenson, G.G. (1991) Common property economics: a general theory and land use applications. Cambridge: CUP.
Suliman, M., 1993, Civil war in the Sudan: from ethnic to ecological conflict. The Ecologist, 23, 104-9.
Sultansoy, S., 2021a, Neden Toryum? 'Sunum'. TOBB ETÜ Mühendislik Fakültesi, Ankara, 69 s.

Sultansoy, S., 2021b, Nükleer Enerji Tehdit mi, Alternatif mi? 'Makale'. TOBB ETÜ Mühendislik Fakültesi, Ankara. 14 s.
Sutton, P., 1973 P. Establishment of vegetation on toxic coal mine spoils. Presented at the research and applied technology symposium on mined-land reclamation, s. 245-267.
Şahin, A. İ., 2001, Maden Kanunu'nun Kil-Kaolen Grubunda ve Sektörde Yarattığı Sorunlar, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, S.Ü., Konya, s. 466-468.islik
Şener, F., 2004. Beypazarı Trona Yatağı'nın Jeolojisi, Evaporitler-Tuzlar Semineri, MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 81, Ankara, s.58-74.
Şenyiğit, A., 2011, GAP yöresinde kanser vakaları ve jeolojinin ilgisi. 2. GAP ve Jeoloji Sempozyumu.
24-25 Kasım, 2011, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi ve Jeoloji Mühendisleri Odası'nın iş birliği
ile) Diyarbakır.
Şimşek, C. ve Rabet, R. S., 2016, Jeotermal kuyularda bazı sondaj problemlerinin yeraltı suyuna etkileri; Alaşehir (Manisa) Örneği. III. Sondaj Sempozyumu ve Sergisi, 7-9 Aralık 2016- ODTÜ KKM Ankara, s.19-20.
TAEK, 1988, Dünya Uranyum Kaynakları, Yeterliliği ve Türkiye'nin Uranyum Potansiyeli, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) yayını, Ankara.
TAEK, 2000, Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Ankara.
Taggart, A. F., 1945, Handbook of Mineral Dressing. John Wiley and Sons, New York, USA. Talbot,
C.J. ve Jackson, M.P.A., 1987, Salt Tectonics, Scientific American, vol.257, No.2, s.58-67
Tanrıverdi, A. ,R., 1998, Petrolün oluşumu ve aranması , TMMOB , Ankara.
Tarhan, F., 1989, Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Basımevi Trabzon, 255s
TÇV, 2006, Türkiye' nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Türkiye Çevre Vakfı (TÇV) yayını no. 175, Ankara, 368 s.
Thom, R.F., 1968, Une théorie dynamique de la morphogénèse, In: C.E.H. Waddington, Towards a theoretical biology, Vol. I. Edinburgh University Press, Edinburgh, 152–166.
Thomas, C., 1992, The environment in international relations. London: Royal Institute of International Affairs.
Tietenberg, T. H., 1992, Environmental ve Natural Resource Economics. 3rd ed. New York: Harper Collins Publisher.
Tisdell, C.A., 1990, Natural resources: growth and development, economics, ecology and resource scarcity. New York: Praeger.
Tisdell, C. A. 1991. Economics of Environmental Conservation: Economics of Environmental and Ecological Management. Amsterdam ve New York: Elsevier Science Pub. Co.
TMİB, 1988, Ponza Taşı Semineri: Türkiye Maden İhracatçıları Birliği, İstanbul.
TMK, 1994, Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (TMK), Ankara.
TMMOB, 2021. Büyük Menderes Havzasında Jeotermal Enerji Santralleri Gerçeği ve Aydın İlinde Kurulu
JES'lerin Çevresel Etkileri, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Selanik Cad.
No:19/1 Yenişehir 06650 Ankara, 113 s.
Toland, G.C. ve Swaisgood, J.R., 1973, The Control of Water in Tailings Structures, Aplin, C.L., Argall,
G.O. (Co-Edit), Miller Freeman Publications Inc., San Francisco, s. 138-163.
Tolun, R., 1982, Bor Bileşikleri ve Üretim Teknolojisi: TUBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü, Kocaeli, 57 s.
TPAO, 1989, Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı Doğal Gaz Çalışmaları Raporu, Ankara.
Tsoutsos ve diğerleri, 2005, Environmental Impacts From The Solar Energy Technologies. Energy
Policy, 33, 289-296, 2005.
TUBİTAK, 2002, Bilim ve Teknik, Sayı 412, s. 34-47.
Tucker, E.M., 1987, Sedimantary Petrology, An Introduction, Blackwell Scientific Publications, 252 s.
Tuncalı, E., Çiftçi, B., Yavuz, N., Toprak, S. Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H., ve Şahin, N., 2002, Türkiye Tersiyer kömürlerinin kimyasal ve teknolojik özellikleri: MTA yayını, Ankara, 401 s.
Türkcan, E., 1981, Teknolojinin Ekonomi Politiği: AİTİA Yayın., No 151, Ankara, 258 s.

