

TEHLİKELİ ATIK YÖNETİMİ

Bölüm 6: TEHLİKELİ ATIKLARIN DEPOLANMASI

Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU

SALİHOĞLU, G., 2019, Tehlikeli Atık Yönetimi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 510 sayfa, Ankara. ISBN: 978-605-312-330-9.

6. TEHLİKELİ ATIKLARIN DEPOLANMASI

Öğretmen Kılavuzu

Öğrenme Amaçları

Bu bölümün sonunda öğrenciler,

1. Tehlikeli atık depolama alanlarına neden ihtiyaç duyulduğunu kavrayacak,
2. Tehlikeli atık depolama alanları tasarımında dikkat edilmesi gereken hususları öğrenecek,
3. Tehlikeli atık depolama alanlarında oluşturulan taban ve örtü sistemlerinin önemini kavrayacak,
4. Taban ve örtü sistemlerinde kullanılan doğal ve sentetik malzemeleri tanıyacak, kullanım amaçlarını anlayacak,
5. Tehlikeli atık depolama alanlarının yapısal bütünlüğünün önemini kavrayacak,
6. Tehlikeli atık depolama alanlarının işletimi ve izlenmesi sürecinde yapılması gerekenleri bilecektir.

Düşünülmesi Gereken Sorular

1. Tehlikeli atık depolama alanlarına ihtiyaç duyulmayan bir atık yönetim sistemi oluşturmak mümkün müdür?
2. Tehlikeli atık depolama alanlarının çevresel ortamlara sunduğu potansiyel riskler nelerdir?
3. Çevresel risk oluşturmayan bir tehlikeli atık depolama alanı oluşturmak mümkün müdür?
4. İyi tasarlanmamış bir depolama alanı ne tür kazalara sebebiyet verebilir?

İçindekiler

| | |
|--|----|
| 6. TEHLİKELİ ATIKLARIN DEPOLANMASI | 1 |
| Öğretmen Kılavuzu | 2 |
| 6.1. Giriş..... | 4 |
| 6.2. Depolama Bilimi | 4 |
| 6.3. Depolama Alanlarında Gerçekleşen Süreçler | 10 |
| 6.3.1. Sızıntı Suyu Oluşumu | 11 |
| 6.3.2. Atık Gaz Oluşumu | 12 |
| 6.4. Depolama Yöntemleri..... | 12 |
| 6.5. Depolama Alanı Tipleri | 14 |
| 6.6. Depolama Alanı Tasarımı..... | 14 |
| 6.6.1. Alan Seçimi ve Değerlendirilmesi | 16 |
| 6.6.2. Alanın Hazırlanması | 17 |
| 6.6.3. Taban Sistemlerinin Düzenlenmesi | 19 |
| 6.6.4. Sızıntı Suyu Yönetimi | 36 |
| 6.6.5. Gaz Oluşumu ve Enerji Eldesi | 50 |
| 6.6.6. Örtü Sistemlerinin Düzenlenmesi..... | 51 |
| 6.6.7. Depolama Alanı Stabilitesi..... | 55 |
| 6.7. Depolama Alanlarının İşletimi | 57 |
| 6.7.1. Depolama Alanı İşletme ve Doldurma Planı | 58 |
| 6.7.2. Depolama Kapasitesi Tahmini | 58 |
| 6.7.3. Ekipman İhtiyacı | 59 |
| 6.7.4. İzleme | 60 |
| 6.8. Depolama Alanlarının Kapatılması ve Kapatma Sonrası Bakım | 62 |
| Özet ve Değerlendirme..... | 63 |
| Kaynaklar | 64 |
| Konu Sonu Soruları ve Çözüm Setleri | 66 |
| Test | 71 |

6.1. Giriş

Bu bölümde tehlikeli atıkların nihai depolanması ile ilgili konular aktarılacaktır. Bu kapsamda depolama alanlarında gerçekleşen süreçler, sızıntı suyu ve gaz oluşumu gibi hususlar ele alınacaktır. Bunun yanında bu alanların tasarımını oluşturan unsurlar açıklanacaktır. Taban ve örtü sistemlerinin oluşturulması ayrıntılarıyla ele alınacak, depolama alanlarının işletimi ve ekipman ihtiyacı üzerinde durulacaktır. Bölüm, tehlikeli atık depolama alanlarının kapatılması ve kapatıldıktan sonra izlenmesiyle ilgili hususların aktarılmasıyla sonlandırılacaktır.

6.2. Depolama Bilimi

Tehlikeli atıkların yönetiminde yaygın olarak kullanılan tüm teknoloji uygulamaları sonucunda mutlaka bir kalıntı tehlikeli atık oluşmaktadır. Bazı tehlikeli atıkların, özellikleri dolayısıyla, ne maddesel geri kazanımları ne de enerji kazanımı amacıyla yakılmaları mümkün olmamaktadır. Yakma yoluyla veya diğer kimyasal veya biyolojik yöntemlerle parçalanamayan tehlikeli atıklar için uygulanabilecek son seçenek "depolama" olarak karşımıza çıkmaktadır. Nihai depolama seçeneği barındırdığı çevresel riskler nedeniyle her zaman tercih edilen bir yöntem olmasa da diğer yöntemlerle kıyaslandığında "nihai bertaraf yöntemi" olarak bazı avantajlar sunmaktadır.

Nihai depolama tesisleri evsel veya tehlikeli atıkların kontrollü olarak kabul edildiği ve depolama yapıldıktan sonra oluşan sürecin kontrol altına alındığı mühendislik tasarımı yapılmış alanlar olarak tanımlanabilir. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADD, 2010), nihai depolamanın yapıldığı düzenli depolama tesislerini aşağıdaki gibi tanımlamaktadır:

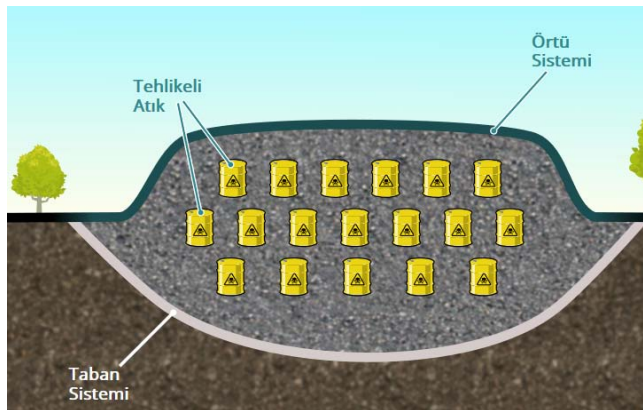
"Düzenli depolama tesisi: Atıkların olduğu tesis içinde geri kazanım, ön işlem veya bertarafa gönderilmek üzere geçici depolandığı birimler, atığın geri kazanım veya ön işleme tabi tutulmak amacıyla üç yıldan daha kısa süreli ara depolandığı tesisler ile atığın bertaraf işlemine tabi tutulmak üzere bir yılı geçmeyecek şekilde ara depolandığı tesisler hariç olmak üzere atıkların yeraltı veya yer üstünde belirli teknik standartlara göre bertaraf edildiği sahalar"

Depolama alanları tehlikeli atık yönetim uygulamalarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır ve depolama alanlarına olan ihtiyacın devam edeceği açıktır. Depolama alanları gereklidir çünkü: 1) Kaynakta azaltım, geri kazanım, atık minimizasyonu gibi teknolojiler atıkların üretilmesini henüz tamamen elimine edememektedir, 2) yakma, biyolojik arıtma gibi tehlikeli atık yönetim teknolojileri uygulandıktan sonra yine kalıntılar oluşmaktadır ve bunlar için nihai bertaraf yöntemi depolamadır. Günümüzdeki uygulamalar, yakın gelecekte tehlikeli atık üretiminin sıfır düzeyine inmeyeceğini göstermektedir. Bu nedenle tehlikeli atıkların depolanması, bir atık yönetim teknolojisi olarak var olmaya devam edecektir.

Geçmişte, tehlikeli atıkların toprak altına gömüldüğü pek çok uygulama yeterli çevresel önlem alınmadan gerçekleştirilmemiş ve bu uygulamalar nedeniyle toplum ve çevre tarafından ödenen bedel yeterince hesaplanmamıştır. Bu durum, yeni depolama alanlarının inşa edilmesiyle ilgili toplumsal hassasiyetin oluşmasına neden olmuştur (LaGrega ve diğ., 1994). Yaşanan olumsuz tecrübelerden hareketle tehlikeli atıkların depolanmasında tehlikeli atık yöneticilerine önemli sorumluluklar düşmektedir. Bir taraftan tehlikeli atığın kaynağında minimum düzeye indirilmesi için çaba gösterilmesi gerekirken diğer taraftan oluşumundan kaçınılamayan atıkların en uygun arıtma seçenekleriyle tehlikesiz hale getirilmesi gerekmektedir. Bütün önlemlerin sonunda yine de elimine edilemeyen tehlikeli atıklar için güvenli (I. Sınıf) depolama tesislerinin mevcut en iyi teknikler kullanılarak günün ihtiyaçlarına uygun şekilde tasarlanarak inşa edilmesi gerekmektedir. I. Sınıf nihai depolama alanlarının tasarımı, inşaatı ve işletimi için, tasarımcıların yüksek sızdırmazlık hedefi koymaları ve beklenmeyen sızma durumları için gereğinden fazla önlem almaları gerekmektedir.

Depolama, ülkemiz de dahil birçok ülkede özellikle evsel atıkların depolanması için temel yönetim seçeneği olarak kullanılmaktadır. Avrupa Birliği ve ülkemiz mevzuatında evsel atıkların kabul edildiği depolama alanları 2. sınıf, tehlikeli atıkların kabul edildiği depolama alanları 1. sınıf depolama alanı olarak sınıflandırılmaktadır. ABD mevzuatında evsel atık depolama alanları Kaynak Koruma ve Geri Kazanım Yasası (RCRA) Altbaşlık-D, tehlikeli atık depolama alanları ise RCRA Altbaşlık-C olarak sınıflandırılmaktadır.

Biyoparçalanabilir özellikteki atıklar olduğu evsel atık depolama alanları, biyoreaktör olarak tasarlanmakta ve işletilmektedir. Ancak tehlikeli atık depolama alanları içinde biyoparçalanmanın olması, atıkların birbirleriyle reaksiyona girmesi istenmeyen bir durumdur. Bu kitapta özellikle tehlikeli atıkların depolanmasıyla ilgili hususlar yer almaktadır. Tehlikeli atık depolama alanları aynı zamanda güvenli (I. Sınıf) depolama alanı olarak anılmaktadır. I. Sınıf depolama alanları tasarımında dikkat edilen temel unsurlar (Şekil 6.1): 1) Hava emisyonlarını ve yağış infiltrasyonunu minimize edecek örtü sisteminin ve 2) Sızıntı suyunu maksimum şekilde toplayacak ve kirletici taşınımını minimize edecek taban sisteminin oluşturulmasıdır.



