



SİVAS KENTİ KATI ATIK DEPONİ ALANININ ÇEVRE JEOLJİSİ

Ali YILMAZ, Eyüp ATMACA

*Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, SİVAS
E-posta: ayilmaz@cumhuriyet.edu.tr*

ÖZET: Sunulan çalışma, Sivas il merkezi deponi alanının, deponi alanı özelinde jeolojik, hidrojeolojik ve jeomühendislik özelliklerini içeren çevre jeolojisini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Sivas il merkezi deponi alanı, Sivas'ın batısında, Sivas - Erzincan karayolunun yaklaşık 15. km'sinde, Seyfe belı dolayında, güneye Kızılırmak'a doğru açılan bir vadide yer almaktadır.

Deponi alanı, ağırlıklı olarak sınırlı bir akifer konumunda olan Oligo-Miyosen yaşlı karasal kırıntılı kayalarla, Kuvaterner yaşlı alüvyon ve topraktan oluşan ince bir örtünün üzerinde yer almaktadır.

Deponi alanının temelini oluşturan Oligo-Miyosen yaşlı karasal kırıntılı kayalar, heterojenliği nedeniyle birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre SW (iyi derecelenmiş kum) ve ML (düşük plastisiteli inorganik silt) sınıflarına, Kuvaterner yaşlı alüvyon ve toprak örtü ise CL (düşük plastisiteli inorganik kil) sınıfına karşılık gelmektedir. Öte yandan zemini oluşturan Kuvaterner yaşlı örtünün geçirimsizlik katsayısının $1,2 \times 10^{-6} - 3,11 \times 10^{-6}$ m/sn arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler, deponi alanları standartlarında önerilen 1×10^{-8} m/sn değerinden oldukça yüksektir.

Yukarıda sunulan temel özellikler ışığında, deponi alanı sızıntı sularının, yeraltısularını sınırlı da olsa kirlenme potansiyeline sahip olduğu, deponi alanının 500m güneybatısında akmakta olan Kızılırmak'ın ise büyük bir ölçüde kirlenme riski altında olduğu söylenebilir. Buna göre, deponi alanı zemininin en azından deponi alanı standartlarında öngörülen bir kil katmanı ya da aynı özelliklere sahip yapay bir membranla örtülmesi ve sızıntı sularının geçirimsiz bir zemine sahip gölette toplanıp bertaraf edilmesinde yarar vardır.

Anahtar Kelimeler: Katı Atıklar, Çevre Jeolojisi, Yer Seçimi

ENVIRONMENTAL GEOLOGY OF THE SIVAS CITY WASTE LANDFILL AREA

ABSTRACT: The presented study aims to determine the environmental geology containing geological, hydrogeological and geo-engineering properties of the Sivas city solid waste disposal area.

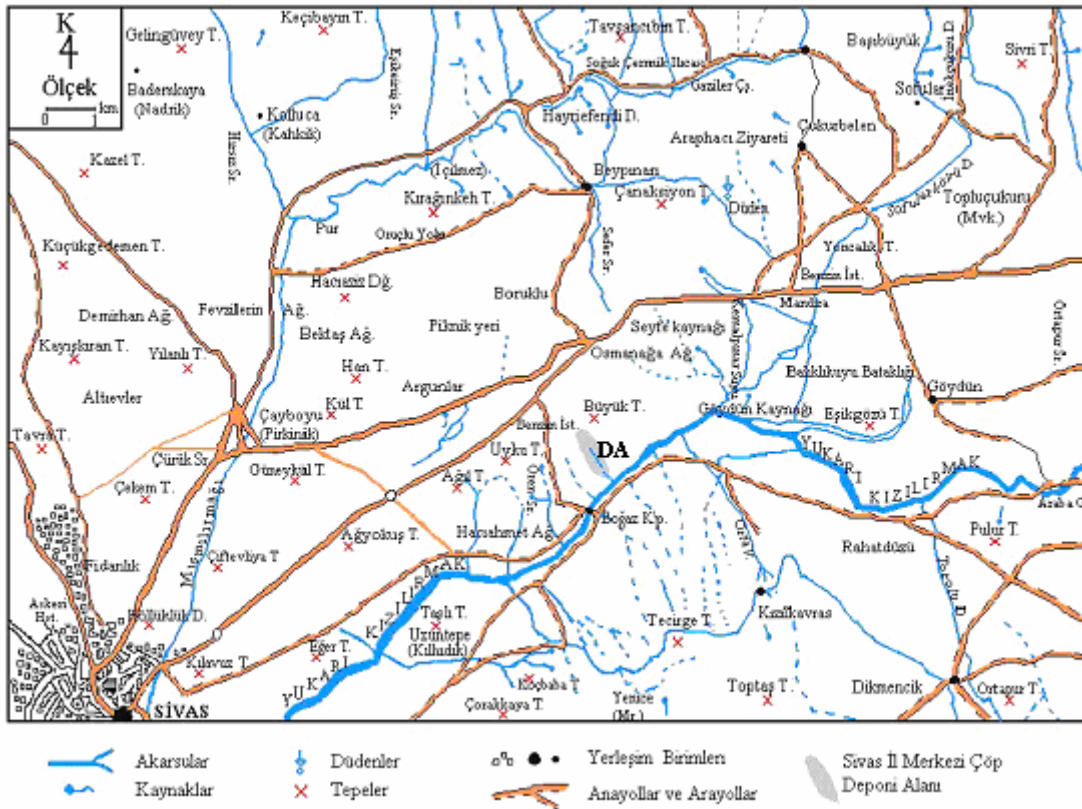
Sivas city waste disposal area is situated to the west of Sivas settlement, at 15th km of Sivas- Erzincan highway, around Seyfebeli in a valley which is widening to the south, up to Kızılırmak river.

The solid waste disposal area is situated on the Oligocene-Miocene continental rocks having the properties of a limited aquifer and a thin cover composing of Quaternary alluvium and soil.

Because of Oligo-Miocene continental clastic rock heterogeneity, the clastic rocks are classified as SW (well graded sand) and ML (inorganic silt having a low plasticity), on the basis of the unified soil classification system, which representing the basement of the waste disposal area. Quaternary alluvium and soil cover are classified as CL (inorganic clays having a low plasticity). It is determined that permeability coefficient of the Quaternary cover varies from $1,2 \times 10^{-6}$ m/sn to $3,11 \times 10^{-6}$ m/sn. These values are much higher than the 1×10^{-8} m/sn value which proposed in the waste disposal standards

In the lights of the main characteristics presented above, it can be said that the seepage waters have the pollution potential partly on the underground waters, but the Kızılırmak river, which situates 500 m southwest of the waste disposal area is under a very high pollution risk. That's why the waste disposal area must be covered by a clay level, defined in the waste disposal standards, or an impervious artificial membran representing the same standards, and seepage waters must be removed after draining to an impervious base man-made pool.