Türkiye Çevre Atlası, 1996, Çevre Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü yayını Ankara. Türkiye Çevre Vakfı, 2006, Hidrojen Enerjisi: Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ankara, s.165-185.
TÜSİAD, 1998, 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği yayını, T/98-12/239, İstanbul.
Tüysüz, O., 1994, Petrol Jeolojisi Ders Notları, İTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
U.S Geological Survey Minerals Yearbook, 2001
Uslu, O. ve Türkman, A., 1987, Su Kirliliği ve Kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1, Ankara, 162s.
Uyar S., Erkan K., Karakaş E., 1995, Rüzgâr Enerji Sistemi ve Kontrolü, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 85, Ankara, 75 s.
Uzkut, İ. ve Tuncer, F., 1981, Samsun İzabe Tesisi Curuf ve Flotasyon Atıklarının Metal İçeriği ve Değerlendirilmesi, Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik Kongresi 7, Ankara, s. 295-318.
Ültanır, M.Ö., 1966, 21.Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi, Bilim ve Teknik 340, TUBITAK, Ankara.
Ültanır, M.Ö., 1996, Yel değirmenlerinden günümüze rüzgar enerjisi: Bilim ve Teknik,v. 341: s. 56-61.
Ültanır, M.Ö., 1996, 21. Yüzyılın yakıtı, hidrojen: Bilim ve Teknik, v. 344: s. 58-62.
Ünal, E., Kara, D. ve Vatan, B., 1992, Açık Ocak Kömür Madenciliği Sırasında Bozulan İşletme Sahalarının Yeniden Düzenlenmesi ve İyileştirilmesi, Madencilik Dergisi, s. 5-16.
Valsaraj, K.T. ve Thibodeaux, L.J., 1993, Non-Foaming, Adsorptive Bubble Process for Waste Water Treatment, Minerals and Metallurgical Processing, s. 24-29.
van Ast, J.A. ve Boot, S.P., 2003, Participation in European water policy, Physics and Chemistry of the Earth, 28, 555–562.
Velde, B., 1992, Introduction to Clay Minerals. Chemistry, origins, uses and environmental significance: Chapman and Hall., London, 198s.
Vesilind, P. A., 1979, "Environmental Pollution and Control"; Ann Arbor Science Pubhishers Inc.; Ann Arbor, Michigan.
Vesilind, P. A., Morgan, S. M. ve Heine, L. G., 2012, Introduction to Environmental Engineering (Çevre Mühendisliğine Giriş, Çeviri editörü: İsmail Torüz; Nobel Yayınları), Ankara, 206 s.
Vulimini, M.R., Teyart, P. ve Stammers, M.A., 1985. Lawyers Gold Silver Deposits, British, Colombia, Case Histories, Edited by V.F. Hollister, Published by Society of Mining Engineers of the American Institue of Mining, Metalurgical and Petroleum Engineers Inc., New York, 149-164 s. Wang, W., Cheng, Y.P., Wang, H.F., Li, W. ve Wang, L., 2015, Coupled disaster-causing mechanisms of strata pressure behavior and abnormal gas emissions in undergraund coal extraction.
Environmental Earth Sciences, 74/9, 6717- 6735.
Warford, J.J., 1987, Natural resources and economic policy in developing countries. Annals of Regional Science, 21, 3-17.
Weeks, L.G., 1961, Origin, migration and occurence of petroleum, in G.B. Moody, ed., Petroleum exploration handbook: New York, McGraw-Hill Book Co., sp.5-1, 5-50.
White, W. B., 1988, Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains: Oxford Univ. Pres, England, 464 p.World Population Statistic, 1986.
Williams, R.E., 1975, Waste Production and Disposal in Mining-Milling-Metallurgical Industries, Miller Freeman Publication Inc., San Francisco, s. 124-136.
Williamson, N.A., Johnson, M.S. ve Bradshaw, A.D., 1982, Mine Waste Reclamation, Chandlers Ltd., East Sussex, England, s.6-14.
Wilson, R., 1980, Risk/Benefit Analysis for Toxic Chemicals. Ecotoxicology ve Environmental Safety, 4, 370-383.
Wood, P.A., 1991, Meeting the Environmental Challenge, Min. Tech. 91, s. 190-192.
Woolnough, W.G., 1937, Sedimantation in barred basin, and source rocks of oil: AAPG Bull., v.21, s.1107-1157.

www/7.BYKP/ekutup96/0480/diatomit/diatomit.html/
www.abb.com.tr www.akminmadencilik.com

www.altinmadencileri.org. www.ankaraperlit.com,
2016 www.antinsaat.com
www.bilimtekno.com/heber.php?haber_id=22
www.blogcu.com.
www.google.com.tr/görseller/perlit (2016).
www.hydrogen.gov.
www.maden.org.tr/
www.makaleler.com
www.mta.gov.tr.
www.new-ig.eu (NEW IG_Fuel Cell and Hydrogen technologies in Europe 2011 Financial and technology outlook on the Europian sector ambition 2014-2020).
www.sancakdar.com.tr

Yalçın, H., 2000, Killere İlişkin Ders Notları; CÜ Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, 210 s.