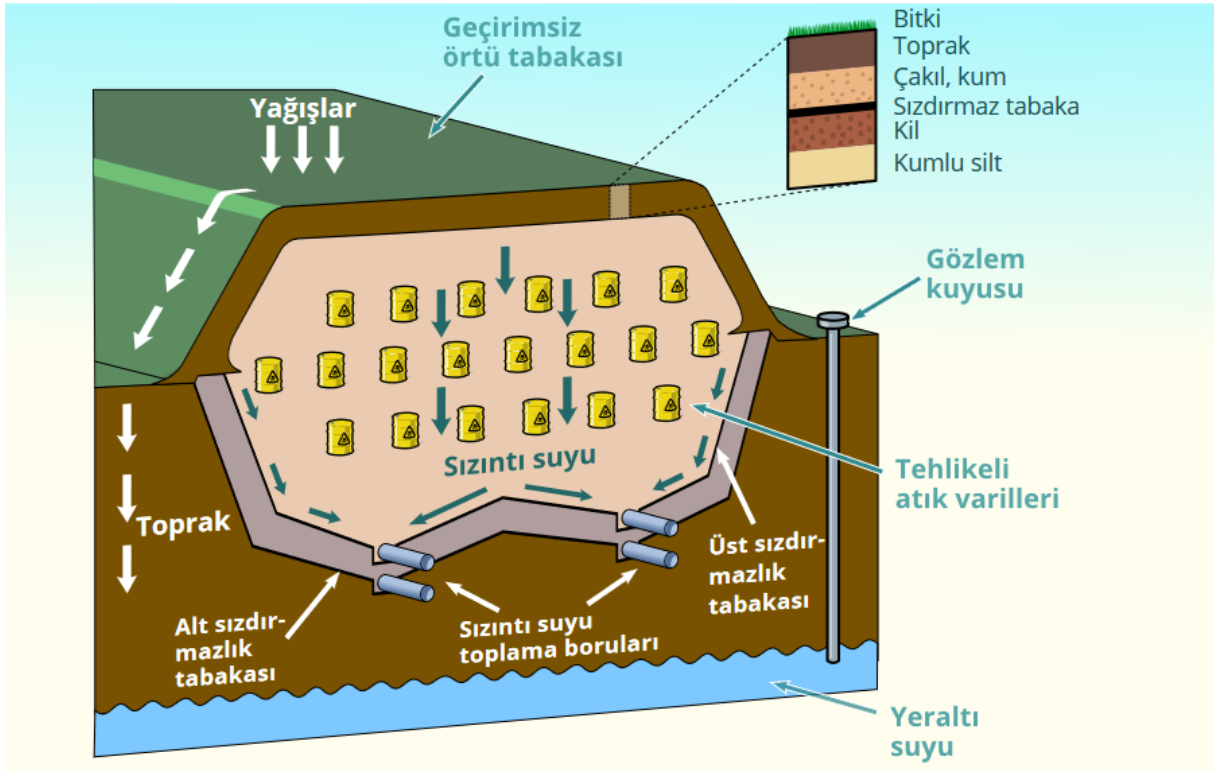
Şekil 6.1. Tehlikeli atık depolama alanı: basitleştirilmiş en kesit

Evsel katı atıkların depolandığı tesisler “Sihhi Depolama Alanı” veya “II. Sınıf Depolama Alanı” olarak adlandırılırken, tehlikeli atıkların depolandığı tesisler “Güvenli Depolama Alanı” veya “I. Sınıf Depolama Alanı” olarak adlandırılmaktadır (Shen, 1981). Temelde benzer fonksiyon gösteren bu iki depolama alanı, birbirinden, kabul ettiği atık türleri, taban ve örtü dizilimleri açısından bazı farklılıklar göstermektedir. Tehlikeli atıkların kabul edildiği depolama alanlarında taban ve örtü sistemlerinin oluşturulmasında II. Sınıf depolama alanlarına nazaran daha yüksek güvenlik önlemleri alınmaktadır. Aynı zamanda tehlikeli atık depolama alanlarına biyolojik olarak ayrışabilen organik atık kabulü yapılmayacağı düşünüldüğünden, evsel atıkların depolandığı II. Sınıf depolama alanlarından farklı olarak bu alanlarda genellikle gaz toplama ve enerji dönüşüm sistemleri oluşturulmamaktadır.

Depolama, atıkların depolama alanlarına yerleştirilme sürecini ifade etmektedir. Yakma fırını külü, asbest gibi bağımsız atık bileşenleri için oluşturulan depolama alanları ise “Mono-deponi” (monofill) olarak adlandırılmaktadır (Shen, 1981). Atıkların kontrolsüz olarak toprak üzerinde depolanmasıyla oluşturulan alanlar ise “Çöplük” veya “Vahşi Depolama Alanı” olarak bilinmektedir.

Tehlikeli atık depolama alanları, tehlikeli atıkların on yıllarca güvenli olarak depolanabilmesi için özel olarak inşa edilmiş alanlardır. Bu alanlarda tehlikeli maddelerin toprağa sızmasını engelleyecek özel sızdırmaz tabakalar, farklı özelliklerdeki tehlikeli atıkların kimyasal özelliklerine, tiplerine, reaktivliklerine göre ayrı ayrı depolanabildikleri ayrı hücreler bulunmaktadır. Tehlikeli atık depolama alanları genellikle bir sızıntı suyu arıtma tesisi, gözlem kuyuları ve su tutma yapılarıyla donatılmaktadırlar. Depolama alanlarında çözünmüş kirleticiler ve askıda katı madde içeren sızıntı suları oluşmaktadır (Shen, 1981).

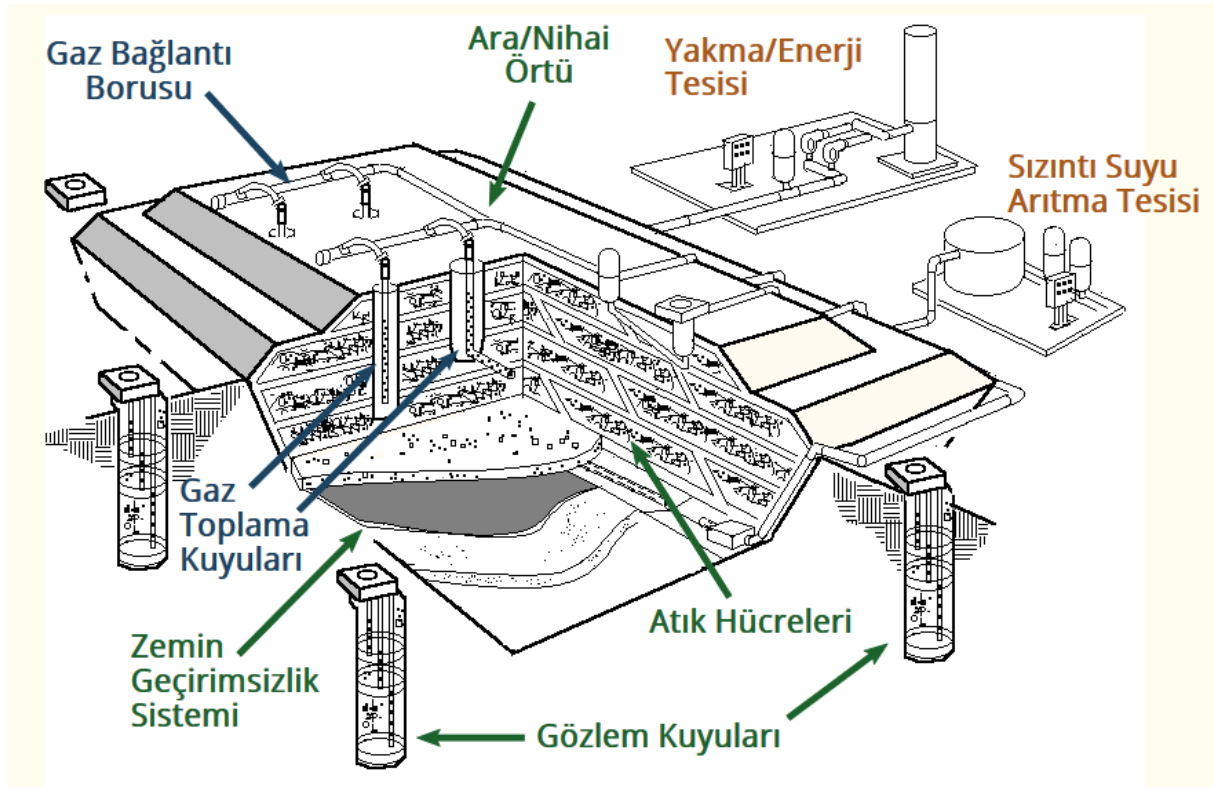
Tehlikeli katı atıkların depolanması konusu, mevzuatta evsel atıklara kıyasla daha bağlayıcı hükümlerle yer almaktadır. Tehlikeli atıkların depolandığı I. Sınıf depolama alanlarının tabanıyla yeraltısuyu akiferi arasında en az 3 metre mesafe bulunması gerekmektedir. Bu depolama alanlarının zemininde en az iki sızdırmazlık tabakası ve iki sızıntı suyu toplama sisteminin bulunması gerekmektedir. İlk sızdırmazlık tabakası sızıntı suyunun depo içinde tutulmasını sağlarken, ikinci tabaka ilk tabakadan kaçabilecek sızıntı sularının tutulmasını garantiye altına almak içindir. Toplanan sızıntı suyu arıtma tesisine pompalanır. Depolama alanı içindeki sızıntı suyunun miktarını ve potansiyel çevresel tahribatı minimize etmek için işletmeye kapatılan depolama alanlarının üstü geçirimsiz bir örtü ile kaplanmalıdır. Şekil 6.2'de I.Sınıf bir depolama alanı şematize edilmektedir.



Şekil 6.2. Şematize edilmiş bir güvenli (I. Sınıf) depolama alanı (Britannica, 2017)

Avrupa'da Almanya, Avusturya, İsveç, Danimarka, Belçika, Hollanda ve İsviçre gibi çeşitli ülkelerde işlem görmemiş atıkların depolama alanlarında bertaraf edilmesi yasaklanmıştır. Bu ülkelerde sadece belli tipteki tehlikeli atıkların, yakma fırınından çıkan uçucu küllerin veya mekanik-biyolojik arıtma tesislerinden çıkan kararlı atıkların depolanmasına izin verilmektedir. Organik içerikli atıkların yakma gibi diğer yöntemlerle bertaraf edildiği ve tehlikeli atık depolama alanlarına yalnızca inorganik ve kararlı tipteki atıkların kabul edildiği durumlarda alandaki gaz çıkışının minimum düzeyde olacağı ve gaz toplama sistemlerinin gerekli olmayacağı düşünülmektedir. Organik atıkların depolandığı II. Sınıf depolama alanlarının temel bileşenleri ise Şekil 6.3'de görülmektedir.

Atık hücresi terimi, bir işletme periyodu (genellikle 1 gün) içinde depolama alanına yerleştirilen atık hacmini ifade etmek için kullanılmaktadır. Atık hücresi, içinde depolanan atığı ve üstünü ve çevresini saran günlük örtü tabakasını kapsamaktadır. Günlük örtü tabakası olarak toprak kullanılacağı gibi kompost, döküm kumu vb. alternatif atıklar da kullanılabilir (Shen, 1981).



