

MODERN KATI ATIK DEPOLARINDA KULLANILAN ŞİLTE SİSTEMLERİ

Arş. Gör. Suat AKBULUT* Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER**

*Atatürk Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, ERZURUM

**İTÜ İnşaat Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı, Maslak-İSTANBUL

ÖZET

Çevre kirliliğine neden olan kentsel katı atıkların sıhhi depolarda ıslah edilerek depolanması özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemli bir sorundur. Katı atık depolarında zemin ve su kirliliğinin önlenmesi veya minimize edilmesi geliştirilmiş taban ve örtü şilte sistemlerinin kullanılması ile mümkündür. Depolarda kullanılacak farklı tip ve şekilde dizayn edilen şilte sistemlerinin depolanan atık tipi ve çevre şartlarına bağlı olarak kullanılması, şilte sistemlerinin geçirgenliği, özellikle doğal şiltelerin kalınlığı önemlidir. Bu çalışmada katı atık depolarında kullanılan doğal ve sentetik malzemelerden oluşan farklı tip ve şekildeki şilte sistemleri sıralanarak özellikleri irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Çevre kirliliği, Katı atık depoları, Doğal ve sentetik şilteler

1. GİRİŞ

Atık depolarında kullanılan farklı şilte sistemleri ve bunların dizayn edilmesi geoteknik açıdan önemlidir. Şilte sistemleri doğal, sentetik ve geokompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu şiltelerin büyük bir kısmı özellikle doğal şilteler şantiyede üretilirken geokompozit şilteler fabrikada imal edilmektedir. Bu farklı şilte sistemlerinin yapımı başlıca zeminin geoteknik, hidrolojik, topoğrafik ve depremselliği yanında atığın tip ve özelliklerine göre değerlendirilmelidir. Bu nedenle bir atık depolama ünitesinde kullanılacak şilte dizaynına karar vermeden önce depo sahasının yukarıda sıralanan geoteknik özelliklerinin belirlenmesi deponun yapımı ve daha sonraki dönemlerde kullanımı açısından önemlidir.

Aynı zamanda doğal, sentetik ve kompozit şiltelerin özellikleri şiltelerin yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri tarafından belirlenmektedir. Çalışmada farklı tiplerde dizayn edilmiş taban ve örtü şilte sistemleri gösterilerek bunların özellikleri sıralanmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

2. ATIK DEPOLARINDA KULLANILAN ŞİLTELER

Katı atık depolarında farklı tip ve tasarımlara sahip şiltelerin kullanılması mümkündür. Bu şilteler doğal, sentetik ve geokompozit şilteler olarak sınıflandırılmaktadır.

2.1. Doğal Şilteler

Doğal şilteler sentetik şiltelerin kullanılmadığı veya ihtiyaç görülmediği yerlerde genelde geçirimsiz kil tabakalarının sıkıştırılmasından veya mevcut zeminin iyileştirilmesinden elde edilen şilte sistemlerini içermektedir.

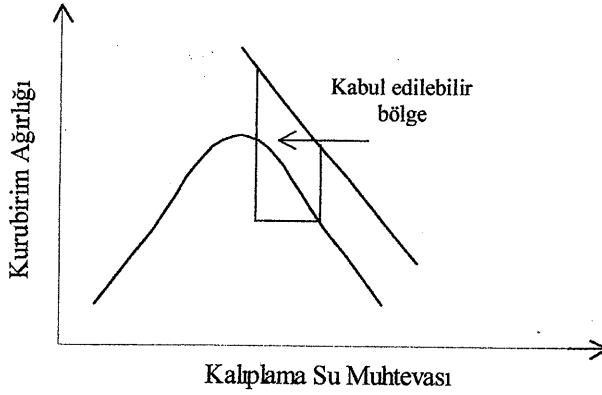
2.1.1. Zemin Şilteler

Uygun şartlar altında, doğal olarak oluşmuş ince daneli zeminler şilte olarak kullanılabilir. Burada anahtar parametre zeminin permeabilitesidir, zeminin permeabilitesi malzemenin içeriğine bağlı olarak $10^{-5} - 10^{-7}$ cm/sn değerleri arasında olmalıdır. Arazide, ince-daneli zeminde şilteler için iki ayrı durum gözlenebilir. Birincisi, önerilen atık deposunun altındaki zemin koruyucu bir engel tabakası olarak çalışacak kadar yeterli geçirimsizliğe sahip olmasıdır. İkincisi, arazi üzerinde veya yanındaki zemin eğer uygun geoteknik özelliklere sahip değilse, zemin uygunca kaldırılarak karıştırılır ve homojen hale getirilir, önceden hazırlanmış bölgeye taşınır ve yerleştirilerek sıkıştırılır. Çalışma sırasında yapı işlerine olumsuz etki etmemesi için zemin genelde optimum su muhtevasından hafif nemli tutulur (Akbulut, S., 1995).

2.1.2. Kimyasal İşlem Yapılmış Zemin Şilteler

Zeminlere kimyasalların eklenmesi zeminlerin özelliklerini önemli bir şekilde değiştirebilir. Genelde düşük maliyetli kimyasallar kullanıldığında kimyasal işlem sadece etkinlik maliyetine mal olur. Kromlu selüloz, sodyum tuzu (kalsiyum killerini oldukça geçirimsiz yapan çok sayıda endüstriden elde edilen tuzlar) ve polifosfatların farklı tiplerini içeren kimyasallar bu gruptandır. Zeminler aynı zamanda püskürtmeyle de kimyasal işleme tabi tutulabilirler, polivinil alkol gibi kimyasallar ve asfalt emülsiyon kullanılabilir (Koerner, R.M., ve Okrasinski, T.A., 1978). Bu malzemeler zemin boşluklarına sızarlar veya zemin yüzeyinde sert bir kabuk oluşturarak zeminin permeabilitesini düşürürler.