Key Words: Solid Wastes, Environmental Geology, Site Selection



Şekil 3. Sivas il merkezi çöp deponi alanı dolayının hidrografi haritası (DA, deponi alanı).

2.1. İnceleme Alanı Dolayının Kayatürü Toplulukları

Sivas havzası uzun zamandan beri incelenmektedir [1,2]. Bu çalışmalarda ve daha sonra yapılan yorumlarda [3, 5] Sivas havzasının ofiyolitli karışık ve metamorfitlerden oluşan bir temel üzerinde geliştiği kabul edilmektedir. Bu temelin üzerinde ise Şekil 4'te sunulan istif yer almaktadır. Sunulan istife göre Sivas havzasının alt düzeyleri, genel olarak Orta-Üst Eosen yaşlı denizel kırıntılı kayalar, Üst Eosen- Oligosen yaşlı masif jipsler, Oligo-Miyosen yaşlı karasal kırıntılı kayalar ve bu kayaları uyumlu olarak izleyen yer yer katmanlı jips yaygılarından oluşmaktadır. Bu düzeyin üzerine ise sık denizel karbonatlar ve sık denizel –karasal kırıntılı kayalarla jips ara katkılarının yer aldığı Alt-Orta Miyosen yaşlı istif, açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı kayalar ve gölsel karbonatlar ile Kuvaterner yaşlı alüvyon ve topraktan oluşan örtü, sıra ile daha eski tüm birimlerin üzerinde açılı uyumsuzlukla yer almaktadır.

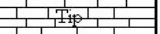
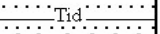
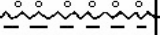
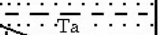
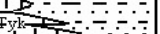
Yukarıda sunulan stratigrafik istiften de anlaşıldığı gibi kayatürlerinin büyük bir bölümü akifer ya da en azından sınırlı bir akifer niteliğindedir. Böyle bir alanda deponi yerini belirlemek oldukça güç olup, kayatürü toplulukları yeraltı ve yüzey suları ile olan ilişkilerini ayrıntılı bir biçimde ortaya koymayı gerektirir.

Bölgesel jeolojik veriler incelendiğinde deponi alanı yöresinde yer alan Oligosen yaşlı Selimiye formasyonu'nun altta Bozbel formasyonu, üstte Küçüktuzhisar jipslerinin yer aldığı bir temelin üzerinde bulunduğu söylenebilir (Şekil 4).

2.1.1. Selimiye formasyonu

Sivas Tersiyer havzasında Oligosen yaşlı kırıntılı karasal oluşuklar, Selimiye formasyonu olarak adlandırılmıştır [1].

Genel olarak morumsu, kırmızı yer yer alacalı gri renkte olan çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve çamur taşı ardalanmasından oluşan birim, kalın, orta-kalın ve orta-ince katmanlıdır. Kırıntılı düzeylerde derecelenme ve çapraz katmanlanma gibi sedimenter yapılar izlenmektedir.

Jeolojik yaş	Formasyon	Kayattürü	Kalınlık(m)	Açıklamalar
Kuva			50	Gevşek çimentolu alüvyon (Qa) ve Traverten (Qt)
Pliyosen			250	İncesu formasyonu Tıp, Porsuk üyesi, gölsel karbonatlar Tid, Derindere üyesi, turuncumsu karasal kırıntılı kayalar
Miyosen	Üst		200	Ta, Apa formasyonu - sığ denizel yer yer karasal çakıltası, kumtaşı, kıltaşı Tyk, Karacaören formasyonu Yoğurtluadağ üyesi- sığ denizel kireçtaşı
	Alt		550	Th, Hafik formasyonu, masif jips, jips ara katkılı kırıntılı düzeyler ve kırıntılı düzeyler kapsayan katmanlı jipsler
Oligosen			300	Ts, Selimiye formasyonu, genel olarak karasal çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ardalanması
Eosen			350	Tk, Küçüktuzhisar jipsleri, masif yer yer katmanlı ve kırıntılı düzeyler kapsayan jipsler
	Bozbel		>250	Tb, Bozbel formasyonu, orta, ince taneli kırıntılı kayalar

Şekil 4. Sivas il merkezi deponi alanı dolayının genelleştirilmiş dikme kesiti.

İnceleme alanında yüzeylenen en alt düzeyi temsil eden Selimiye formasyonu, inceleme alanı dışında ve özellikle Sivas Havza'sının güney kenarında Küçüktuzhisar Jipsleri'nin üzerine uyumlu ve geçişli olarak gelmektedir. Bölgesel jeoelektrik haritaları projesi (12) kapsamında yapılan öz direnç incelemeleri ve yapılan enine kesitlerde ortaya konulan birimlerin kalınlıkları incelendiğinde, deponi alanının altında ve yaklaşık 500 m derinlikte Küçüktuzhisar jipslerinin yer aldığı kabul edilebilir (Şekil 5 ve 6). Buna göre deponi alanının temelini oluşturan Oligosen yaşlı Selimiye Formasyonu'nunda bir sondaj yapılması durumunda, yaklaşık 500m derinlikte Üst Eosen – Oligosen yaşlı Küçüktuzhisar jipsleri'ne ulaşması beklenmektedir.

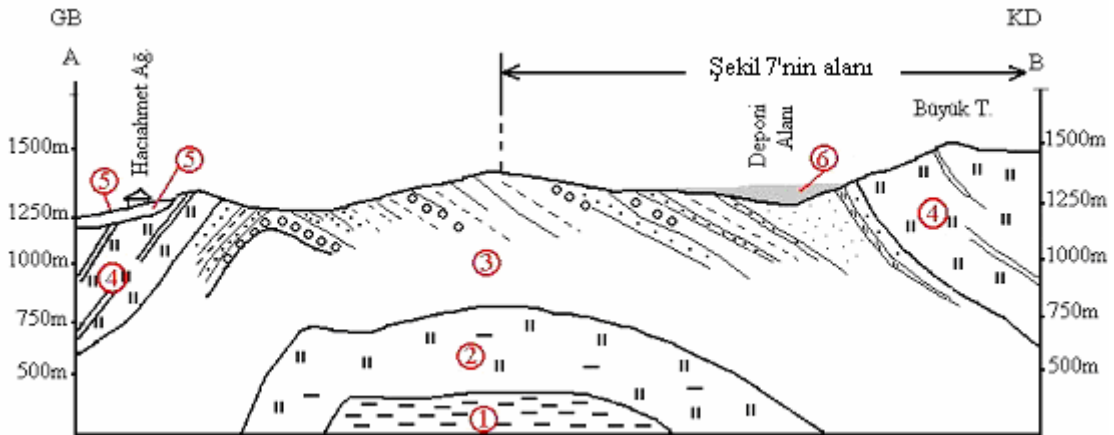
Oligosen yaşlı karasal kırıntılı kaya türlerinden oluşan bu birim, Sivas yöresinde kaliteli su içermesi açısından tipik bir akifer niteliğindedir (Bu akiferden boşalan suyun tipik örneğini Kayseri yolu 10. km'sindeki Taşlıdere Petrol Ofisi İstasyonu çeşmesinde görmek mümkündür (Söz konusu su, Taşlıdere Petrol İstasyonunun 7-8 km kadar güney doğusundaki tepelerin eteklerinde Selimiye formasyonu kumtaşlarının üst seviyelerinden çıkan kaynakların kapte edilerek getirildiği sudur). Birimin özellikle çakıltası ve çakıllı kumtaşı ve kumtaşı düzeyleri iyi