Şekil 6.3. Organik atıkların kabul edildiği sıhhi (II. Sınıf) depolama alanı bileşenleri

Günlük örtü tabakaları, depolama alanlarına kemirgen, böcek ve diğer hastalık yapıcı vektörlerin girmesini, atık maddelerin çevreye dağılmasını engellemekte, koku oluşumunu azaltmakta ve işletme esnasında yağışların depolama alanına girişini azaltmaktadır. Aktif depolama alanındaki hücrelerin tamamlanmasıyla oluşan tabakaya lot veya katman (lift) adı verilmektedir. Depolama alanları bir seri lottan oluşmaktadır. Lotların yüksekliği 15-20 metreye ulaştığında teraslama yapılarak depolama alanlarının yapısal sağlamlığı korunmaktadır (Shen, 1981). Teraslar aynı zamanda yüzeysel su drenaj hatlarının yerleştirilmesi ve gaz borulamasının yapılması amacıyla da kullanılabilir. Son lotun üzeri nihai örtü tabakasıyla örtülmektedir.

Depolama alanı zeminlerinde kullanılan malzemeler, sızıntı suyunun ve deponi gazının alandan çıkışını engellemek için tasarlanmış, birbirini izleyen bir seri sıkıştırılmış kil ve geosentetik malzemeden oluşmaktadır. Bütün depolama işlemleri tamamlandıktan sonra ise depolama alanları nihai örtü malzemesiyle kaplanmaktadır. Depolama alanından süzülerek zeminde toplanan sıvıya "Sızıntı suyu" adı verilmektedir. "Depolama alanlarının izlenmesi" kapsamında depolama alanlarından çıkan gazların ve sızıntı sularının hareketinin izlenmesi amaçlanmaktadır; bu nedenle izleme esnasında su ve hava örnekleri toplanarak analiz edilmektedir. "Depolama alanlarının kapatılması" ise işletimi tamamlanan depolama alanlarının kapatılarak güvenli hale getirilmesiyle ilgili izlenmesi gereken prosedürleri

anlatmaktadır. "Kapatma sonrası bakım" terimi, kapatılmış depolama alanlarından çevresel ortamlara yayılabilecek kirleticilerin durdurulması ve temizlenmesiyle ilgili prosedürleri ifade etmektedir.

Atık depolama tesislerine kabul edilecek atıklar ve kabul edilme şartları Atıkların Düzenli Depolanması Yönetmeliği'nde (ADD, 2010) belirlenmiştir. Buna göre işlenmesi ve değerlendirilmesi mümkün olmayan inert atıklar dışındaki atıklar, herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan nihai depolama tesislerine kabul edilmemelidir. Atığın bertaraf edileceği depolama tesisinin belirlenmesinde (tehlikeli, tehlikesiz ve inert) atığın içindeki belli parametrelerin düzeylerinin depolama alanları için belirlenmiş sınır değerlerle karşılaştırılması esas kabul edilmektedir (ADD, 2010).

Bazı tehlikeli atık türleri için başka bir işlem seçeneği uygun olmadığından, bu atıkların depolama alanlarına alınmaları zaruridir. Bu atıklara örnek olarak asbest verilebilir. Sıvı haldeki tehlikeli atıkları ancak bazı işlemler uygulandıktan sonra depolamak mümkündür. Uygulanabilecek işlemler arasında zehirsizleştirme (detoksifikasyon), çöktürme, katılaştırma vb. seçenekler bulunmaktadır. Patlayıcılar, sıkıştırılmış zehirli gazlar ve sıvı PCB'ler gibi atıkların teknik sebeplerden dolayı depolama alanlarına kabul edilmemeleri gerekmektedir (Pichtel, 2014).

Tehlikeli atık depolama alanlarına atık kabulü yapılabilmesi için atıkların %60-70 katı madde içeriğine gelene kadar susuzlaştırılmaları gerekmektedir. Akışkan, sıvı, macun formundaki, basınç veya vakum altındaki, nemle buluştuğunda ısı ve gaz çıkaran, parlama noktası düşük, kuvvetli oksitleyici maddeler ve toksik uçucu bileşenler içeren atıkların depolama alanlarına kabul edilmemeleri gerekmektedir (Donatello, 2010).

Atıkların Düzenli Depolanması Yönetmeliği'ne göre (ADD, 2010) tehlikeli atık depolama alanlarına kabul edilebilecek atıkların özellikleri Tablo 6.1'de verilmektedir. Mevzuata göre atık içerisindeki kirletici seviyelerinin mg/l cinsinden belirlenebilmesi için sıvı/katı oranı 10 lt/kg seçilerek eluat testi (TS EN 12457) yapılmalıdır. ABD mevzuatında bu amaçla yapılan test Toksisite Özelliklerini Sızdırma Prosedürü (Toxicity Characteristics Leaching Procedure, TCLP testi) olarak bilinmektedir.

Tablo 6.1. Tehlikeli atık depolama tesisleri için sınır değerler (ADD, 2010)

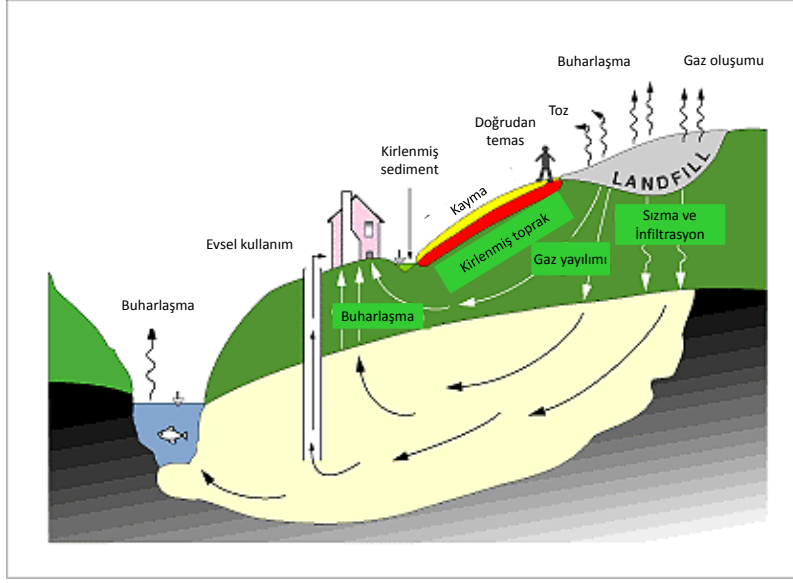
| Parametre | Birim | Sınır değerler |
|-------------------------|---------|----------------|
| As (Arsenik) | mg / lt | 2,5 |
| Ba (Baryum) | mg / lt | 30 |
| Cd (Kadmiyum) | mg / lt | 0,5 |
| Cr toplam (Toplam krom) | mg / lt | 7 |
| Cu (Bakır) | mg / lt | 10 |
| Hg (Civa) | mg / lt | 0,2 |

| | | |
|------------------------------|---------|-------|
| Mo (Molibden) | mg / lt | 3 |
| Ni (Nikel) | mg / lt | 4 |
| Pb(Kurşun) | mg / lt | 5 |
| Sb (Antimon) | mg / lt | 0,5 |
| Se(Selenyum) | mg / lt | 0,7 |
| Zn (Çinko) | mg / lt | 20 |
| Klorür | mg / lt | 2500 |
| Florür | mg / lt | 50 |
| Sülfat | mg / lt | 5000 |
| ÇOK(Çözünmüş organik karbon) | mg / lt | 100 |
| TÇK(Toplam çözünen katı) | mg / lt | 10000 |
| LOI (Yanma kaybı) | % | 10 |
| TOK (Toplam organik karbon) | % | 6 |

İyi tasarlanmış I. Sınıf bir depolama alanı bile, uygun olmayan işletme uygulamaları, depolama alanına fazla miktarda sıvı girmesi, taban geçirimsizlik sisteminde oluşan çatlaklar, fiziksel hasarlar, sızıntı suyu toplama sisteminin tıkanması, zaman içinde ortaya çıkan oturmalar, örtü ve taban malzemesinin zarar görmesi, geçirimsiz zemin malzemesinin solventlere maruz kalması, uygun olmayan bağlantılar gibi nedenlerle çevreye olumsuz etkiler yayabilir.

6.3. Depolama Alanlarında Gerçekleşen Süreçler

Evsel atık depolama alanlarında atık içerisindeki organik maddenin biyolojik dönüşümü büyük ölçüde gerçekleşirken, tehlikeli atık depolama alanlarında bunun gerçekleşmesi istenmez (Gade ve diğ., 2001). Bu nedenle bu depolama alanlarına atık kabulü yapılırken çok sıkı prosedürler uygulanmalıdır. Tehlikeli atık depolama alanlarında gerçekleşen süreçler sonucunda sızıntı suyu ve çok düşük düzeyde gaz ortaya çıkmaktadır. Depolama alanlarının çevreye olası etkileri Şekil 6.4'te şematize edilmektedir.



Şekil 6.4 Depolama alanlarının çevreye olası etkileri

İşletme aşamasında depolama tesisine kabul edilen atıkların, sahanın yapısal sağlamlığını bozmayacak, iç ve dış şevlerde kayma ve yıkılmalara neden olmayacak güvenlik düzeyinde depolanmaları gerekmektedir. Zemin dayanımının geçirimsizlik tabakasına zarar vermeyecek nitelikte olması sağlanmalıdır (ADD, 2010). Depolama sırasında, şev stabilitesini ve araçlarla makinelerin kolayca manevra yapabilmelerini sağlamak için lot şev eğiminin ve atık hücresinin şev eğiminin en fazla 1/3 olması sağlanmalıdır (ADD, 2010).

Organik atıkların kabul edildiği bir depolama alanı bir biyokimyasal bir reaktör gibi düşünülebilir. Atıklar ve su, temel girdileri, gaz ve sızıntı suyu, temel çıktıları oluşturmaktadır. Depolama alanında depolanan organik atıklar mikrobiyal yöntemlerle parçalanmaya uğradıklarında deponi gazı oluşumu gözlenmektedir. Ancak organik atıkların kabul edilmediği I. sınıf depolama alanlarında böyle bir biyolojik dönüşüm olmayacağı için gaz oluşumu gözlenmez. Bu tip depolama alanlarında oluşan sızıntı suları mikrobiyal parçalanma etkisiyle değil, alana dışarıdan giren suyun atık içerisindeki kirleticileri çözmesi nedeniyle oluşur. Gaz oluşumunun gerçekleştiği depolama alanlarında oluşan gazın atmosfere çıkışının önüne geçmek için kontrollü bir şekilde toplanması ve mümkünse enerjiye dönüştürülmesi gerekmektedir. Enerji dönüşümünün yapılamadığı durumlarda ise bu gaz meşalelerle yakılarak daha az zararlı hale getirildikten sonra atmosfere verilmektedir (Pichtel, 2014).