Pratik yapı problemlerinde zeminlerin kimyasal işleme tabi tutulması genellikle zor uygulamalardır. Özellikle, üniform bir iş yapmak zordur ve yüksek geçirgenliğe sahip kötü işlenmiş bölgelerin garantisi yoktur. Ayrıca kimyasal işlemlerin sürekli değişen tiplerinin nasıl bir kalitede olduğu belgelenememektedir.



Şekil 1. Kil Şilteler İçin Su Muhtevası ve Kuru Birim Ağırlığın Kabul Edilebilir Bölgesi

Kil şilteler; düşük permeabilite $k \leq 1 \times 10^{-7}$ cm/sn, kurutulduğunda çekme ve çatlama için düşük potansiyel, ve yeterli kayma mukavemetini karşılamalıdır. Maksimum kuru yoğunluğun en azından %96-98'indeki (γ_d) ve optimum su muhtevasının ± 2 civarında bir su muhtevasında sıkıştırılan edilen zemin tarafından yukarda sıralanan üç şartın karşılanabilmesi mümkün olabilir (Daniel, D.E, ve Wu, Y.K., 1993).

2.2. Sentetik Şilteler

Farklı zemin ve geoteknik problemlerin çözümünde olduğu gibi katı atık depolarında da geosentetik malzemeler şilte yapımında kullanılmaktadır. Şilte yapımında kullanılan sentetik malzemeler ve özellikleri genel olarak aşağıda sıralanmıştır.

2.2.1. Geomembranlar

Geomembranlar sıvı ve buhar yalıtımında kullanılan oldukça düşük permeabiliteye sahip fleksibil, polimer levhalardır. Atık depolarında geomembranlar tipik olarak düşük permeabiliteli zeminlere ek olarak veya bunların yüzeyinde taban/temel veya kaplama şiltesi olarak kullanılırlar (Şekil 2). Taban/temel şilteleri atık içerisinde oluşan çöp suyundan temel zemininin ve zemin suyunun kirlenmemesi için veya çöp suyunun zararlarını azaltmak için atık malzemenin altına konulur. Eğer bir atık deposu üzerinde bina veya başka yapılar yapılacaksa, atık gazı buharlaşmasını önlemek için geomembranlar bina temelinin altına konulabilir. Atık depolarının temel ve kaplama sistemlerinde, en yaygınca kullanılan geomembran tipleri polietilen (PE) geomembranlardır. Temel kaplama sistemlerinde yüksek-yoğunluklu polietilen (HDPE) geomembranlarda kullanılmaktadır. Bu malzeme bir dereceye kadar rijit olmasının yanında, genelde iyi fiziksel özelliklere sahiptir, ve yerleştirme sırasında geomembranların üzerinde oluşacak büyük gerilmelere dayanabilir (Sharma, H.D., ve Lewis, S.P., 1994).

Atık içerisinde oluşabilecek büyük yerleşmeler nedeniyle, kaplama sistemlerinde daha fleksibil bir geomembran (HDPE) kullanılabilir. Pek çok benzer özelliklere sahip olan çok düşük yoğunluktaki polietilen (VLDPE) geomembranda genelde bu uygulamalar için uygundur.

2.1.3. Kil Şilteler

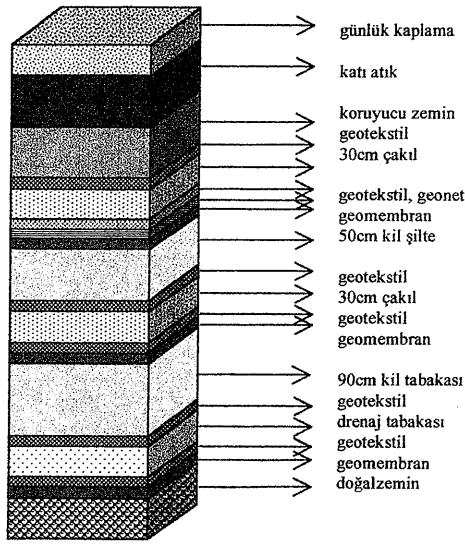
Montmorolit kil grubu bünyesinde fazla miktarda su tutma özelliği nedeni ile kil şiltelerin yapımında yaygınca kullanılmaktadır. Malzeme parçacıklarının uzunluğu ve genişliği kalınlığından oldukça büyüktür ve kil parçacıkları ince pul şeklindedir. Parçacıkların bu şekli; alüminyum oktahedral levhalar ve silika tetrahedral formundaki oksijen atomlarının yapısal paylaşımından dolayı meydana gelmektedir. Su molekülleri bu levhalar üzerinden kolayca absorbe edilebilir. Bentonitler negatif iyonludur ve kristal yapıları içinde oluşan kimyasal değişim nedeni ile bunlar bir negatif elektrik yük taşırlar ve su moleküllerini tutabilirler. Polar bir sıvı olan su, bentonit levhalarının yüklenmesine yardım etmek için, malzeme içinde sıralı bir şekilde dizilir. Sudaki pozitif iyonlar, kısmen hidrate olmuş, kil üzerinde toplanırlar (EPA, 1982).