bir akifer olmakla beraber, kıltaşı ve çamurtaşından oluşan ince taneli kesimi geçirimsiz temeli temsil eder.

Öte yandan bu birim, deponi alanı olarak kullanılan yerin temelini oluşturmaktadır (Şekil 5 ve 6). Onun için Selimiye formasyonu'nun inceleme alanında a, b, c, d, e, ve f gibi alt düzeylere ayrılarak, ayrıntılı bir biçimde irdelenmesinde yarar görülmüştür. Şekil 7'de görüldüğü gibi bu birimin deponi alanı özelindeki en altta yer alan a düzeyi, kıltaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Bu düzeyin, inceleme alanının dışında çakıltaşı, kumtaşı ve kıltaşı ardışımı biçiminde tekdüze olmayan bir yapıdaki topluluğun üzerine geldiği bilinmektedir.

Birimin **b** düzeyi ise orta ve kalın katmanlı yer yer çakıllı olan ve bol oranda eklemli bir kumtaşı düzeyi ile temsil edilmektedir. **c** düzeyi, kıltaşı ve çamurtaşı ardışımından oluşmaktadır. **d** düzeyi **b** düzeyinin özelliklerini taşımakta olup daha incedir. **e** düzeyi ise başlıca çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, çamurtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. En üstte yer alan **f** düzeyi katmanlı jips ve ince taneli kırıntılı düzeylerin ardalanması ile temsil edilmektedir. Bu düzey, aynı zamanda Selimiye formasyonu ile üstte yer alan Hafik formasyonu arasındaki geçişli bir ilişkiyi yansıtmaktadır. Deponi alanı, ağırlıklı olarak **e** ve **f** düzeyleri üzerinde bulunmaktadır (Şekil 7 ve 8).

Bu düzeylerden **b** ve **d** oldukça kırıklı ve eklemli yapıda olmaları nedeniyle iyi bir akifer niteliğindedir. Deponi alanının üzerinde yer aldığı **e** ve **f** düzeyleri ise ince ve iri taneli kayatürlerinin yanal ve dikey yönde sıkça geçişler yaptığı heterojen bir yapıda olmaları nedeniyle iyi bir akiferin özelliklerini yansıtmamaktadırlar.