Yalçın, H., Baysal, O., 1991. Kırka (Seyitgazi-Eskişehir) borat yataklarının jeolojik konumu, dağılımı ve oluşumu. Maden Tetkik Arama Dergisi, 113, 93-104.

Yalçın, H., Gündoğdu, M. N., 1987. Neojen yaşlı Emet gölsel volkanosedimanter baseninin mineralojikpetrografik incelenmesi: Neoformasyon minerallerinin oluşumu ve dağılımı. H.Ü. Yerbilimleri Dergisi, 14, 45-61.

Yalçın, T. ve Ateşok, G., 1979, Demir Cevherlerinin zenginleştirilmesi: Madencilik, XVIII (2), 20-32.

Yannopoulas, J.C., 1991, The Extractive Metallurgy of Gold, Van Nostrand Reinhold, USA.

Yarman, T., 2006, Nükleer enerji nedir ve nasıl oluşur? : TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, Haber Bülteni, sayı, 3, Ankara, s. 8-9.

Yeniyol, M., 1987, Enez (Edirne) Bentonitin Jeolojisi Minerolojisi ve Oluşumu: 3. Ulusal Kil Semp., Ankara, s. 123-137.

Yıldız, A., 1997. Seydiler (Afyon) Diyatomit Cevherinin Jeolojisi ve İzolasyon Tuğlası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, AKÜ Fen Bil.Enst. Afyonkarahisar, 128s.

Yıldız, N., 2022a. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, 4 Cilt, (IV. Baskı), Ertem Yayınevi, Ankara, 1900 s.

Yıldız, N., 2022b. Altın Madenciliği Notları, yildizn53@gmail.com

Yıldız, N., 2022c. Cıva kullanarak altın üretimi 'Amalgasyon Yöntemi' Notları, yildizn53@gmail.com

Yılmaz, A., 2002, Her derde deva hazinemiz: Bor, TUBİTAK aylık popüler bilim dergisi: Bilim ve Teknoloji, S. 414, s. 38-48.

Yılmaz, A. 2008, Çevresel Etki Değerlendirmesi: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 111, Sivas, 275s.

Yılmaz, A. 2009, Çevre Kaynakları: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını no: 117, Sivas, 348s.

Yılmaz, A., Değirmenci, M. ve Sarıoğlu, M., 2002, Ulaş İlçesi, Tecer dağı mevkii Kayapınar köyü Taşocağı Ön ÇED raporu, CÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, 52s.

Yılmaz, S., 1996, Biyogaz Üreteçlerinde Isı Borulu Güneş Kollektörü İle Enerji Planlaması, 15-17 Kasım 2000, Anaerobik Yöntemle Organik Atıklardan Biyogaz Eldesi, 3. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt 2, İstanbul.

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. Young, O.R., 1982, Resource regimes: natural resources and social institutions. Berkeley: University of California Press.

Yuva, H., Bilen, B., Eroğlu, O., Harmanşa, H. ve Seyhan, S., 2011, Madencilikte ortaya çıkan atıkların çevresel etkileri ve alınması gereken önlemler: Cumhuriyet Ünversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Sivas, 92s.

Yüce, E. ve Önal, G., 1997, "Altın Madenciliği ve Çevre", Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı, Ankara, 2360 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.

Zanbak, C., 2012, Madencilikte Çevresel Risk Yönetimi. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Madencilikte Çevre Yönetimi Semineri. 12-13 Ocak 2012, Afyonkarahisar (Mühendislik Projelerinin Çevresel Değerlendirmesinde Mühendislik Jeolojisinin Yeri. Sözel Eğitim Konferansı, Jeoloji Mühendisleri Odası, 09 Ocak 2016, Ankara).

Zanbak, C. ve Arthur, R. C., 1986, Geochemical and engineering aspects of anhydrite/gypsum phase transition. Bulletin of the Association Engineering Geologists, 13, 4, ss. 419-433.

Zitzmann, A., 1977, Iron Ore Deposits of Europa and Adjacent Areas, Hannover.

Zitzmann, A. ve Neumann-Redlin, C., 1977, The iron ore deposits of Spain: Iron Ore Deposits of Europe and Adjacent Areas da, A. Zitzmann (ed), Hannover, 269-278.

Zobler, L., 1962, An economic-historical view of natural use and conservation. Economic Geography, 38, 189-194.

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 083789