Bentonit, özellikle montmorolit mineralinden oluşmuş bir kildir. Sodyum ve kalsiyum içeren birkaç tip montmorolit mevcutken "Bentonit" terimi genelde bir sodyum mineralini ifade etmektedir. Montmorolit kristalleri ince, yatı ve parçacık yüzeyleriyle beraber negatif elektriksel yüklere sahiptir. Negatif yüklü montmorolit kristali suyu kuvvetli bir şekilde yüzeyine çeker ve absorbe eder. Kilin anhidrat durumunda, montmorolit kristalleri yoğun bir şekilde toplanır, hidrate olarak şişerler. Bentonitin aşırı su tutması ve şişme özelliği onun permeabilitesine ve kesme gerilmesine de etki etmektedir.

Kil şilteler, atık içeren birimlerde temel ve şev şilteleri veya hidrolik engel olarak veya benzer şekilde örtü kaplama sistemlerinde kullanılırlar. Sıkıştırılmış kil şilteler genelde doğal kil malzemelerden yapılırlar. Değişik bir şilte malzemesi olan bentonit yukarıda tartışılmıştır. Sıkıştırılmış kilin permeabilitesi öncelikle boşlukların büyüklüğüne, kil mineraline, kompaksiyon su muhtevasına, kompaksiyon metodu gibi faktörlere bağlıdır. Tüm bu faktörler sıkıştırılan zeminin yapışma ve gözenek boşluğuna etki etmektedir.

Optimum su muhtevası, standart deney yöntemiyle bir kalıp içinde zeminin sıkıştırılarak elde edilen maksimum kuru yoğunluğundaki su muhtevası olarak tanımlanmaktadır. Killer optimum su muhtevasından daha fazla su muhtevasında sıkıştırılarak zeminin yumuşak ve yaş kesecikleri yeniden kalıplanır ve daha küçük boşluklar ve daha düşük permeabilite (k) değerleri elde edilir. Aynı zamanda kompaksiyon kütveti artarken permeabilite (k) azalır.

Genelde dizayn mühendisleri açıklanan minimum kuru birim ağırlığı ve su muhtevasının tanımlanan aralığı içerisinde kil şilteleri kompaksiyona ihtiyaç duyarlar. Bu tanımlanan sıra genelde kompaksiyon ve permeabilite (k) deneylerinden elde edilir. Müsaade edilen maksimum permeabilite (k) değeri ve tanımlanan kompaksiyon test metodu için, eğer ω_1 ve ω_2 su muhtevası ve minimum kuru yoğunluğu (γ_d) arasında kil şiltelere kompaksiyon yapılırsa gerekli permeabilite değeri elde edilebilir. Kil şiltelerin yapımında (γ_d, ω) grafiği üzerinde kompaksiyon için kabul edebilir bir bölge gösterilmiştir (Şekil 1). Zeminin kesme kuvveti, geçirimsizlik şartları ve ilgili diğer faktörler aynı zamanda önemlidir. Bu değerlere göre ortak kabul edilebilir bölgeyi tanımlayabilmek için permeabilite ve kesme kuvveti şartlarından elde edilen kabul edilebilir bölgelerinde (γ_d, ω) grafiği üzerinde karşılaştırılarak ortak kabul edilebilir bölgenin saptanması gerekir (Daniel, D.E., ve Wu, Y.K., 1993).



Şekil 2. Geokompozit Şilte Sistemleri

2.2.2. Geotekstiller

Geotekstiller geoteknik mühendisliğinin farklı uygulamalarında kullanılan sentetik kumaşlardır. Geotekstillerin büyük çoğunluğu polipropilen veya poliester liflerden ve düşük yüzdelerde poliamid veya polietilenden oluşmaktadır. Geosentetikler içerisinde, geotekstillerin en yaygın terminoloji ve en geniş sıralanan özelliklere sahip oldukları görülür. Geomembranların sadece bir engel malzeme olarak kullanılmasına rağmen, geotekstiller pek çok sayıda farklı uygulamalara sahiptir. Atık düzenleme uygulamaları için genelde tanımlanan malzeme özellikleri; kalınlık, birim alan düşen ağırlık, üç eksenli çekme gerilmesi, çok eksenli çekme dayanımı, delinme direnci, çapraz yırtılma dayanımı, açıklık büyüklüğü, geçirimsizlik ve ultraviyole dirençtir (Sharma, H.D., ve Lewis, S.P., 1994).

Atık düzenleme tesislerinde geotekstiller, filtre, ayırma, destek, yastık ve drenaj malzemesi olarak yaygınca kullanılır (Şekil 2). Geotekstiller için nispeten yeni bir uygulamada, atıklar için alternatif bir günlük kaplama olmasıdır. Tipik olarak, dokumasız geotekstiller filtre, ayırma, yastık ve drenaj için düzenleme tesislerinde kullanılır. Dokuma geotekstiller genelde destek ve alternatif günlük kaplama olarak kullanılabilirler.

2.2.3. Geosentetik Drenaj Malzemeler (Geonet)

Geosentetik drenaj ürünleri drenaj sağlamak için plastik levhalardan elde edilirler. Bunlar yaygınca polietilen (PE)'den oluşurlar, fakat aynı zamanda polipropilen, polistren, yüksek-etkili polistren veya diğer malzemelerden oluşabilir. Geonetler genelde açık bir şebeke görünümünde sürekli bir açıda birbirine etki eden kaburga şeklinde köpük veya katı

malzemeden yapılmış paralel iki takımdan oluşmaktadır. Kaburga şeklindeki eğir kanallar, arasında sıvı veya gazın hareket edebileceği şekilde yapılırlar, geonetler çok nadir olarak polietilenden yapılırlar.