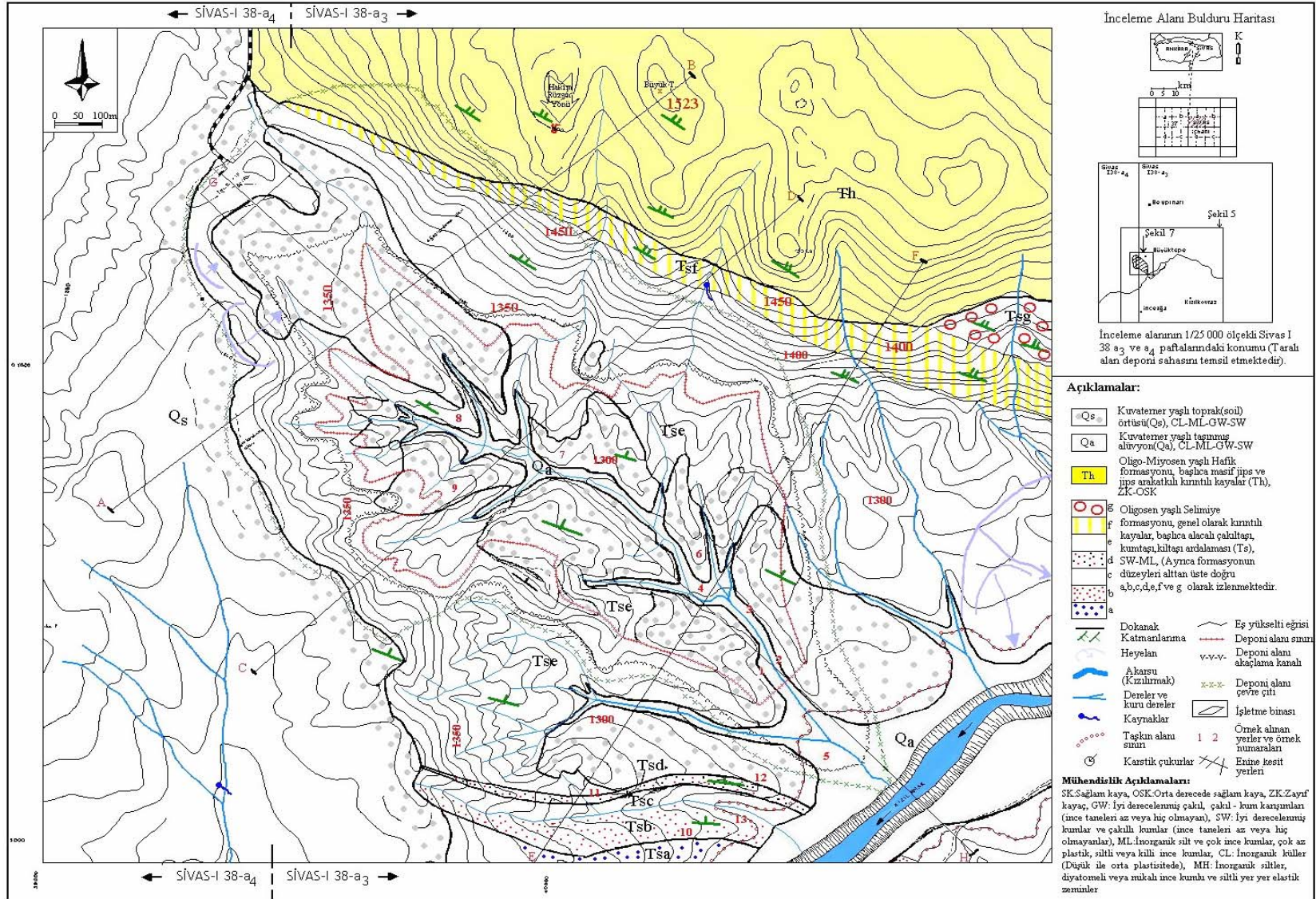


Şekil 6. Sivas il merkezi deponi alanı bölgesel enine kesiti ve derin yapılarla olası ilişkisi (Kesit yeri Şekil 5'tedir). Açıklamalar: 1- Orta-Üst Eosen yaşlı Bozbel formasyonu; denizel orta ve ince taneli kırıntılı kayalar, 2- Üst Eosen-Oligosen yaşlı Küçüktuzhisar jipsleri, masif yer yer katmanlı ve kırıntılı ara katkılı jipsler, 3-Oligosen yaşlı Selimiye formasyonu, karasal kırmızı çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı ardalanması, 4-Oligo- Miyosen yaşlı Hafik formasyonu, başlıca jips ve orta- ince kırıntılı düzeyler, 5-Kuvaterner yaşlı alüvyon, 6- Deponi alanı yeri

2.1.2. Hafik formasyonu

Sivas havzasında oldukça geniş yayılım sunan ve ağırlıklı olarak masif jipslerden oluşan Oligo-Miyosen yaşlı birim Hafik formasyonu olarak adlandırılmıştır [2, 13]. Masif jipslere yer yer kırıntılı katmanlı jips ardalanmasından oluşan düzeyler de eşlik etmektedir.

Sivas havzasında oldukça geniş bir yayılım sunan ve masif jipslerden oluşan Oligo-Miyosen yaşlı Hafik formasyonu da bölgedeki en önemli akifer durumundadır. Dolin, ovala ve polye türü karstik yapıların yaygın olarak geliştiği bu birim, KB-GD ve KD-GB doğrultulu fayların ve kırık zonlarının denetiminde deformasyona uğramıştır. Karstik yapıların da kırık zonlarına bağlı



Şekil 7. Sivas ili deponi alanının konuya özel mühendislik jeoloji haritası (Bu alanının konumu, Şekil 5'te görülmektedir).

olarak geliştiği kabul edilmektedir [9]. Karstik su kaynaklarının yöredeki egemen kırık zonlarının kesişim yerlerinde yer aldığı ve jipsli formasyonların yeraltı yada yerüstü suları ile temasa geçtiğinde bu formasyonların içerdiği anyon ve katyonların çözünerek su kalitesi yönüyle sorunlara neden oldukları sonucuna varılmıştır [6, 7].

Jeolojik yaş	Formasyon	Kayattürü	Kalınlık (m)	Kayattürü özellikleri	Geo-mühendislik sınıfı
Kuvaterner		Qa, Qs	> 25	Qa, alüvyon, gevşek çimentolu ve taşınmış Qs, toprak, yerliyerinde	CL
Miyosen – Alt Oligosen – Üst Oligosen	Hafik	Th	> 25	Th, Masif jips, yer yer, jips ve kırıklı ardalanması	ZK-OSK
		Tsg, Tsf	20	Tsg, Çakıltı, çakıllı kumtaşı Tsf, Jips, çakıltı, kumtaşı ardalanması, katmanlı ve milonitik	SW-ML
		Tse	> 150 m	Tse, Çakıllı kumtaşı, kumtaşı, kıltaşı ardalanması	
		Tsd, Tsc	150	Tsd, Çakıllı kumtaşı katmanlı ve eklemlili Tsc, Silttaşı, çamurtaşı, kıltaşı	
		Tsb, Tsa	25	Tsb, Çakıllı kumtaşı katmanlı ve eklemlili Tsa, Çakıllı, kumtaşı ve kireçtaşı	

Şekil 8. Deponi alanı dolayının Şekil 7’de sunulan haritada yeralan birimlerin ayrıntılı dikme kesiti (Geo-mühendislik sınıfı açıklamaları Şekil 2’de yer almaktadır).

Hafik formasyonu’nun bileşiminde evaporit grubu minerallerden jipsin ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yanı sıra anhidrit (CaSO_4) ve kayatuzu (NaCl) da bulunur. Bu mineraller, iyonik bir kafes yapısına sahip olup su ile temas etmeleri sırasında kolaylıkla çözünürler. Su, ortamı terk ettiğinde, evaporit grubu mineraller tekrar kristalleşebilir, yada iyonlar yer değiştirerek yeni mineraller oluşur veya mineraller birbirine dönüşebilirler. Dolayısıyla bu minerallerin oluşturduğu kayattürlerinin egemen olduğu ortamdaki havzalarda su kalitesi kolaylıkla bozulmaktadır. Evaporit grubu minerallerin çözündüğü yüzey ve yeraltısuları doğal olarak kirlenmektedir. Sivas dolayındaki yüzey ve yeraltısularının büyük bir bölümü, bölgede çok geniş bir yayılım gösteren Hafik formasyonu jipslerinin etkisi sonucunda toplam çözünmüş iyon miktarı çok yüksek, tuzlu ve acı sulardır. Çöp deponi alanının yaklaşık 5 km kadar doğusunda yer alan Göydün ve Seyfe

kaynakları (Şekil 3) özellikle kurak dönemde, Kızılırmak suyunu sulamada dahi kullanılmayacak derecede kalitesiz duruma getiren önemli iki karst kaynağıdır [14].

2.1.3. Karacaören formasyonu- Yoğurtludağı üyesi

Miyosen yaşlı denizel kırıntılı ve karbonatlar bir bütün olarak Karacaören formasyonu biçiminde adlandırılmıştır [1]. Bu formasyonun içinde yer alan sığ denizel karbonatlar ise Yoğurtlu dağı üyesi olarak ayırtlanmıştır [13].

Birim, tipik bir akiferin tüm özelliklerini yansıtmaktadır. İçilebilir suların bu akiferi, deponi alanından uzak yerlerde yüzeylemiş olması nedeniyle deponi alanının olumsuz koşullarından etkilenmemektedir.

2.1.4. Apa formasyonu

İnceleme alanının ve Sivas'ın batısında sığ denizel ve karasal kırıntılı kayalarla temsil edilen bu topluluk Apa formasyonu olarak adlandırılmıştır [15]. Bu birimin, yukarıda sunulan Karacaören formasyonundan farkı, denizel karbonatları içermesi ve yer yer karasal kırıntılı düzeylerin de denizel kırıntılı düzeylere eşlik etmesidir.

Sivas'ın yakın dolayında da yüzeylenen bu birim, yeraltı suları açısından iyi sayılabilecek bir akiferini temsil etmekte ve deponi alanının olumsuz koşullarından etkilenmemektedir.