6.3.1. Sızıntı Suyu Oluşumu

Sızıntı suyu, yağışlar yoluyla atık içinden geçen suyu ve depolama alanı içindeki atıkların alana ulaşan sıvılarla veya birbirleriyle reaksiyonları yoluyla oluşan sıvıyı temsil etmektedir. Biyolojik dönüşüm özellikle evsel atıkların depolandığı sıhhi (II. Sınıf) depolama alanlarında gerçekleşir. Tehlikeli atıkların depolandığı alanlarda ise sızıntı suyu oluşumu, alana giren

suyla depolanan tehlikeli atıklar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Sızıntı suyunun içinde, askıda katı maddeler, atığın çözünebilir bileşenleri ve reaksiyon (biyolojik ve/veya kimyasal) ürünler bulunmaktadır. Sızıntı suyunun içeriği atığın kompozisyonuna ve heterojen yapısına bağlı olarak değişir. (Christensen, 2011). Örneğin inert atıkların bulunduğu bir depolama alanında oluşan sızıntı suyunda düşük kirletici konsantrasyonları görülürken, tehlikeli atıkların bulunduğu bir depolama alanının sızıntı suyunda görülen konsantrasyonlar ve kirletici türleri çok daha büyük bir salınım gösterir. Sızıntı suyu özellikle organik asitlerin varlığından dolayı kötü bir kokuya sahip olmaktadır (Christensen, 2011).

Yasal mevzuat (AB, 1999; ADD, 2010) sızıntı suyunun geçirimsiz bir zemin sistemiyle depolama alanı içinde tutulmasını gerektirmektedir. Depolama alanının zemininin ve yan duvarlarının doğal geçirimsiz mineral tabakasıyla veya buna eşdeğer sentetik bir tabakayla kaplanarak, olası sızmalara karşı toprak ve yeraltı suyunun korunması gerekmektedir. Oluşan sızıntı suyunun toplanarak arıtılması ve içerisindeki kirletici konsantrasyonlarının çevresel açıdan kabul edilebilir seviyelere getirilmesi gerekmektedir. Tehlikeli atık depolama alanlarında oluşan sızıntı sularının yüksek seviyelerde tuz, halojenli organik bileşikler, iz metaller ve organik bileşikler içerdiği bilinmektedir (Christensen, 2011).

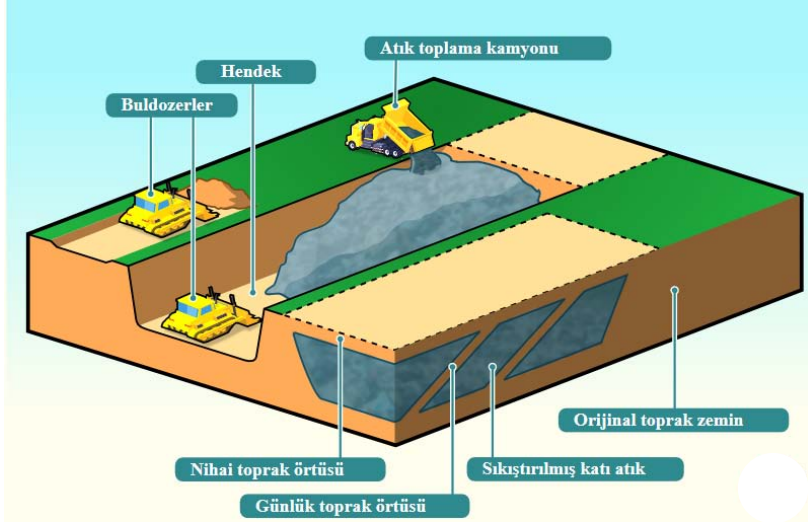
6.3.2. Atık Gaz Oluşumu

Mevzuat gereği tehlikeli atıkların herhangi bir ön işlem görmeden depolama alanlarına kabul edilmemeleri gerekmektedir. Bu durumda tehlikeli atık depolama alanlarına birbirleriyle reaksiyona girmeyecek ve yönetilebilmeleri için başka seçeneğin bulunmadığı inorganik ve/veya kararlı atıkların kabul edilmesi gerekmektedir. Bu zorunluluktan hareketle, tehlikeli atık depolama alanlarında evsel atık depolama alanlarında olduğu gibi gaz oluşumu gözlenmemelidir. Bu nedenle I. sınıf depolama alanı tasarımlarına gaz toplama sistemleri genellikle dahil edilmemektedir. Bu kitap kapsamında yalnızca tehlikeli atıklarla ilgili hususlar ele alındığından, evsel atık depolama alanlarında gerçekleşen gaz oluşumu ve gazdan enerji eldesi gibi hususlar kapsam dışında bırakılmıştır.

6.4. Depolama Yöntemleri

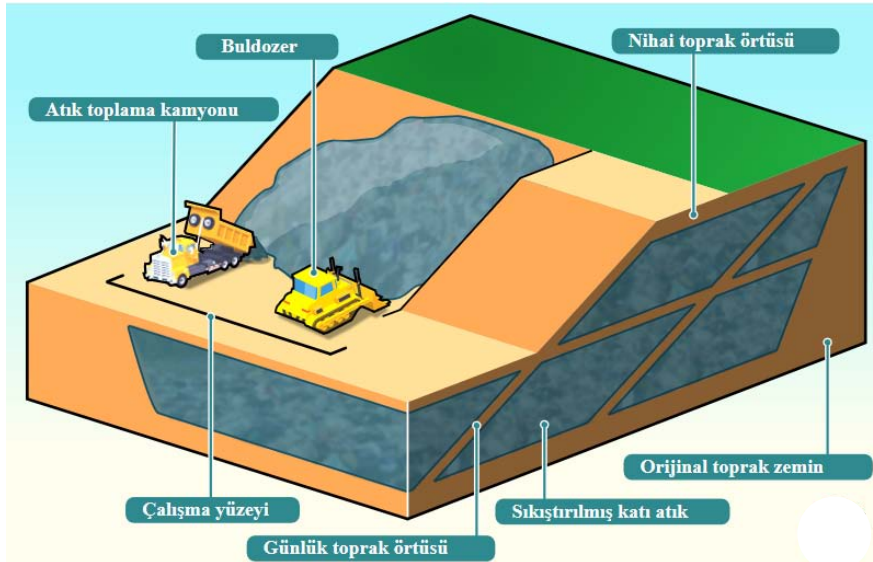
Atıkların depolanması esnasında kullanılan başlıca yöntemleri 1) Kazılmış hücre / hendek, 2) alan, ve 3) vadi/kanyon yöntemi olarak sınıflandırmak mümkündür (Shen, 1981).

Kazılmış hücre/hendek yöntemi, alanda yeterli örtü malzemesi bulunduğu ve yeraltısuyu seviyesi yüzeye uzak olduğunda uygun bir yöntemdir. Alandan kazılarak çıkarılan toprak günlük ve nihai örtü tabakası olarak kullanılır. Kazılmış hücreler veya hendekler sentetik membran taban sistemleriyle ve düşük geçirimsilikte kil tabakalarıyla donatılır (Şekil 6.5) (Shen, 1981).



Şekil 6.5. Kazılmış hücre/hendek yöntemiyle oluşturulmuş bir depolama alanı

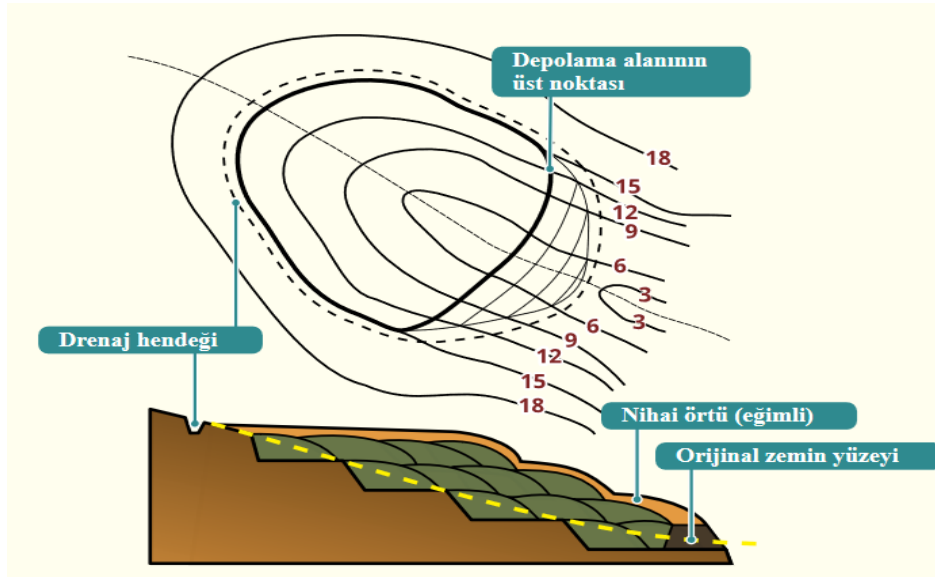
Atıkların depolanacağı yerin kazılmış hücre veya hendek yöntemi için uygun olmadığı durumlarda alan yöntemi uygulanmaktadır. Yeraltısuyunun yüzeye yakın olduğu bölgelerde kazı sistemiyle depolama alanı oluşturmak mümkün olmadığından alan tipi depolama alanları kullanılmaktadır (Shen, 1981). Alan hazırlanırken sızdırmaz bir taban ve sızıntı suyu yönetim sistemi oluşturulur. Örtü malzemesi yakın bölgelerden veya kazı yapılmış başka alanlardan getirilir. Döküm kumları gibi inert karakterdeki endüstriyel atıklar ara örtü malzemesi olarak kullanılabilir. Nihai örtü malzemesi olarak da geosentetik malzemeler kullanılabilir. Tamamlanmış bir hücrede geçici örtü olarak kullanılan toprak ve geosentetik örtü, yeni bir lota geçilirken kaldırılır ve yeni hücrenin üstü kapatılır. Böylelikle işletme esnasında alanın içerisine dışarıdan yağmur veya yüzeysel su girişi önlenmiş olur (Shen, 1981).



Şekil 6.6. Alan yöntemiyle oluşturulmuş bir depolama alanı

Kanyonlar, inşaat çukurları, terk edilmiş maden sahaları gibi alanlar depolama alanı olarak kullanılabilir. Atıkların kanyon içerisine yerleştirilmesi için uygulanacak teknikler alanın

geometrisine, mevcut örtü malzemesinin özelliklerine, alanın hidrolojisi ve jeolojisine, sızıntı suyu kontrolünün nasıl yapılacağına ve alanın giriş noktasına bağlıdır. Kanyon alanlarının uygulanmasındaki en kritik faktör genellikle yüzey drenajının kontrolü olmaktadır. Genellikle doldurma işlemi kanyonun başından başlar ve ağız bölgesinde sonlandırılır; böylelikle suyun depolama alanı arkasındaki birikiminin önüne geçilmiş olur. Kanyon depolama alanları çoklu lotlar şeklinde doldurulmaktadır. Eğer kanyon yeterince genişse, depolama kanyon içinde kazılmış hücre/hendek yöntemi uygulanarak sürdürülür(Shen, 1981).



Şekil 6.7. Kanyon yöntemiyle oluşturulmuş bir depolama alanı

6.5. Depolama Alanı Tipleri

Depolama alanları mevzuata göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (ADD, 2010):

- I. sınıf düzenli depolama tesisi: Tehlikeli atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.
- II. sınıf düzenli depolama tesisi: Belediye atıkları ile tehlikesiz atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.
- III. sınıf düzenli depolama tesisi: İnert atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.