Mevcut alandaki zeminlerin veya diğer yakın malzemelerin geonet içerisine girişini önlemek için, geonete bağlanmış geotekstilden oluşan bir geokompozit drenaj tabakası kullanılmalıdır. Geonetin geotekstillere bir sıvı yapışkan kullanılarak veya ısı bağlarıyla bağlanması mümkündür. Geokompozit drenaj şiltelerinin üretiminde geonet veya geotekstilin erime sıcaklığı uyumlu olmalıdır. Geonet ve geokompozit drenaj şebekelerinin tek amacı drenajı sağlamaktır. Mevcut şartnamelerdeki en önemli özellikleri; kalınlık, çarpma dayanımı ve geçirimsizliktir.

2.2.4. Geogridler

Geogridler polipropilen, polietilen, polyester veya PVC-kaplı polyesterden oluşan yüksek dayanıklı zemin destek ürünleridir. Tüm geogridler, 1-7 cm uzunluğunda değişen ufak deliklere sahip olan açık ızgara şeklindedir. Geogridlere birkaç metotla şekil verilir; Polyester veya PVC-kaplı polyester geogridler tipik olarak dokunur veya bağlanır, Polipropilen geogridler ya levhalar halinde çekilir veya levhalar delinerek elde edilir. Geotekstillere ve geomembranlar gibi, geogridlerde birkaç fiziksel, mekanik ve durabilite özelliğine sahiptir. Bu yüzden geotekstillere ve geomembranlar için uygulanan pek çok test metodu aynı zamanda geogridler için de kullanılır (Sharma, H.D., ve Lewis, S.P., 1994).

Geogridler bir zemin duvar yapısını, bir şevi dikleştirmek ve stabil hale getirmek için veya toprak setleri altındaki zayıf zemin yüzeylerinin taşıma kapasitesini artırmak için yaygınca kullanılırlar. Atık düzenleme sistemlerinde, bunlar zayıf zemin yüzeyi üzerindeki tabaka sistemlerini desteklemek için veya tepe atık şevleri üzerindeki son kaplama zeminleri desteklemek için kullanılabilir. Geogridler için nispeten yeni bir uygulamada tepe atık depolarıdır.

2.3. Geosentetik Kil Şilteler (GCL)

Geosentetik kil şilteler (Geosynthetic Clay Liner), geotekstil veya geomembrana kimyasal veya mekanik olarak yapışabilen tozlu bentonik veya granüler, hidrate olmamış bir tabakadan oluşan çok düşük geçirimli yalıtkan malzemelerdir. Geosentetik kil şilteler paneller halinde 4 m genişliğinde 30 m uzunluğunda arazide bir biri üzerine yerleştirilerek yapılır. Bunlar genelde sıkıştırılmış kil şiltelere alternatif olarak kullanılırlar. Tablo 1'de geosentetik kil şilteler ve sıkıştırılmış kil şilteler arasındaki farklar gösterilmiştir.

Aslında, hidrate olmuş bentonitin düşük kesme dayanımı nedeniyle, üst üste konulan malzemelerin şev stabilitesi uygulamalarında geosentetik kil şilteler (GCL) kullanımının sınıflandırılması önemli bir endişe taşımasına rağmen 1980'lerin sonunda nispeten daha iyi kesme dayanımı özelliklerine sahip kompozit bir malzeme üretilerek GCL'leri desteklemek için metotlar geliştirilmiş bu da GCL'lerin atık depolarında kullanılmasını kolaylaştırmıştır. GCL'ler atık depo kaplamalarında şilte olarak kullanılması için daha çok kabul görmekte ve ilgi toplamaktadır.

Geosentetik kil şilteler diğer sıkıştırılmış kil şiltelere göre daha fleksibil, bir dereceye kadar kendini tutabilir ve yerleştirmesi kolaydır. Düşük permeabiliteli killerin hazır bulunmadığı yerlerde bunlar yapı maliyeti tasarrufu bakımından tercih edilmelidir. Aynı zamanda, bunlar yeterli kalite-kontrolünde fabrikada imal edildiği için, arazi yapı kalite-kontrolü maliyetleri sıkıştırılmış kil şiltelerden daha azdır. GCL'ler depo uygulamalarında sadece kısa süreli kullanılmalarına rağmen, arazi uygulamalarında GCL'lerin uzun süreli performansı için araştırma ve bilgiye hala ihtiyaç vardır. Standart test metotları, GCL hidratasyon özelliği, iç kesme dayanımı, komşu malzemelere karşı kesme dayanımı ve üst üste konulmuş ek yerlerinin hidrolik performansı konusunda daha fazla bilgi ve araştırmaya hala ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozit bir malzeme olan GCL, bentonit, geotekstil ve diğer malzemelerin özelliklerine sahiptir.