2.1.5. İncesu formasyonu

Sivas havzasının kuzeyinde Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı akarsu ve gölsel çökeller İncesu formasyonu olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, altta yer alan ve akarsu çökellerinden oluşan kırıntılı düzey Derindere üyesi, gölsel karbonatlardan oluşan üstteki düzey ise Porsuk üyesi olarak adlandırılmıştır [16].

Sivas'ın kuzeyinde yer alan Üst Miyosen- Pliyosen yaşlı akarsu ortamının ürünü iri taneli kırıntılı kaya türlerinin üzerinde yer alan gölsel ortamın ürünü karbonatlar yeraltısuları yönüyle zengin birer akifer niteliğindedirler. Formasyonu oluşturan kaya türlerinin özellikle alt kotları zengin birer kaynak potansiyeline sahiptirler. Ancak bu formasyonun konumu ve deponi alanından uzaklığı gözetildiğinde, bu akiferlerin de deponi alanının olumsuz koşullarından etkilenmeyeceği kabul edilebilir.

2.1.6. Kuvaterner yaşlı oluşuklar

İnceleme alanında ve yakın dolayında Kuvaterner yaşlı topraklar ve alüvyonlar ova konumunda olan düzlüklerde ve akarsu vadilerinde geniş bir alanda görülmektedir. Alüvyonlar genel olarak tutturulmamış ya da gevşek tutturulmuş ve taşınma evresi geçirmiş çakıl, kum ve çamur depolarıyla temsil edilmektedir. Topraklar ise ince taneli ve yerli yerinde oluşmuş ince taneli zeminleri temsil etmektedir. Ayrıca traverten ve yamaç molozu ya da alüvyon konileri yer yer izlenmektedir (Şekil 5). Özellikle alüvyon ve Selimiye formasyonu üzerinde yerli yerinde oluşmuş toprak, deponi malzemesinin zemini durumundadır. Kızılırmak vadisi boyunca ve Kızılırmak'a ulaşan vadilerde yada yamaçlarda yer alan alüvyon ve toprak, yüzey sularının üzerinden aktığı düzeyleri oluşturmaktadırlar. Bu oluşukların, özellikle dolaylarındaki jipsli akiferlerden süzülen sulara yatak işlevini gören kesimleri, doğal olarak kirlenmiş, dolayısıyla içme ya da tarım amaçlı kullanımı sınırlı olan yeraltısularının sınırlı olarak bulunduğu akiferlerdir.

2.2. Tektonik Özellikler

İnceleme alanının yapısal unsurları, başlıca faylar, kıvrımlar ve kırıklarla temsil edilmektedir.

2.2.1. Faylar

Genel olarak inceleme alanının kuzeyinde Şekil 2’de görüldüğü gibi kuzeydoğu-güney batı gidişli bindirme bileşenin de yer aldığı sol yönlü doğrultu atımlı faylar izlenmektedir. Bu faylar, Yukarı Kızılırmak Fay zone’nun [3] bileşenleri olup, sınırlı olarak aktif olabilirler. Ancak bu fayların deponi alanını etkilemesi beklenmemektedir.

2.2.2. Kıvrımlar

İnceleme alanında yer alan kırıntılı birimlerin katmanlanmasına bakıldığında yaklaşık kuzeybatı-güneydoğu gidişli bir kıvrım dikkati çeker. Bu kıvrımın ekseninde katmanların eğimi 10-15 derece, kanatlara doğru 35 – 45 derece dolayındadır

Deponi alanı, katmanların dikleştiği antiklinalin batı kanadı üzerinde yer almaktadır.

2.2.3. Kırıklar

İnceleme alanının tüm birimlerinde bir bölümü çökme sırasında ve sonrasında olmak üzere, çeşitli boyutlarda kırıklar ve eklemler gelişmiştir. Deponi alanında yer alan Selimiye formasyonu’nun özellikle **b** ve **d** düzeylerindeki kalın katmanlı olan çakıllı kumtaşlarındaki eklemler ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre **b** ve **d** düzeyleri tipik bir akiferin özelliklerini taşımaktadır.

2.4. Çöp Alanı Dolayındaki Yeraltısuyu Kalitesi Ve Konumu

Çöp deponi alanı dolayındaki yeraltısuyunun kalitesinin araştırılması amacıyla, çöp deponi alanı dolayında açılmış olan sondaj kuyularından alınan örnekler üzerinde Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{--} , Cl^{-} , EC ve pH tayinleri yapılmıştır (Çizelge 1). Örnek alınan kuyuların yerleri, Şekil 5’de yer almaktadır.

Çizelge 1’den de görüldüğü üzere Paşapınarı çeşmesi haricindeki örneklerde yeraltısuyunun sertliği 820-1850 mg/L $CaCO_3$ arasında değişmektedir. Sertliği 300 mg/L’den büyük olan sular çok sert sular sınıfına girmektedir [17]. Ayrıca analiz sonuçlarını ülkemiz için kabul edilen içme suyu standartları [18] ile karşılaştırdığımızda Paşapınarı çeşmesi haricindeki bütün örneklerde kalsiyum ve sülfat miktarlarının içme suyu standartlarının çok üzerinde olduğu görülmektedir.

Sulama suyu sınıflandırılmasında ülkemizde Birleşik Amerika Tuzluluk Diyagramı kullanılmaktadır [19]. Bu sistemde; elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) esas alınarak yapılmaktadır.

Sulamada kullanılan sudaki sodyumun toprakta tutulması sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ile tanımlanır. SAR oranı suyun sodyum açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

Sodyum adsorbsiyon oranı aşağıdaki eşitlikle belirlenir.

$$SAR = Na^{++} / [(Ca^{++} + Mg^{++})/2]^{1/2}$$

Burada; Na^{++} , Ca^{++} ve Mg^{++} milieşdeğer gram (meq/L) cinsinden su içerisindeki derişimler olup bu değerler Çizelge 1’ de sunulmuştur. Su örneklerinin EC ve SAR değerleri (Çizelge 1) değerlendirildiğinde sodyum açısından hiçbir sorun yoktur fakat tuzluluk tehlikesi açısından sadece Paşapınarından alınan su sulama için uygundur. Özellikle Hesaş Helva, Şark Gaz ve

Çiftlikten alınan su örneklerinde tuzluluk tehlikesi (EC) çok yüksek (C4-S1) olup “sulama suyu için uygun değildir” sınıfına girmektedir.