Ayrıca tek bir atık türünü depolamayı amaçlayan mono-deponi tipinde depolama alanları da bulunmaktadır. Çelik endüstrisi atıklarının, termik santral atıklarının depolandığı veya belli madenlerin atıklarının depolandığı vb. alanlar bu uygulamaya örnek olarak verilebilir. Bu depolama alanlarının her birinin mevzuat şartlarını sağlamalarının yanında kendilerine özgü ilave özellikleri bulunabilir. Örneğin evsel atık depolama alanlarında depo gazı toplama ve enerjiye dönüştürme sistemleri bulunurken, termik santralden çıkan atık külün depolandığı bir alanda organik madde bulunmayacağından bir gaz toplama sistemi de bulunmayacaktır.

6.6. Depolama Alanı Tasarımı

Mühendislik tasarımı yapılmış bir tehlikeli atık depolama tesisi, tehlikeli atıklar için nihai bertaraf noktasıdır. Yeraltısuyu, yüzeysel su ve havaya herhangi bir etki verilmeyecek, olası etkileri önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu tür tesislerde yapılan tasarım, atığı birarada tutmak ve kontrol etmek için çevresel koruma ve mühendislik sistemlerinin birlikte çalışması gerekmektedir (NGHWL, 2006). Tehlikeli atık depolama sistemlerinin çoğu bu yaklaşımı kullanarak tasarlanmaktadır. Mühendislik sistemlerinin bileşenleri eninde sonunda hizmet ömrünü tamamlayacaktır. Buna ilave olarak her tehlikeli atık depolama tesisinin bir kirletebilme süresi (depolama içeriğinin çevreye sızması durumunda kabul edilemeyecek seviyelerde kirletici madde içerdiği süre) olacaktır. Geleneksel depolama alanı tasarımlarının etkin hizmet süresinin 1000 yıla yakın bir süreye yaklaşmalarına ihtiyaç bulunduğu düşünülür. Bu süre kalıcı tehlikeli atıkların kirletebilme süresi olarak tahmin edilmektedir (NGHWL, 2006). Spesifik bir tehlikeli atık depolama alanının tahmini kirletebilme süresi tesisin hizmet edeceği tehlikeli atık türlerine bağlı olacaktır. Depolama tesisi bileşenlerinin sınırlı hizmet sürelerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Asgari gereklilik, tesisin yeraltısuyunu ve yüzeysel suları kirletmeyecek şekilde tasarlanmasıdır.

Tesisin çevredeki etkileriyle ilgili "kabul edilemez etki seviyesi" tanımının ölçülebilir değerler üzerinden yapılması gerekmektedir. Bu tanım izleme programlarında yeraltısuyu ve yüzey suyunun kontrolünde önemlidir. Tasarım yapılırken yasalarla belirlenen sınır değerlerin ve tasarım kriterlerinin yanısıra, önerilen alandaki doğal çevrenin değişkenliği ve alanda depolanabilecek en tehlikeli atık türü de göz önünde bulundurulmalıdır. Doğal çevrenin korunması, kabul edilecek tehlikeli atığın kalıcılığına, mobilitesine ve zehirliliğine bağlı olacaktır.

Tasarım sürecinin başlangıcında alanın ve alan çevresinin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleriyle ilgili doğru bilgilere ulaşılması önemlidir. Bu özelliklerin depolama tesisinin bütünlüğü üzerinde yoğun bir etkisi olacaktır. Doğal çevrenin analizinin detaylı bir şekilde yapılmasına rağmen, mühendislik sistemlerindeki belirsizlikler ve sınırlı yönler unutulmamalıdır. Alanın kavramsal modelinin geliştirilebilmesi için alan değerlendirme sürecinden elde edilecek bilgilerin iyi değerlendirilmesi gereklidir. Yeterli düzeydeki alan bilgisiyle dışarıdan gelecek çevresel etkileri tahmin etmek için kirletici taşınım modeli geliştirilmelidir (NGHWL, 2006).

Tehlikeli atık depolama alanları tasarlanırken çeşitli faktörlerin yanında hem alan değerlendirmesine dayalı kirletici taşınım modelinin, hem de tasarım unsurlarının hizmet ömürleri değerlendirmesinin yapılması gereklidir. Bu değerlendirme kapsamında, sistemde hangi unsurların abartılı bir şekilde kullanılması gerektiğini, tesis hatalarının potansiyel sonuçlarını, beklenmedik olaylara karşı alınan önlemlerin etkinliğini de dikkate almak gerekir.

Alan değerlendirmesi, depolama tesisinden, atıkların kirletebilme süresi boyunca çıkabilecek kirleticilerin potansiyel çevresel etkilerinin tahmin edilmesinde de kullanılmalıdır. Depolama alanlarındaki asgari gereksinimlerin sadece alandaki doğal malzemelerle sağlanabildiği çok az

örnek bulunmaktadır. Bu nedenle tehlikeli atık depolama alanlarının çoğu doğal malzemelerin ve tasarımı yapılmış özel malzemelerin kombinasyonu ile oluşturulmaktadır.

Tehlikeli atık depolama tesislerinin yerleşim planlamasının güvenlik, etkinlik, emniyet, izleme ve acil durum önlemlerinin alınabilmesine imkan verecek şekilde yapılması gereklidir. Yerleşim planlamasına tesisin fiziksel yapılanması kadar gelişim planlaması, ulaşım yolları ve etkin trafik akışı da dahil edilmelidir.

Depolama alanı sınırları içinde, alanı çevreleyecek bir tampon bölge oluşturulmalıdır. Bu bölge hem bir gürültü bariyeri olarak işlev görür hem de kirleticilerin sönmülmesi için alan desteği sunar (NGHWL, 2006). Bu alanda izleme, bakım ve çevresel kontrol faaliyetleri gerçekleştirilebilir. Tampon bölge içinde aynı zamanda alana geçiş yolu, alan hizmet binaları ve yeraltı suyu gözlem kuyuları bulunmalıdır. Tampon bölgenin genişliği önerilen önleme sistemlerine ve yerel mevzuata göre belirlenir. Alana giriş bölgesinin sıkı kontrol altında tutulması gereklidir. Gelen ve giden trafiğin tek bir kontrol noktası olmalı; kayıt ve belgeleme, örnek alımı ve bunun dışında gereken yasal hükümler bu noktada gerçekleştirilmelidir. Trafik akışını kontrol etmek için uygun işaretlemeler ve ışıklandırma yapılmalıdır.

6.6.1. Alan Seçimi ve Değerlendirilmesi

Yasal mevzuata göre (ADD, 2010), nihai depolama tesislerinin sınırlarının yerleşim birimlerine uzaklığı tehlikeli atık depolama tesisleri için en az bir kilometre, evsel atık depolama tesisleri için ise en az iki yüz elli metre olmak zorundadır.

Nihai depolama tesislerinin yer seçiminde aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır (ADD, 2010):

- Nihai depolama tesisinin hava ulaşım güvenliğini etkileyip etkilemediği,
- Orman alanları, ağaçlandırma alanları, yaban hayatı ve bitki örtüsünün korunması gibi özel amaçlarla koruma altına alınmış alanlara uzaklığı,
- Bölgede bulunan yeraltı ve yüzeysel su kaynakları ve koruma havzalarının durumu, yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu akış yönleri,
- Sahanın topografik, jeolojik, jeomorfolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik durumu,
- Taşkın, heyelan, çığ, erozyon ve yüksek deprem riski,
- Hâkim rüzgâr yönü ve yağış durumu,
- Doğal veya kültürel miras durumu

Ayrıca sahada akaryakıt, gaz ve içme-kullanma suyu naklinde kullanılan boru hatları, yüksek gerilim hatları bulunmamalıdır (ADD, 2010). Bu tesisler planlama aşamasındayken Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) sürecinin tamamlanması gereklidir.

Depolama tesisinin alanının seçimi için nihai karar, genellikle detaylı alan incelemeleri ve mühendislik tasarımı ve maliyet belirleme çalışmaları, bir veya birkaç ÇED çalışması ve halkın

katılım toplantılarından sonra verilir. Gerekli alan bilgilerinin birleştirilmesi ile ilgili çakıştırma prosedürü Şekil 6.8'de gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Çeşitli alan özelliklerinin çakıştırılması süreci (örtüşen haritalar)

Alanı ideal alanlarla karşılaştırarak puanlandıran bir prosedür yardımıyla teknik olarak uygun alanlar listesi oluşturulabilir (Raga ve diğ., 2011). Örtüşen haritalar altyapısından doğan Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), genellikle alan seçiminde bir karar destek sistemi olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar yardımıyla alanla ilgili pek çok bilgi istatistiki bilgilerle birleştirilerek yer seçimi kararlarına altyapı hazırlanmaktadır. Ulusal izleme haritaları, hava ve uydu fotoğrafları gibi karmaşık bilgi kaynakları kolayca sınıflandırılabilen ve depolanabilen bir veritabanı halinde parçalanabilmektedirler. Arazi örtüsü, arazi kullanımı, topoğrafya, nüfus yoğunluğu, atık üretimi vb. sınıflandırmalar yapılabilir. Veri tabanı sorgulandığında tematik haritalar oluşturulabilir, bu haritalar belli parametreler açısından tekrar sınıflandırılabilirler. Bu prosedürün temel çıktısı, bölgede depolama için uygun olan ve olmayan alanların gösterildiği dijitalleştirilmiş bir görüntüdür (Raga ve diğ., 2011). Depolama alanları genellikle istenmeyen kara parçaları olarak görüldükleri için, alan seçiminde kamunun kaygılarını kararlara yansıtmak önem taşımaktadır.

6.6.2. Alanın Hazırlanması

Tehlikeli atık depolama tesislerinin altyapısı oluşturulurken işletme planını destekleyecek başka bina ve tesislere de ihtiyaç bulunmaktadır. Bu yapısal unsurlar içinde idari binalar, ekipman ve bakım binaları da yer almaktadır. Bütün binaların depolama alanından kaynaklanabilecek kirlenmeden korunması gereklidir. Binaların yerleşimi izleme ve acil durum planlarının uygulanmasını engellemeyecek şekilde olmalıdır. Bunun yanında denetim

yolları, kantar, malzeme depolama alanı, güvenlik sistemleri, deney laboratuvarı, personel için yemek ve lavabo ihtiyaçları için temiz alanlar oluşturulmalıdır.

Tehlikeli atık depolama alanı işletilirken, depolanan malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini hızlı bir şekilde kontrol edebilecek donanıma sahip laboratuvar imkanına ulaşımın mümkün olması gerekmektedir. Tesisin bir parçası olarak kimyasal katılaştırma ve kararlı hale getirme süreci gerçekleştirilecekse, laboratuvar imkanlarının bu sürece uygun şekilde adapte edilmesi gereklidir. Laboratuvardan çıkan atıklar aksi kanıtlanmadıkça tehlikeli atık olarak işlem görmelidir.