Tablo 1. Geosentetik ve Sıkıştırılmış Kil Şilteler Arasındaki Farklar (EPA, 1993)

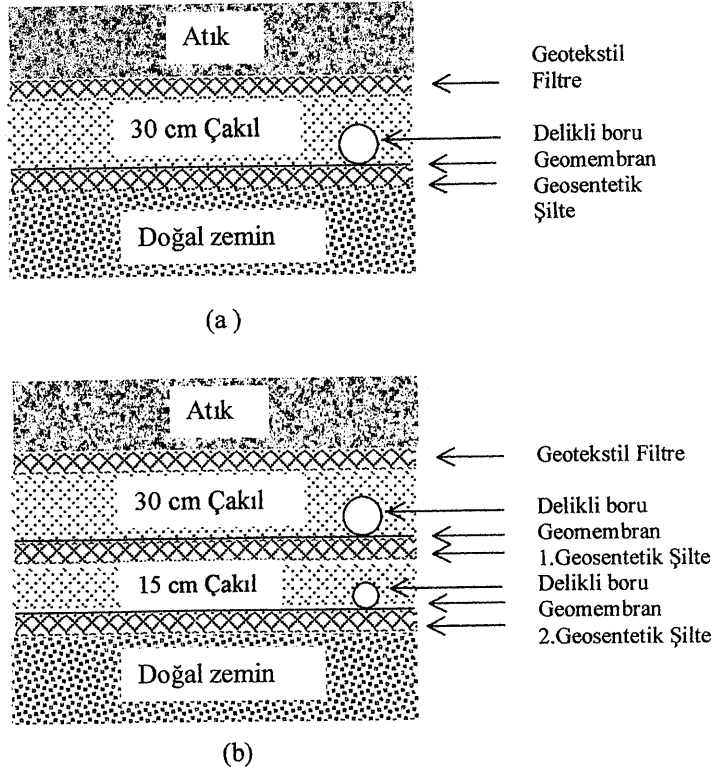
Özellik	Geosentetik Kil Şilteler	Kil Şilteler
Malzemeler	Bentonit, yapışkanlar, geotekstiller veya geomembranlar	Doğal zeminler ve bentonit
Yapım	Üretilir ve araziye yerleştirilir	Arazide yapılır
Kalınlık	Yaklaşık 10 mm	Yaklaşık 0.5-1 m
Permeabilite	$10^{-10} - 10^{-8}$ cm/sn (genelde)	$10^{-10} - 10^{-8}$ cm/sn (genelde)
Yapılma hızı ve kolaylığı	Hızlı, kolay yerleştirilir	Yavaş, yapılması zor
Yapım esnasında su muhtevası	Yeterli derecede kuru, yapım esnasında kurumaz ve konsolidasyon suyu üretmez	Az miktarda doymuş, kuruyabilir ve konsolidasyon suyu üretilebilir
Maliyet	5 \$ - 11 \$/m ²	Fazla değişken (8 \$-32 \$/m ²)
Deneyim düzeyi	Yenilikler nedeniyle sınırlı	Onlarca yıldır kullanılıyor

3. Şilte Sistemlerinin Seçimi ve Tasarımı

Seçilen şilte sistemlerinin tipi bölge jeolojisinin genişliğine, depo bölgesinin çevresel şartlarına ve atık tipine bağlı olacaktır. Örneğin, zemin suyunun düşük olduğu bölgelerde, az sıkıştırılmış kil şilteler yeterli olabilir. Sızıntı ve gaz hareketini kontrol etmek için gerekli bölgelerde zemin koruma tabakası ve uygun bir drenaja sahip bir geomembran ve bir kil şiltesinden oluşan karma bir şilte sistemine ihtiyaç duyulabilir. Bu nedenle şilte sistemlerinin seçiminde depo zemininin geoteknik özellikleri yanında atık tipide göz önünde tutularak ihtiyaca göre depolarda tek veya çift tabakalı şilteler, doğal veya kompozit malzemelerden oluşan şilteler yapılabilir (Şekil 3).

3.1. Şilte Sistemleri

Depo şiltelerinin dizayn amacı zemin suyunun kirlenme tehlikesini azaltmak üzere depo altındaki zeminler çöp suyunun sızmasını engellemektir. Bunun için pek çok tasarım geliştirilmiştir, bunlardan bazıları Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4'de çok tabakalı depo şilte tasarımları örneklenmektedir ve her bir tabaka özel bir fonksiyona sahiptir. Örneğin Şekil 4a'da kil tabakası ve geomembran depo gazı ve çöp suyu sızıntısını engellemek için kompozit bir geçirimsiz tabakadır. Kum veya çakıl tabakası depo içerisinde oluşacak her hangi bir sızıntı toplama ve uzaklaştırma tabakası olarak çalışır. Geotekstil tabakası kum veya çakıl ve zemin tabakalarının karışmasını engeller. Örtü tabakası drenaj ve geçirimsiz tabakaları korumak için kullanılır. Şekil 4a'da gösterilen şilte dizaynı, sızıntı toplama tabakası içerisindeki çöp suyu toplama borularının yerleşmesini