Deponi alanı dolayının yüzey suları ve özellikle akarsular ve çeşitli kaynakların konumu Şekil 3’te görülmektedir. Yöredeki kaynaklar, kuyu verileri ve Kızılırmak’ın akmakta olduğu düzeyin kotu irdelendiğinde, deponi alanının yeraltısu seviyesinin bir hayli üzerinde yer aldığı söylenebilir. Öte yandan taşkın alanının sınırı Şekil 5 ve 7’de görülmektedir. Tüm veriler irdelendiğinde, deponi alanından sızıntı suları derine sızmadan yamaç boyunca vadi tabanını izleyerek yüzey suyu ve/veya yüzeyaltı akımı şeklinde Kızılırmak’a ulaşmakta ve dolayısıyla deponi bölgesinde önemli bir yeraltısu kirliliği sorunu oluşturmamaktadır. Söz konusu lokal alanda yeraltısu kullanımı yoktur. Dolayısıyla kirlenme yüzey suyu şeklinde ve özellikle Kızılırmak debisinin çok düşük olduğu dönemlerde etkili olacaktır. Dolayısıyla, deponi alanından ortaya çıkabilecek kirliliklerin denetlenebilmesi için, deponi alanının yeniden planlanması sırasında zeminin geçirimsiz yapay (sentetik) membranların serilmesi ve sızıntı sularının Kızılırmak’a ulaşmadan bertaraf edilmesi zorunlu görülmektedir.

Çizelge 1. Çöp deponi alanı dolayında açılmış olan kuyuların ve bu kuyulardan alınan su örneklerinin özellikleri. (*TS-266’dan yüksek değerler, SAR; sodyum adsorbsiyon oranı).

Kuyuların özellikleri ve bazı parametreler	Paşapınarı	Tavuk Çiftliği	Hesap Helva	Aktes Isı	Şark Gaz	Çiftlik	TS-266
Kuyu derinliği(m)		100	80	127	10	15	
Pompa derinliği (m)		60-65	55	55		10	
Su seviyesi (m)		15-20	14-15	33	6	6	
Kot (m)	1290	1290	1288	1305	1289	1287	
PH	7,24	7,37	7,13	6,81	6,6	7,15	6,5-9,2
EC (µS/cm)	500	1585	2360	2320	1900	2740	
Sertlik	mg/L	270	820	1750	1320	1030	
	meq/L	5,4	16,4	37	26,4	20,6	
Ca	mg/L	64	300*	640*	468*	284*	200
	meq/L	3	15	32	31	23,4	14,2
Mg	mg/L	26	17	61*	48,8	36	78*
	meq/L	2,2	1,4	5	4	3	6,4
Na	mg/L	23	57,5	12	12	17	368*
	meq/L	1	2,5	0,5	0,5	0,75	16
K	mg/L	2,4	1,95	0,78	2,4	1,17	4,3
	meq/L	0,0625	0,05	0,02	0,0625	0,03	0,11
HCO ₃	mg/L	157,38	250	93,5	128	160	149
	meq/L	2,58	4,1	1,53	2,11	2,61	2,44
SO ₄	mg/L	160	350*	1500*	1400*	1000*	800*
	meq/L	3,33	7,29	31,2	28	20,8	16,6
Cl	mg/L	13,9	264	160	180	150	584
	meq/L	0,39	7,46	4,5	5,06	4,22	16,4
SAR		0,62	0,87	0,11	0,11	0,20	5

2.6. Taşkın Potansiyeli

Sivas il sınırları içinde yer alan bölge yüzey suları yönüyle havzalara ayrılmıştır [20]. Bu çalışmaya göre deponi alanı, Yukarı Kızılırmak havzasında yer almaktadır.

Çöp deponi alanı için olası taşkın analizi amacıyla çöp deponi alanına 20 km uzaklıktaki Söğütlühan Akım İstasyonu'nun geçmiş yıllara ait yıllık maksimum debileri alınmış, taşkın analizi veri grafiğine işlenmiş ve 50 yılda gelmesi olası maksimum debi $730 \text{ m}^3/\text{sn}$ bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarda Kızılırmak'tan bu maksimum debinin 30 katı kadar su geçirilse dahi çöp deponi alanı için taşkın riskinin olmadığı görülmektedir. Ayrıca çöp deponi alanı bölgesinde Kızılırmak'tan Söğütlühan mevkiinden daha az debi de su akmaktadır. Görüldüğü gibi çöp deponi alanında taşkın riski görülmemektedir.

3. DEPONİ ALANI DOLAYINININ BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Sivas ili mücavir alanı içindeki bölgenin mühendislik jeolojisi bölgesel düzeyde irdelenmiştir [10, 11], Bu çalışmalara göre Şekil 2'de görüldüğü gibi, deponi alanının üzerinde yer aldığı Oligosen yaşlı Selimiye formasyonu, iyi derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlarla temsil edilen SW sınıfı ile inorganik silt ile çok ince taneli kumlarla temsil edilen ML sınıfında yer almaktadır. Deponi alanının hemen kenarında yer alan jipslerin egemen olduğu Oligo-Miyosen yaşlı Hafik formasyonu ise zayıf (ZK) ve orta derecede sağlam kaya (OSK) sınıflarında yer almaktadır.

Ancak sunulan çalışmada deponi alanı özelinde daha fazla ayrıntıya ve dolayısıyla çevre jeolojisine uygun olarak bazı mühendislik parametrelerinin de belirlenmesine gereksinim duyulmuştur. Bu bağlamda, zemin konumunda olan düzeylerin tane boyu dağılımını belirlemek üzere yaş elek analizi, su içeriklerini belirlemek üzere kıvam limitlerine ilişkin deneyler, deponi alanı özelinde gerçekleştirilmiştir.

3.1. Deponi Alanı Ve Yakın Dolaylarındaki Zeminin Tane Boyu Dağılımı

Zemini oluşturan kayatürlerinin tane boyunu belirlemek üzere arazide örselenmiş zemin örneği alınıp, laboratuara getirilmiş ve laboratuarda ince taneli zeminler için yaş elek analizi yöntemiyle tane boyu analizleri yapılmıştır. Bu örneklerden 1, 6, 7, 8 ve 9 nolu örnekler Kuvaterner yaşlı alüvyondan, diğerleri ise Kuvaterner yaşlı topraktan alınmıştır (Şekil 5 ve 7). Alüvyonun jeolojik açıdan topraktan farkı, taşınmış malzemeden oluşmasıdır.

Örselenmiş zemin örnekleme yöntemiyle elek analizi için alınan örneklerin kil oranları fazla olduğu için zemine ilk olarak yaş elek, daha sonra 200 nolu elek üzerinde kalan bölüme ise kuru elek analizleri yapılarak uygulanmıştır. Yukarıdaki çizelgelerde 200 nolu (0,063 mm) elekten geçen gerecin % oranları sırasıyla 70,03: 60,60: 40,57: 41,13: 67,27: 67,87: 71,70: 52,57 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre 200 nolu elekten geçen gerecin ortalaması % 52,19 olarak hesaplanmıştır. Arazideki gözlemlerde zeminin heterojen olduğu belirlendiğinden, sınıflamalarda bu ortalama değerin dikkate alınmasına karar verilmiştir. Zemin AASTHO (Amerikan Karayolları) sınıflamasında 200 nolu elekten geçen gerecin % 36'lık bölümünde yer almaktadır. Buna göre deponi alanı zemini oluşturan birimler "Kum ve silt içeren kil zemin" grubunda yer almaktadır.