Depolama tesisinde, atığın bertarafa kabul edilmeden önce gözle incelendiği bir noktanın belirlenmesi gereklidir. Tesis altyapısında personel için yıkama suyu, dış su kaynakları, atıksu deşarj imkanı, güç kaynakları, iletişim ağı, araçlar için yakıt doldurma noktası vb. yer almalıdır. Tesisteki yollar araç manevralarına izin verecek genişlikte olmalıdır. Yol yüzeyleri ve yükleme kapasiteleri planlanan kullanım için uygun olmalı, sert havalara dayanabilmelidir. Yolların asfaltlanmış olması, toz kontrolü ve yol dayanımı açısından faydalıdır. Depolama tesisinde oluşan kontamine sıvı ve katıların (toplanan yağmur suları, personel kullanımından kaynaklanan atıksular, araç yıkama suları vb.) ayrılması ve aksi kanıtlanmadıkça tehlikeli atık olarak yönetilmesi gerekmektedir. Bu atıksuların arıtmadan önce geçirimsiz taban sistemiyle donatılmış havuzlarda tutulması gerekmektedir. Bu atıksuların arıtımı için yerinde arıtma sistemleri kullanılabilir. Tablo 6.2'de depolama tesislerinde bulunması gereken üniteler bulunmaktadır.

Tablo 6.2. Depolama tesislerinde bulunması gereken üniteler (TBB, 2014)

| | | | |
|-----|---|-----|--|
| 1. | Sahaya giriş çıkışların kontrol edildiği bekçi kontrol noktası | 11. | Otopark |
| 2. | Sahaya gelen tüm atıkların tartılması amacıyla kantar ve personeli için kantar binası | 12. | Tüm sahayı çevreleyen tel çit |
| 3. | Sahada çalışacak personelin yemek, temizlik ve barınma ihtiyacı için sosyal tesis | 13. | Tüm sahayı çevreleyen yüzey suyu toplama kanalları |
| 4. | İdari bina | 14. | Yer altı suyu kirliliğini kontrol etmek amacıyla en az üç adet gözlem kuyusu |
| 5. | Sahaya girip çıkan araçların temizlenmesi için tekerlek yıkama ünitesi | 15. | Depolama alanı |
| 6. | Araç tamir ve bakım atölyesi | 16. | Sızıntı suyu toplama drenaj sistemi |
| 7. | Jeneratör binası | 17. | Sızıntı suyunun toplandığı lagünler |
| 8. | Yangın ve kullanma suyu deposu | 18. | Sızıntı suyu arıtma tesisi |
| 9. | Ambalaj atıkları toplama ve ayırma tesisi | 19. | Sahaya giren çıkan araçların kullanacağı yollar |
| 10. | Atıkların sıkıştırılmasında kullanacak araçların kullanacağı yollar | | |

6.6.3.Taban Sistemlerinin Düzenlenmesi

Depolama alanları, sıvı olmayan tehlikeli atıkların nihai olarak depolandığı ve üstlerinin kapatıldığı alanlardır. Bu ünitelerin tasarımı, tehlikeli atıkların çevreye yayılımını minimize edecek şekilde yapılmaktadır. Tehlikeli atık depolama alanlarının tasarım standartları, çift kat taban sisteminin, çift kat sızıntı suyu toplama ve giderim sisteminin ve sızıntı suyu kaçaklarını yakalama sistemlerinin kurulumunu gerektirmektedir (Salvato ve diğ., 2003; Vesilind ve diğ., 2002). Taban sisteminin ilk katı sızıntı suyunu toplayıp kontrol etmekte, ikinci kat oluşabilen kaçakları yakalamaktadır. Bu sistem, sızıntı suyu toplama tabakalarının aktif çalıştırılmasını ve tüm sistemin izlenmesini gerektirmektedir.

Taban sistemleri, sıvıların ve tehlikeli maddelerin, tehlikeli atık depolama alanından çıkarak yeraltısuyuna ulaşmasını engellemeye yardım eder. Aynı zamanda, depolama alanı gazlarının hareketinin kontrolünde de etkili olmaktadır. En yaygın olarak kullanılan taban sistemleri aşağıdaki gibidir (CCME, 2006):

1. Kil Tabakalar
2. Geomembran Tabakalar
3. Kompozit Tabakalar (Mineral + Geomembran)
4. Geosentetik - Kil / Bentonit Tabakalar

6.6.3.1. Kil Tabakalar

Killer, tane boyutu 0.02 mm'den küçük, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde daima sert kalan alüminyum silikat minerallerinden oluşan sistemler olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6.9). Kuruyunca sıkışan, ıslandığında şişen ve sıkıştırıldığında bünyesindeki fazla suyu dışarı veren özelliğe sahiptirler. Kayaların parçalanması ve yağmurlarla sürüklenmesi sonucunda ortaya çıktıkları bilinmektedir (USEPA, 2011b).



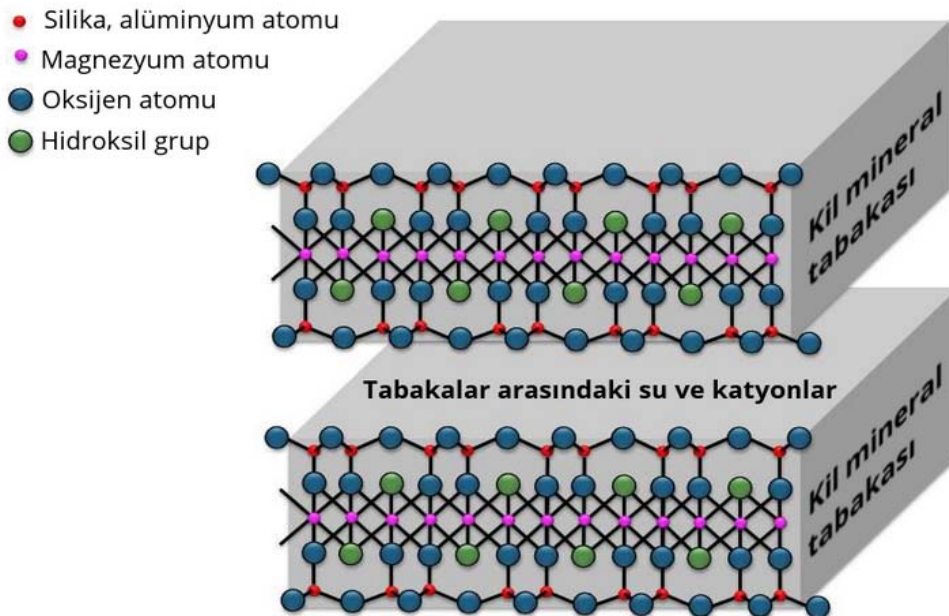
Şekil 6.9. Killi toprak

Kil mineralleri içerisindeki hidrate silikat yapıları, paralel tabakalar halinde bulunmaktadır. Örneğin, yaygın bir kil türü olan Montmorillonit, 2:1 (tetraeder: oktaeder) tabakalı bir yapıya sahiptir. Bu killerde, bir alüminyum oktaeder tabaka, iki silika tetraeder tabaka arasında sandviç gibi sıkışmış durumdadır. Killerin yapısındaki bazı Al^{+3} ve Si^{+4} iyonları, magnezyum, demir, mangan, lityum gibi düşük değerlikteki iyonlarla yer değiştirebilmektedir. Bu durum, tabakalar üzerinde negatif bir yükün oluşmasına, bir yük dengesizliğine neden olmaktadır. Yük dengesizliği, kilin katyon değişim kapasitesini artırmaktadır. 2:1 tabakalı yapıya sahip killerin katyon değişim kapasiteleri, diğer yapılara oranla daha yüksektir.

Kil, hem çok küçük tane boyutu hem de üzerinde taşıdığı negatif yükleri nedeniyle, yüksek su tutuma kapasitesine sahiptir (Şekil 6.10). Killi topraklar kuru olduklarında çok sert, ıslak olduklarında ise yapışkan ve plastik özellikler göstermektedirler. Kil partikülleri arasında gözenekler bulunmaktadır; ancak bu gözenekler su ve havanın hızla hareket edemeyeceği kadar küçük olduğu için, killerin hidrolik iletkenliği çok düşüktür (USEPA, 2011b).

Su, killerde önemli bir rol oynamakta, kristal yapıyı birarada tutmaktadır. Kil mineralleri ısladığı zaman, partiküller birbirlerine yapışmaktadır. Kurduğunda ise, partiküller birlikte sertleşmektedir.

Doğal tabakalar, tasarlanmış tabakalarla kıyaslandığında daha değişken olabilmekte ve doğal çatlaklar barındırabilmektedirler. Bu nedenle, bu tür sistemler seçildiğinde, diğer sistemlerden çok daha kalın tabakalar oluşturmak gerekmektedir.



Şekil 6.10. Kil minerali yapısı

Düşük hidrolik iletkenlikteki doğal killer (kil, siltli kil, killi silt gibi), taban sistemi oluşturmakta yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, yerinde (in situ) kullanılacak doğal taban sistemi

malzemelerinin sürekliliğini ve hidrolik iletkenliğini tahmin etmek zordur, ispat etmek maliyetlidir; bu nedenle tasarımı yapılmış taban sistemlerinin kullanılması önerilmektedir. Alanda düşük geçirimsilikte uygun malzeme bulunduğunda, bu malzemenin kazılarak çıkarılması ve sonraki tabakalarda belli özelliklere getirilerek kullanılması, yaygındır. Kil tabakalarının kalınlığı ve hidrolik iletkenliği depolama tipine bağlı olarak değişmektedir.

Hidrolik iletkenliği etkileyen parametreler (EPA, 2000):

- Kil içeriği
- Partikül boyut dağılımı
- Yoğunluk (sıkıştırılma derecesi)
- Sıkıştırma yöntemi
- Nem içeriği

Malzemenin doğal özellikleri, kil içeriği, tane boyutu ve kompozisyonu, değiştirilemeyen özelliklerdir. Ancak, malzemenin yoğunluğu ve nem içeriği, hidrolik iletkenliği etkileyen ama üzerinde çalışıldığında değiştirilebilen özelliklerdir. Toprak optimum nem içeriğinde sıkıştırıldığı zaman, düşük hidrolik iletkenlik hedefine ulaşmak kolay olacaktır. Minimum hidrolik iletkenlik değeri, %1-7 arasındaki nem içeriğiyle ortaya çıkmaktadır. Toprağın çok kuru olması, yüksek bir hidrolik iletkenliğe neden olurken; çok nemli olması da, çok yüksek bir büzülme potansiyeline ve düşük bir dayanıma neden olur. Kil malzemesinin, taban sistemi için uygunluğunu belirlemek için toprak sınıflandırma testlerinin yapılması gerekmektedir.

Sıkıştırılmış kil tabakaları, çeşitli kirleticilere karşı (organik bileşenler ve ağır metaller gibi) iyi direnç gösterir; ancak, tuzlar gibi bazı kirleticilerin geçişine izin verir. Bu durumda, taban sisteminin bütünlüğünü korumak açısından, sızıntı suyu ve kil arasında hiçbir kimyasal etkileşim olmadığından emin olmak için, kullanılan killin kimyasal yapısını da öğrenmek gerekmektedir. Solventler, güçlü asit ve bazlar, kili ve mineral bazlı taban malzemelerini tahrip eder. Örneğin, benzen ve toluen kil tabakaları tarafından tutulamaz; fakat bir miktar su ile karıştırıldıklarında, kilin bu kirleticilere karşı da iyi bir bariyer işlevi gördüğü bilinmektedir (EPA, 2000). Şekil 6.11’de sıkıştırılmış killi toprak örneği görülmektedir.