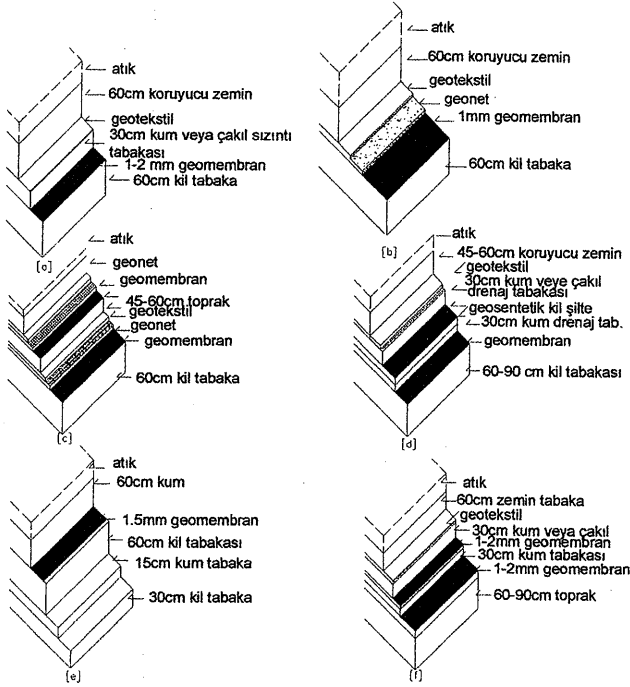
Şekil 3. Geosentetik Şilte Sistemleri a) Tek Tabakalı, b) Çift Tabakalı Taban Şiltesi

içermektedir. Geomembranlar ve kil tabakası içeren kompozit şilte dizaynları daha çok koruma sağlar ve her bir tipin tek başına bulunmasından daha fazla etkinlik sağlar. Şekil 4b'de özel olarak dizayn edilmiş açık dokunmuş plastik ağ ve geotekstil filtre tabakası sıkıştırılmış kil şiltesi üzerine sırasıyla konulan geomembran üzerine yerleştirilmiştir. Koruyucu zemin tabakası geotekstilin üzerine konulmuştur. Sızıntı ve sızıntı toplama sistemleri için geonet ve geotekstil birlikte drenaj tabakası fonksiyonu görmektedir.

Drenaj ve filtre tabakasından oluşan şilte sistemlerinin permeabilitesi kaba kumun permeabilitesine eşittir. Geotekstil filtre örtüsünün tıkanma ihtimali yüzünden, pek çok tasarımcı drenaj tabakası olarak kum veya çakıl tabakalarının kullanılmasını tercih etmektedir. Şekil 4c'de gösterilen şilte sistemlerinde birincil ve ikincil kompozit şilteler olarak yaygınca tanımlanan iki tane kompozit şilte kullanılmıştır. Birinci kompozit şilte sızıntının toplanması için, oysa ikinci kompozit şilte bir sızıntı-kontrol sistemi ve birinci şilte için yedek olarak kullanılmıştır. Şekil 4c'de gösterilen şilte sistemlerinin düzenlenmesi, Şekil 4b'de görüldüğü gibi kum drenaj sisteminin yerine bir geonet drenaj sisteminin yerleştirilmesini gerektirmektedir. Şekil 4d'de gösterilen iki tabakalı kompozit şilte birinci geomembran altındaki kil tabakasının geosentetik kil şiltesi (GCL) ile değiştirilmesi dışında Şekil 4c'de şiltenin benzeridir. Bir sentetik ürün olan GCL yüksek nitelikli bentonit kilinden ve uygun bir bağlayıcı malzemeden yapılmıştır. Bentonit kili gerçekte bir sodyum montmorolit mineralidir ki buda sudaki ağırlığının 10 katı kadar su emme kapasitesine sahiptir. Kil, suyu emdikçe macun-benzeri bir hal alır ve suyun

hareketine karşı oldukça direnç gösterir ve 10^{-10} cm/sn kadar düşük geçirgenlikler gözlemlenebilir. İki tabakalı şilte sistemlerinde iki ilave Şekil 4e ve 4f'de görülmektedir. Şekil 4c'den 4f'ye kadar iki katlı kompozit şilte depo sistemleri gösterilmiştir. Sızıntı-kontrol sistemi genelde iki kat şilte arasında yerleştirilmektedir ve gerekli bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tek tip dolgular için şilte sistemleri genelde iki geomembrandan oluşmaktadır, bunların her biri bir drenaj tabakası ve sızıntı toplama sistemi sağlamaktadır (Şekil 4c ve 4d). Sızıntı toplama sistemi biri altta diğeri üstte olan iki şilte arasına konulmaktadır. Pek çok yapıda 1-1.5 m kalınlığında bir kil tabakası ek koruyucu olarak iki geomembran arasına konulabilir.



Şekil 4. Tek ve Çift Tabakalı Taban Şilte Sistemleri

3.2. Örtü Kaplama Tabakası ve Özellikleri

Depo örtü kaplamasının başlıca amaçları; depo tamamlandıktan sonra yağmur ve kar sularının sızıntısını azaltmak, depo gazlarının kontrolsüz kaçışlarını sınırlamak, bulaşıcı taşıyıcıların çoğalmasını önlemek, yanma tehlikelerini sınırlamak, bölge yüzeyini bitki yetişmesi için uygun hale getirmektir. Bu amaçları karşılamak için depo kaplaması (1) iklimsel değişikliklere dayanıklı, (2) rüzgar ve su erozyonuna dirençli, (3) düşme, çatlama, şev bozulması, su kayması veya yüzey sızıntılarına karşı stabil, (4) temel zemini atığın sıkışması ve depo gazının açığa çıkması nedeniyle oluşan farklı depo oturmalarının

etkilerine, (5) deponun tamamlanan kısmında toplama araçlarının hareketleri ve yığma nedeniyle oluşacak ekstra yükler gibi depolama çalışmaları ve deprem nedeniyle oluşacak bozulmalara, (6) depo gazı içindeki bileşimleri nedeniyle kaplama malzemesinde oluşan değişikliklere dayanıklı ve (7) bitkiler, köstebekler ve böceklerin neden olduğu bozulmalara dirençli olmalıdır (Koerner, R.M., ve Daniel, D.E., 1992).