3.2. Deponi Alanı Zeminlerinin Kıvam Limitleri

Deponi alanının likit limit ve plastik limit değerlerini belirlemek üzere arazide kuru kazı yöntemiyle örselenmiş örnekler alınmış ve bu örneklerin likit limit değerleri laboratuarda düşen koni yöntemiyle belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de görülmektedir.

200 nolu elekten geçen gercin ortalama değeri % 52,19 olup deponi alanı zemini “kum ve silt içeren killi zemin” grubunda yer almaktadır. Bu sonuçlar, AASHO (Amerikan Karayolları) sınıflandırma sisteminde “17-6” sınıfı zemine karşılık gelmektedir. Buna göre zeminin, temel zemini olma özelliği açısından “orta-zayıf” sınıfında olduğu görülmektedir. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre zeminlerin genelde CL (düşük plastisiteli inorganik killi) sınıfında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Deponi alanı zeminine ait örneklerle ilişkin kıvam limitleri (plastik limit ve likit limit) deney sonuçları ve belirlenen zemin sınıfları.

Örnek No	Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndisi	Zemin Sınıfı
1	36,55	18,09	18,46	CL
2	30,00	18,13	11,87	CL
3	35,00	19,22	15,78	CL
4	30,00	18,48	11,52	CL
5	30,70	18,69	12,01	CL
6	39,00	21,88	17,12	CL
7	34,70	20,74	13,96	CL
8	39,80	21,31	18,49	CL
9	40,30	21,01	19,29	CL
Ortalama	35,12	19,73	15,39	CL

3.3. Deponi Alanı Zeminlerinin Geçirimlilik Özellikleri

Düzenli depolama yapılacak sahanın, zemin özellikleri bakımından uygun olup olmadığını belirlemeye yarayacak en önemli özelliklerden biri de zeminin geçirimsizliğidir. Zeminin geçirimsizlik (permeabilite) özelliğini belirlemek üzere araziden örselenmemiş örnekler alınıp laboratuara getirilmiş ve laboratuarda düşen seviyeli permeabilite yöntemi ile geçirimsizlik katsayıları belirlenmiştir. Çizelge 3’de incelenen örneklerin geçirimsizlik sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 3. Deponi alanı zeminine ait geçirimsizlik katsayısı ölçüm sonuçları.

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Geçirimsizlik Katsayısı(m/sn)X10⁻⁶	1.22	2.46	2.85	3.11	1.60	1.32	1.25	1.22	1.54

Çizelge 3’e göre deponi alanının geçirimsizlik katsayısı $1.22 \cdot 10^{-6}$ ile $3.11 \cdot 10^{-6}$ m/sn arasında değişmektedir. Bu değerler çeşitli zeminler için ortalama k (geçirimsizlik katsayısı) değerleri ile karşılaştırılırsa (Çizelge 4) zeminin az geçirimsiz zeminler sınıfına girdiği görülmektedir.

Çizelge 4. Çeşitli zeminler için ortalama geçirimsizlik (k) değerleri [21].

Zeminin cinsi	k (cm/sn)	Geçirimsizlik durumu
Çakıl	>10	Çok geçirimsiz
Kum	$10 \cdot 10^{-4}$	Geçirimsiz
Silt	$10^{-4} \cdot 10^{-6}$	Az geçirimsiz
Kil	$<10^{-6}$	Çok az geçirimsiz veya geçirimsiz

4. SONUÇLAR

Deponi alanının zemin özelliklerini belirlemek üzere yapılan çalışmalar toplu olarak değerlendirildiğinde Çizelge 5’de sunulan bazı temel sonuçlara varılabilmektedir. Deponi alanındaki 1,6,7,8 ve 9 nolu örneklerin Kuvaterner yaşlı toprak zeminden, 2,3,4 ve 5 nolu örneklerin Kuvaterner yaşlı alüvyal zeminden ve 10 ile 11 nolu örneklerin Oligosen yaşlı çakıllı kumtaşından alınmıştır.

Çizelge 5. Deponi alanı zeminine ait örneklerin jeolojik, hidrojeolojik ve bazı mühendislik özelliklerine göre varılan sonuçlar.

Örnek no	Jeolojik özellikleri	Hidrojeolojik özellikleri	Bazı mühendislik özellikleri (temel veriler)	Sonuçlar
1	Kuvaterner yaşlı toprak	Yüzey suları üstünden akar	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
2	Kuvaterner yaşlı alüvyon	Su az içerir ve az iletir	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
3	Kuvaterner yaşlı alüvyon	Su az içerir ve az iletir	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
4	Kuvaterner yaşlı alüvyon	Su az içerir ve az iletir	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
5	Kuvaterner yaşlı alüvyon	Su az içerir ve az iletir	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
6	Kuvaterner yaşlı toprak	Yüzey suları üstünden akar	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
7	Kuvaterner yaşlı toprak	Yüzey suları üstünden akar	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
8	Kuvaterner yaşlı toprak	Yüzey suları üstünden akar	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
9	Kuvaterner yaşlı toprak	Yüzey suları üstünden akar	CL sınıfı ve az geçirimli	Önlemlerin alınması gerekli
10	Oligosen yaşlı çakıllı kumtaşı	Yeraltı suları için akifer düzeyler içerir	SW-ML sınıfı ve geçirimli düzeyler içerir	Korunması gerekli
11	Oligosen yaşlı çakıllı kumtaşı	Yeraltı suları için akifer düzeyler içerir	SW-ML sınıfı ve geçirimli düzeyler içerir	Korunması gerekli

Buna göre, Oligosen yaşlı çakıllı kumtaşlarının akifer niteliğinde olduğu, Kuvaterner yaşlı alüvyonal zeminin su az içeren ve az ileten bir yapıda olduğu, toprak zeminin ise yüzey sularının üzerinden aktığı bir yapıda olduğu görülmektedir.

Sunulan bilgiler ışığında, deponi alanını oluşturan toprak ve alüvyal zeminlerin az da olsa temele su iletebileceği de gözetildiğinde, akifer niteliğindeki Oligosen yaşlı Selimiye formasyonu’nda yer alan yeraltı sularının kirlenebileceği ve Kızılırmak’ın deponi alanına oldukça yakın olması nedeniyle özellikle kurak dönemlerde yüzey sularının da sızıntı suları tarafından kirlenebileceği anlaşılmaktadır.