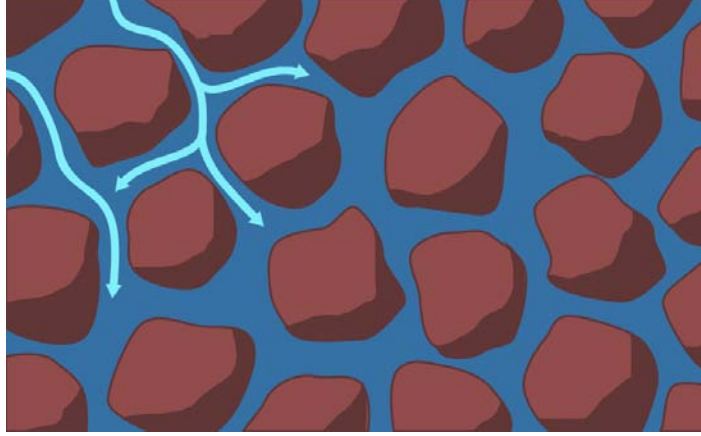


Şekil 6.11. Sıkıştırılmış killi toprak

Sıkıştırılmış kil tabakalarının tasarımında dikkat edilmesi gereken faktörler aşağıdaki gibidir (EPA, 2000):

- Kilin sıkıştırılması için optimum nem içeriği,
- Sıkıştırılmış tabakaların kalınlığı ve sıkıştırılma tipi,
- Taban sisteminin, sıvıların taşınmasına olan direnci (hidrolik iletkenliği, geçirimsizliği),
- Kil ve tutulan kirleticiler arasındaki etkileşim,
- İnşaat için gereken kalite güvence ve kalite kontrol prosedürleri.

Hidrolik iletkenlik (Şekil 6.12), belirli bir toprak kesitinden birim zamanda geçen su miktarı olarak tanımlanmakta ve toplam porozite, por çapı, por geometrisi, doku ve yapı gibi toprak özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir. Hidrolik iletkenliği düşük olan topraklar, genellikle “düşük geçirimlilikteki topraklar” olarak bilinmektedirler (USEPA, 1989).



Şekil 6.12. Suyun tanecikler arasında ilerleyişi

Hidrolik iletkenlik, arazi koşullarında doğrudan ölçülebildiği gibi laboratuvar şartlarında bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde de ölçülebilmektedir. Her iki durumda da toprak kitlesinde belirli akış koşulları oluşturulmaktadır. Daha sonra, ölçülen boşalım miktarının, hidrolik iletkenlik değeri, akış koşulları, boşalım arasındaki ilişkiyi veren eşitlikte yerine konmasıyla, hidrolik iletkenlik değeri hesaplanmaktadır. Laboratuvarında yapılan hidrolik iletkenlik ölçümlerinde, permeametrelerden yararlanılmaktadır.

6.6.3.2. Geomembranlar

Geomembranlar, akışkan taşınımını kontrol etmek için kullanılan, çok düşük geçirimsizlikteki sentetik bariyerlerdir (Şekil 6.13). Geomembranların imalatı, hammaddelerin üretimiyle başlamaktadır. Kullanılan hammaddeler arasında, polimer reçineler, antioksidan, plastikleştirici, dolgu maddesi, karbon siyahı ve yağ gibi katkı maddeleri bulunmaktadır. Bu hammaddeler karıştırıldıktan sonra, ekstrüzyon (sıcak veya soğuk yöntemle kalıptan geçirme) ve perdahlama gibi yöntemlerle, çeşitli kalınlıklarda geomembran tabakalarına dönüştürülmektedir (EPA, 2000; Wang ve diğ., 2010).

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) geomembranlar, polietilen ailesinin kimyasal açıdan en dayanıklı üyesidir. Yoğunluğu 0.94 g/cm^3 üzerindedir. Ultraviyole koruma, yıllanmaya ve hava koşullarına yüksek dayanım gibi özellikleri bulunmaktadır (Rowe, 2011).



Şekil 6.13. Geomembran örnekleri

Depolama alanlarında kullanılan geomembranların düşük bir geçirimsizliği, mekanik streslere ve zorlamalara dayanabilecek fiziksel bir mukavemeti olmalıdır ve üzerine gelecek atıkla kimyasal olarak uyum içinde olmalıdır.

Geomembranlar, hem kısa hem de uzun dönemli mekanik streslerle karşı karşıya kalabilmektedir. Kısa dönemli stresler, döşeme esnasındaki trafik yükünden kaynaklanabilmekte; uzun dönemli stresler de atığın yerleştirilmesinden ve örtü topraklarının zaman içinde oturmasından kaynaklanır (Lee ve Jones, 1991).

Yalnız başlarına kullanıldıklarında, geomembranlarda, yırtıklar ve delikler oluşabilmektedir. Sıvılara ve iyonik kirleticilerin (ağır metaller ve klorürler gibi) difüzyonuna karşı çok iyi bir bariyer işlevi görebilmektedirler. Ancak, birçok organik kimyasalın difüzyonuna imkân verebilmektedirler (LaGrega ve diğ., 1994). Şekil 6.14'te depolama alanlarına geomembran döşeme süreci gösterilmektedir.



Şekil 6.14. Depolama alanlarında geomembran döşeme süreci

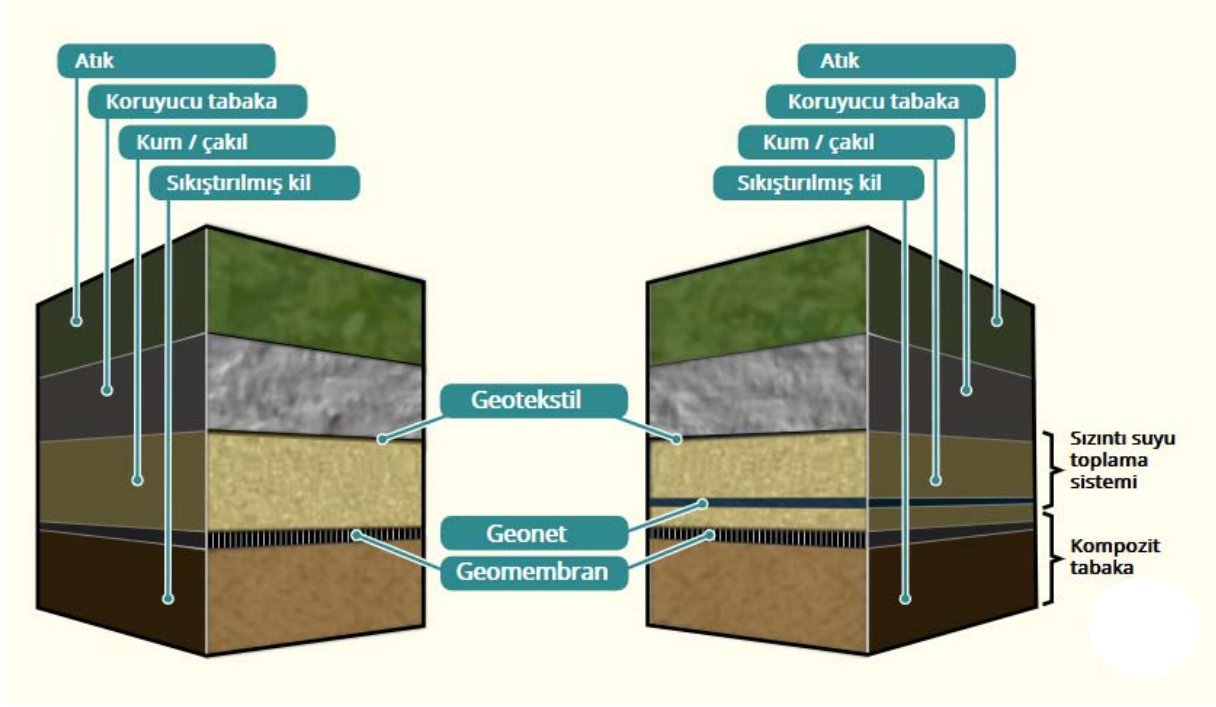
Geomembran sistemlerin tasarımında ve döşenmesinde dikkate alınması gereken faktörler, aşağıdaki gibidir (Tchobanoglous ve diğ., 1993):

- Tehlikeli atık, sızıntı suyu ve deponi gazlarıyla olan uyum,
- Hava şartlarına gösterdiği direnç (örn. ultraviyole radyasyona vb.),
- Fiziksel tahribata gösterdiği direnç,
- Kemirgen, böcek ve mikroorganizmalara gösterdiği direnç,
- Kimyasal yaşlanmaya gösterdiği direnç,
- İşletme sıcaklıklarında belli özelliklerini koruyabilmesi,
- Bağlantı ve kaynak yapabilmenin kolaylığı ve bağlantı yerlerinin etkinliği,
- İmalat ve döşeme için kalite güvence ve kalite kontrol gereklilikleri,
- Projelendirilen hizmet süresi

Birçok sentetik membran malzemesi arasında, günümüzde en yaygın olarak kullanılanı, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) membranlardır. HDPE, iyi bir gerilme mukavemeti ve uzama özelliği, yırtılmaya ve delinmeye karşı yüksek dayanım, düşük sıcaklıkta iyi bir esneme, bir dizi tehlikeli maddeye karşı iyi direnç gösterir (EPA, 2000). Geomembran taban sistemlerinin, inşaat ve işletme aşamalarında oluşabilecek delik, yırtık ve yarılmalara karşı yeterince önlem alınarak tasarlanmaları ve döşenmeleri gerekmektedir.

6.6.3.3. Kompozit Tabakalar (Mineral + Geomembran)

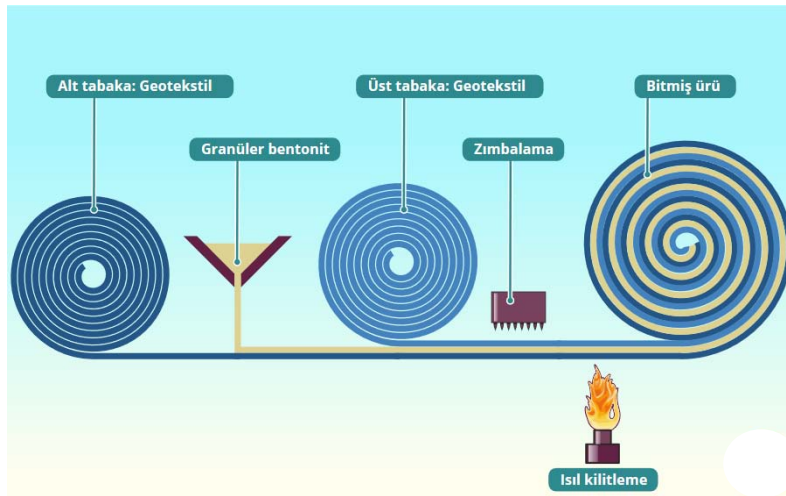
Taban sisteminde kullanılacak her malzemenin farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle, kompozit bir taban sistemi oluşturmak üzere, iki taban malzemesi bir arada kullanılmaktadır. Bu kompozit sistemler, genellikle, belli kriterleri sağlayacak şekilde, geomembran ve sıkıştırılmış kil tabakasından oluşturulmaktadır. Bir malzemenin avantajı, diğer malzemenin dezavantajını baskılamak için kullanılmaktadır. Örneğin, geomembran ve sıkıştırılmış kil tabakasından oluşan kompozit bir taban sistemi, hem organik kirleticiler, hem de ağır metal ve tuzlara karşı iyi bir bariyer işlevi görür. İki malzemenin aynı anda kullanılması, sızma oranını da minimize eder (USEPA, 2011b). Şekil 6.15'te kompozit sistem dizilimine örnekler verilmektedir.