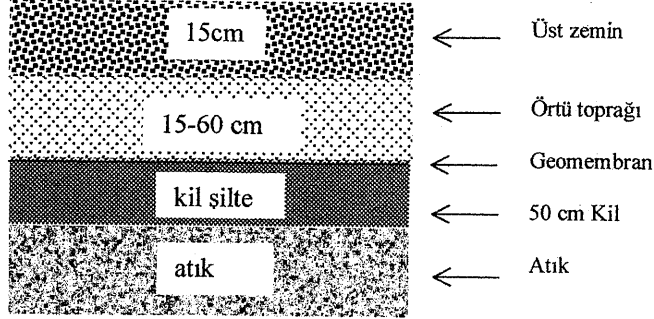
Tablo 2. Sızıntı Kontrol Tesisleri İçin Elemanlar

Tip	Açıklama
Sentetik fleksibil membran şilteler (FMLS)	Çöp suyu ve atıklar içeren akışkanları önlemek için şilteler dizayn edilmeli ve yapılmalıdır. Belediye atık düzenleme birimleri için sentetik şilteler ihtiyaç duyulmaz. Bununla beraber alternatif sentetik şilteler minimum 1cm kalınlığında olmalıdır. Atık düzenleme birimlerinde muhtemelen atık veya sızıntı ile temas edecek tüm doğal jeolojik malzemeyi kaplamak için bu şilteler tesis edilmelidir.
Taban sızdırmaz tabakalar	Belediye atık düzenleme birimlerinde taban sızdırmaz tabakalarının uygulamasının özel konuları mevcut değildir. Taban sızdırmazlarının dizayn, yapı ve yerleşimi bölgesel uygulama acentelerinin denetimindedir.
Suni topraklı şilteler	Eğer bölge şartları ihtiyaç duyarsa belediye depoları için kil şilteler tercih edilir, belediye atık düzenleme birimleri için kil şilteler 30 cm kalınlığında olmalı ve en az %90 rölatif sıkılıkta yerleştirilmelidir. Bir kil şiltelin permeabilitesi maksimum 1×10^{-6} cm/sn olmalıdır. Kil şilteler, eğer kullanılırsa, atık düzenleme yapısında sızıntı veya atıklar temas edecek doğal jeolojik malzemelerin tamamını kapsamalıdır.
Yüzey altı sızdırmaz tabakalar	Bir yüzey altı tabakası daha sonraki yeterli permeabilite şartlarını sağlamak için doğal jeolojik malzeme ile beraber kullanılmak için yerleştirilir. İçinde atık ve çöp suyu bulunan daha sonraki sıvı hareketi için tehlikenin olduğu Belediye atık düzenleme birimlerinde bölgesel acentalar bir yüzey altı sızdırmaz tabakasına ihtiyaç duyarlar. Bariyerler kil malzemeler için min. 60 cm kalınlığında olmalı veya sentetik malzeme için min. 1 cm; gerekli permeabiliteyi ($1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$ cm/s) sağlamak için bu yapılar doğal jeolojik malzeme içerisine min. 1.5 m kadar sokulur.

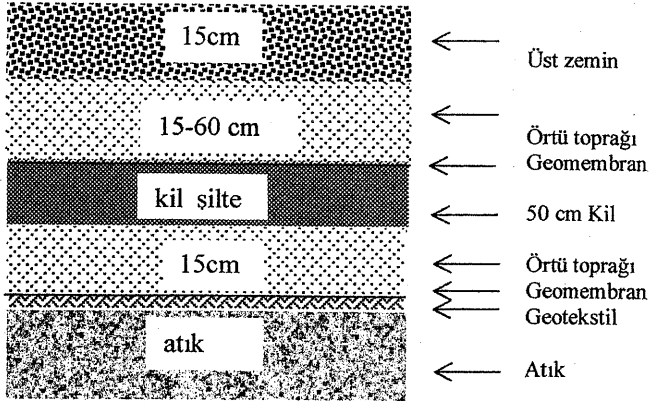
3.3. Depo Kaplamalarının Tasarımı

Modern bir depo kaplaması, Şekil 5’de gösterilen, bir dizi tabakadan yapılır, bu tabakaların her biri özel bir fonksiyona sahiptir. Kaplama altı zemin tabakası deponun yüzeyini oluşturmak için çalışır. Bazı kaplama planlarında, depo gazının gaz toplama tesislerine taşınması için zemin tabakasının altına bir gaz toplama tabakası konulur. Depo gazının kaplama içerisinden kaçışını ve sıvıların depoya girişini sınırlamak için koruyucu/sızdırmaz kil tabakası kullanılabilir. Geçirimsiz tabaka üzerindeki su basıncını azaltmak ve kaplama malzemesi içinden sızan suları uzaklaştırmak için drenaj tabakası,

drenaj ve geçirimsiz tabakayı muhafaza etmek için bir koruyucu tabaka kullanılır. Bitkilerin yetişmesine doğal bir ortam sağlamak ve deponun yüzeyini oluşturmak için kullanılan yüzey tabakası depo kaplaması olarak kullanılır. Bazı yerlerde tabakaların tamamına ihtiyaç duyulmayabilir. Örneğin, bir aktif gaz toplama sistemini yerli yerine koymak gerekemeyebilir. Bazen temel altı tabakası aynı zamanda gaz toplama tabakası olarak kullanılabilir. Yukarıda anlatılan nedenler için tanımlanan tabakaların en kritiği geçirimsiz tabakadır.