Deponi alanı olarak kullanılacak sahalarda zemin geçirimliliğinin en az 1×10^{-8} m/sn olması önerilmektedir [22]. Oysa çöp deponi alanının geçirimlilik katsayısı $1,2 \times 10^{-6}$ ile $3,11 \times 10^{-6}$ m/sn arasında değişmektedir. Geçirimlilik açısından bakıldığında, sahanın geçirimlilik (permeabilite) katsayısı en azından 1×10^{-8} m/sn olan bir kil tabakası veya sentetik membran ile kaplandığında çöp depolama alanı olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çöp deponi alanı dolayındaki yeraltısuyu kalitesini araştırmak amacıyla alınan altı adet kuyu suyu örneklerinden Paşapınarı çeşmesi haricindeki örneklerde yeraltısuyunun sertliğinin 820-1850 mg/L CaCO₃ arasında değiştiği saptanmıştır. Ayrıca analiz sonuçları ülkemiz için kabul edilen içme suyu standartlarıyla (TS-266) karşılaştırıldığında Paşapınarı çeşmesi haricinde bütün örneklerde özellikle kalsiyum ve sülfat miktarlarının standart değerlerin çok üzerinde olduğu görülmektedir. TS-266'ya göre içme suyunda maksimum kalsiyum miktarı 200 mg/L, maksimum sülfat miktarı ise 250 mg/L olmasına karşın, bu değerler kalsiyum için 284 - 640 mg/L, sülfat için ise 350-1500mg/L arasında değişmektedir. Sonuç olarak, Paşapınarı haricindeki kuyu sularının hiçbirisi içme suyu için uygun değildir. Çöp deponi alanının taşkın durumu araştırıldığında, yapılan hesaplamalar sonucunda Kızılırmak'tan 50 yılda gelmesi muhtemel maksimum debinin (730 m³/sn) 30 katı kadar su geçirilse dahi çöp deponi alanı için taşkın riskinin olmadığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kurtman , F., (1973), Sivas- Hafik –Zara ve İmranlı Bölgesinin Jeolojik ve Tektonik Yapısı: MTA Derg. , 80, s.1-33.
- [2] Yılmaz, A., (1984), Tokat (Dumanlıdağı) ile Sivas (Çeltekdağı) Dolaylarının Temel Jeoloji Özellikleri ve Ofiyolitli Karışığın Konumu: MTA Derg. No. 99/100, s.1 –18.
- [3] Yılmaz, A., (1994), Çarpışma Sonrası Bir Çanak Örneği: Sivas Havzası,Türkiye:Türkiye 10. Petrol Kongresi, Bildiriler (Jeoloji), Ankara, s.21-33.
- [4] İnan,S.,Öztürk, A. ve Gürsoy, H.,(1993), Ulaş- Sincan (Sivas) Yöresinin Stratigrafisi: Doğa- Türk Yerbilimleri Derg. (Tr.J. of Earth Sciences), v. 2, s.1-15.
- [5] Poisson, A. Guezou, J.C.Öztürk. A., İnan,S., Temiz, H.,Gürsoy, H., Kavak,K.Ş ve Özden, S., (1996), Tectonic Setting and Evolution of the Sivas Basin Central Anatolia, Turkey: International Geology Review, v . 38, s.838-853.
- [6] Değirmenci, M., (1995), Kızılırmak'ın Sivas Civarındaki Kesiminin Doğal Sular ve Kentsel Atıksularla Kirlenmesi: H.Ü. Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi, Çevre Bilimleri Dergisi. No , s. 9-22.
- [7] Değirmenci, M.,Kaçaroglu, F., Cerit, O., (1995) Sivas Yakın Doğusu Jips Kartı Hidrojeolojisi: Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, Jeoloji Mühendisliği Seksiyonu, v. 8, s. 77-92
- [8] Cerit, O., Değirmenci, M. ve Kaçaroglu, F., (1996), Sivas Yakın Doğusu Jips Karst Alanının Tektonik Özellikleri: KTÜ Mühendislik –Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Bildiriler Trabzon, cilt II, s.521-530.
- [9] Kaçaroglu, F., Değirmenci, M., Cerit, O., (1997), Karstification in Miocene gypsum: an Example from Sivas, Turkey: Environmental Geology, v.30(1/2), s.88-97.
- [10] MTA, (1996), Sivas Kentinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Sivas, 169 s.
- [11] Avcı, N., Cadoğlu, İ.F. ve Ayaz, M.E., (1997), Sivas Belediyesi Mücavir Alanı Arazi kullanımPotansiyeli ve Su Havzalarını Korunması için Öngörülen Tedbirler: Su ve Çevre Sempozyumu 97, İstanbul, s.309-319.
- [12] Duvarcı, E., (1994), Rejyonel Jeoelektrik Haritaları Projesi: Sivas Tersiyer Havzası Özdirenç Etüdü: MTA Derleme Rap.No.9701, Ankara, 20s.
- [13] Aktimur, T., Atalay, Z., Ateş, Ş., Tekirli,M.E ve Yurdakul, M.E., (1988), Munzur Dağları ile Çavuşdağı Arasının Jeolojisi: MTA Derleme Rap. No. 8320, Ankara, 102s.
- [14] Değirmenci, M., Kaçaroglu, F., Cerit, O., (1996), Jipsli Havzalarda Su Sağlamada Karşılaşılan Kalite Problemleri (Sivas Örneği): KTÜ Mühendislik –Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Bildiriler, Trabzon, cilt II, s.504-520.
- [15] Yılmaz, A., Sümengen, M., Terlemez, İ. ve Bilgiç, T., (1990), Sivas İle Şarkışla Arasındaki Bölgenin Jeolojisi. MTA Derleme Rap. No. 9090, Ankara, 54s.

- [16] Yılmaz A., (1982), Dumanlıdağı (Tokat) ile Çeltekteki (Sivas) Dolaylarının Temel Jeolojik Özellikleri ve Ofiyolitli Karışığın Konumu. MTA Rapor No.7230, Ankara, 136 s.
- [17] Samsunlu, (1999), Çevre Mühendisliği Kimyası, Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları, ISBN:975-94764-1-X, 396s.
- [18] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, (1995), Çevre Bakanlığı Mevzuatı, cilt 2, s.158-223
- [19] Ayyıldız, M.,(1990), Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayınları; 1196. Ders Kitabı; 344, 280s.
- [20] Topdağ, B., (2003), Sivas İli Dolayının Sel ve Taşkınlar Açısından İncelenmesi ve Alınması Gereken Önlemler, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s.
- [21] Uzuner,B.A.,(1998), Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, 376s, s.85-101, Ankara
- [22] Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği, (1995), T.C. Çevre Bakanlığı, Çevre Mevzuatı, cilt 2, s.294-315