(a)



(b)

Şekil 5. Örtü Kaplama Sistemleri a) Tek Tabakalı, b) Çift Tabakalı Şilteler

Mevcut depoların pek çoğunda geçirimsiz tabaka olarak kil kullanılmasına rağmen, kilin kullanılması pek çok problemi beraberinde getirebilir. Örneğin, yumuşak bir zemin üzerinde kili sıkıştırmak zordur, ayrıca sıkıştırılmış killerin kuruma nedeniyle çatlaması, kilin dondan zarar görmesi ve bir depo kaplamasındaki kil tabakasının hasardan hemen sonra onarımı zordur bu nedenle, kil tabakası birikmiş bir depo gazı hareketlerini kontrol etmeyebilir. Sonuç olarak, depo kaplamalarında geçirimsiz tabaka olarak kilin kullanılmasından daha çok bir veya iki geomembranın kullanılması tavsiye edilebilir⁸. Önerilen; kaplama dizaynlarından bazıları Şekil 5’de gösterilmiştir. Geotekstil filtre kum tabakasıyla zeminin karışmasını önlemek için kullanılmaktadır. Eğer depo bölgesi

üzerindeki mevcut örtü toprağı bitkilerin yetişmesi için uygun değilse, bölgeye uygun örtü toprağı taşınmalı veya bitkilerin yetişmesi için mevcut örtü toprağı özelliklerini düzeltmek için ıslah edilmelidir. Geonet drenaj tabakasının yerini bir kum veya çakıl tabakası tutmaktadır. Fonksiyonel olarak, yüzey akışkanlarını azaltmak için zemin tabakası uygun şekilde eğimlendirilir. Fleksibil membran depo gazlarının kaçışını önlemek için kullanılmalıdır (Tchobanoglous, G., ve Diğerleri, 1993).

4. SONUÇ

Çalışmada doğal, sentetik, ve geokompozit şiltelerin yapımında kullanılan malzemeler ve bunların özellikleri irdelenmiştir. Atık depolarında kullanılan şilte sistemleri depo sahasının geoteknik özellikleri ve atık tipine göre seçilmelidir. Doğal şiltelerin yapımı şantiyede olmasına rağmen kompozit şilteler fabrikalarda üretilerek şantiyeye aktarılmaktadır, bu nedenle yapılması daha kolaydır. Doğal kil kullanılarak elde edilen şilteler kompozit şiltelere göre geoteknik açıdan daha az güvenilir olmaktadır. Şilte sistemleri genel olarak geçirimsiz tabakalar ve drenaj malzemelerinden oluşmaktadır. Kompozit bir malzeme olan geosentetik kil şilteler, bentonit, geotekstil ve diğer malzemelerin özelliklerine sahiptir. Depo kaplamaları; iklimsel değişikliklere, rüzgar ve su erozyonuna, şev bozulmasına, arıca farklı depo oturmalarının etkilerine, toplama araçlarının hareketleri ve yığma nedeniyle oluşacak ekstra yükler gibi depolama çalışmaları nedeniyle veya deprem nedeniyle oluşacak bozulmalara dayanıklı olmalıdır. Farklı minerallerden oluşan kil malzemeler kullanılarak elde edilecek doğal şiltelerin geoteknik açıdan özelliklerinin belirlenmesi, statik ve dinamik etkiler altında davranışı, geosentetik kil şiltelerin hidrasyon özelliğı, iç kesme dayanımı, komşu malzemelere karşı kesme dayanımı ve ek yerlerin hidrolik performansı araştırma konusudur.

KAYNAKLAR

- AKBULUT, S., Katı Atık Depolarının Geoteknik Yönden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1995
- DANIEL, D.E., AND WU, Y.K., Compacted Clay Liners and Covers for Arid Sites, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119, No.2, February, 1993
- EPA, Hazardous Waste Management System, Permitting Requirements for Land Disposal Facilities, Part 11, Vol 47, No.143, July, 1982
- EPA, Report of Workshop Geosynthetics Clay Liners, August, 1993
- KOERNER, R.M. AND DANIEL, D.E., Better Cover-Ups, Civil Engineering, Vol62, No.5, May, 1992
- KOERNER, R.M. AND OKRASINSKI, T. A., Erosion Control of Granular Soils Using PVA., Journal of Const. Div., ASCE, Vol.104, No. C03, September, 1978
- SHARMA, H. D., LEWIS, S. P., Waste Containment Systems , Waste Stabilisation and Landfills, Design and Evaluation, Waste Characterisation and Solid-Waste Interaction, John Wiley & Sons Inc., New York, 1994
- TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., AND VIGIL, S., Integrated Solid Waste Management Eng. Principles and Management Issues, McGraw-Him, Inc., New York, 1993

THE LINER SYSTEMS USED IN MODERN SOLID WASTE LANDFILLS

ABSTRACT

Storage of urban solid wastes under hygienic conditions is an important problem for developing countries. Preventing or reducing the soil and water pollution is possible by using the system of foundation and final cover liners developed for the solid waste landfills. The usage of liner systems designated according to waste type stored in the soil waste landfills, in varies types and styles, permeability and especially thickness of natural clay liners are very important. Natural and synthetic liner systems of different types and styles used in the solid waste landfills are investigated.