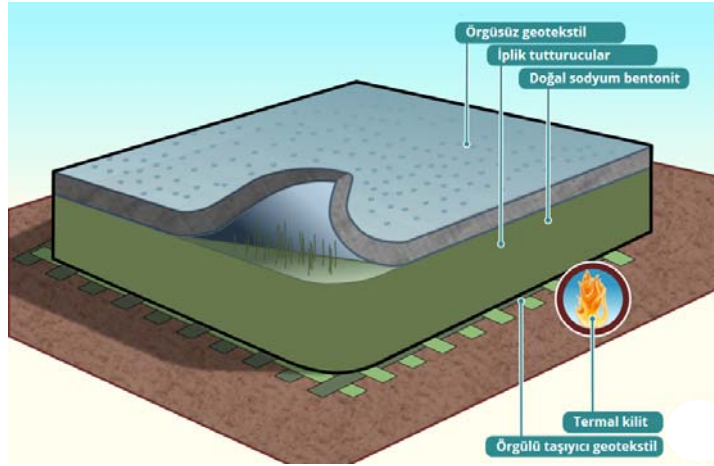
Şekil 6.15. Depolama alanlarında kompozit tabaka uygulamasına örnekler (EPA, 2000)

6.6.3.4. Geosentetik – Kil Sistemler

Geosentetik-kil tabakaları, kirleticilerin “difüzyon” yoluyla taşınımalarını engellemek için iyi bir bariyer oluşturmak üzere, doğal bir malzeme tabakasıyla birlikte kullanılmalıdır. Geosentetik kil taban sistemleri, iki geotekstil tabakası arasına, 6 mm kalınlığında bir bentonit veya kil tabakasının dikilerek, zımbalanarak veya yapıştırılarak yerleştirildiği kompozit bir örgüden oluşmaktadır (Şekil 6.16). En az %60-70 oranında montimorillonit killerden oluşan bentonit, bu sistemlerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu sistemler, sıkıştırılmış kil tabakalarının veya geomembranların yerine kullanılmaya başlamıştır. Bu sistemlerin kullanılmasına, ancak, mevcut sistemlerin sağladığı korumayı sağladıkları gösterildiği takdirde izin verilir (USEPA, 2011b). Şekil 6.17’de geosentetik-kil tabakası yapısı gösterilmektedir.



Şekil 6.16. Geosentetik-Kil Tabakası İmalatı



Şekil 6.17. Geosentetik-Kil Tabakası yapısı

Bu sistemlerin kalite güvence planında göz önünde bulundurulması gereken detaylar, aşağıdaki gibidir (EPA, 2000):

- İmalat: Kullanılacak hammaddenin seçimi, bu maddelerin geosentetik-kil tabakasına dönüştürülmesi, geosentetik-kil rulolarının su geçirmeyen plastik bir kapla kaplanması önemlidir.
- Depolama-taşıma: Malzemenin fabrikada depolanması, alana taşınması ve alanda bekletilmesi hususlarına dikkat edilmelidir. Kalite güvence personelinin, malzemenin uyum testinden geçtiğini ve döşenmeye uygun olduğunu belgelemesi gerekmektedir.
- Döşeme: Malzemenin yerleştirilmesi, birleştirilmesi (üst üste gelme uzunluğunun belirtilmesi vb.), birleştirme prosedürünün açıkça ifade edilmesi, hasar ve bozuklukların tamir yöntemi belirtilmelidir. Şekil 6.18’de geosentetik-kil kompozit ürünlere örnekler verilmektedir.



Şekil 6.18. Geosentetik-Kil kompozit ürünler

Uygulanan taban sistemlerini desteklemek, güçlendirmek için geotekstil ve geonet gibi farklı geosentetik malzemeler de kullanılabilir. Bu malzemelerin birincil fonksiyonu bariyer oluşturmak değildir; ancak bariyer sistemleri güçlendirmek veya sızıntı suyu kontrolüne yardımcı olmak için kullanılabilirler (Oh, 2001).

6.6.3.5. Geotekstil

Depolama alanlarında, küçük toprak ve atık parçalarının sızıntı suyu toplama sistemlerine hareketini önlemek ve geomembranları zorlanmalardan korumak için, geotekstil adı verilen malzemeler kullanılır. Bu malzemeler, suyun hareketine imkân verirken, partiküllerin hareketine izin vermemektedir; böylece sızıntı suyu toplama sistemindeki tıkanmaları azaltmaya yardımcı olmaktadır (Şekil 6.19).

Geotekstiller geçirgen kumaşlardır. Toprakla birlikte kullanıldıklarında, ayırma, filtreleme, güçlendirme veya drene etme işlevleri görebilirler. Polipropilen veya polyesterden yapılan geotekstil kumaşlar, örgülü ve örgüsüz formlarda imal edilmektedirler (EPA, 2000).



Şekil 6.19. Geotekstil kumaş örnekleri

6.6.3.6. Geonet

Geonet (geogrit), plastik ağ gibi bir drenaj malzemesidir. Depolama alanları taban sistemlerinde, sızıntı suyu toplama tabakası olarak kum veya çakıl yerine kullanılabilirler. Sızıntı suyu toplanırken, düşük maliyeti nedeniyle, genellikle kum ve çakıl kullanılmaktadır. Geonetin küçük partiküller tarafından tıkanmaya daha meyilli olduğu, tıkanmaların da sızıntı suyu toplama sistemlerinin performansını bozacağı bilinmektedir. Ancak geonet malzeme, sıvıyı kum ve çakıldan daha hızlı bir şekilde iletir (EPA, 2000).



Şekil 6.20. Geonet Örneği

6.6.3.7. Malzeme Dizilimi

Depolama alanlarındaki taban sistemleri, sızıntı suyu ve metan gazı kontrolünde dış ortama taşınımı engellemek için kullanılan, ana savunma sistemleridir (Liu ve Liptak, 1999). Taban sistemini geliştirmek için, bir performans standardı kullanılmaktadır. Performans standardı, taban sisteminden beklenen performansı tanımlamaktadır. Bu standardı sağlamak için, alana özel şartlar gözönünde bulundurularak, belirli tasarım kriterleri uygulanmalıdır.

Taban sistemlerinin hem iyi bir şekilde tasarlanması, hem de uygun bir şekilde inşa edilmesi gerekmektedir. Uygun ekipman, iyi teknik özellikler ve yeterli bir kalite kontrol programının temin edilmesi gerekmektedir.

Performans standardına uygun bir taban sistemi tasarımı için, öncelikle, detaylı bir alan araştırması gereklidir. Alan araştırmasının temel amacı, taban sistemine karar vermeden önce çevresel şartları detaylı bir şekilde analiz etmektir. Toprağın katman bilgisi, hidrojeolojisi ve iklimsel faktörlerin detaylı bir şekilde anlaşılması gerekmektedir (Shah, 2000).

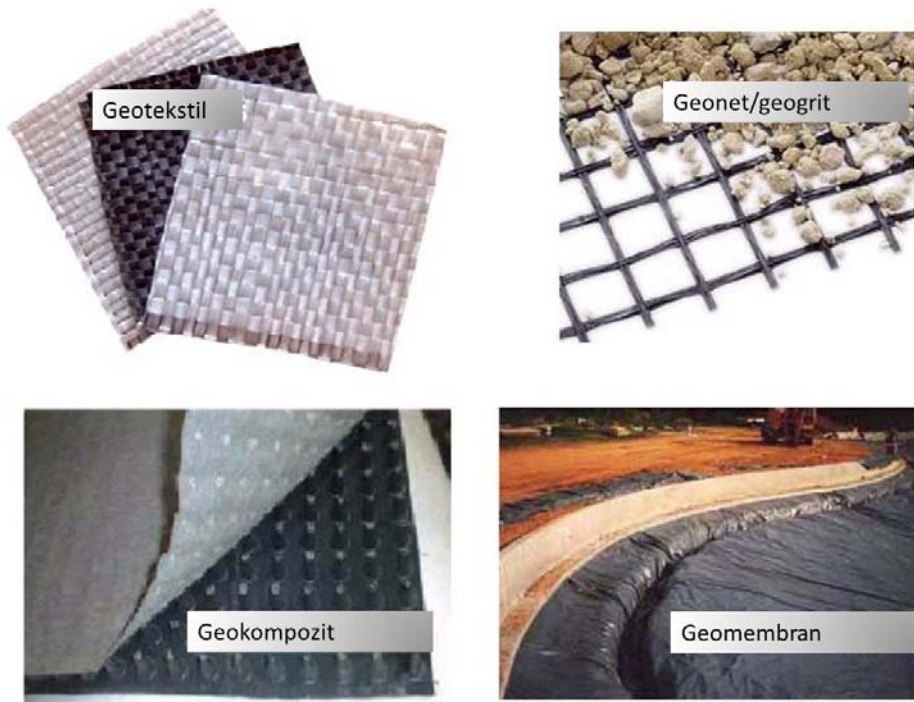
Kil gibi düşük geçirimsizlikteki topraklar, kirletici taşınımına doğal bir bariyer oluşturmaktadırlar. Depolama alanının tabanı ve yeraltısu tablası arasındaki belli bir kalınlıktaki kil tabakası, oluşturulması gereken taban sistemini şekillendirmeye yardımcı olur. Hidrojeolojik araştırmanın sebebi, yeraltısu rejimini (yerleşim, kalite, hareket ve mevsimsel salınım) belirlemektir. İklim, taban sistemlerinin belirlenmesinde bir başka önemli faktördür. Yarı-kurak ve kurak iklimlerde, yağışlardan daha çok, terleme ve buharlaşma olur; bu

bölgelerdeki depolama alanlarının bu faktörü düşünerek tasarlanmaları gerekmektedir (Shah, 2000).

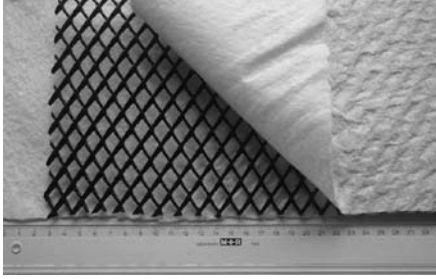
Taban sistemleri tasarımında dikkat edilmesi önerilen kriterler aşağıdaki gibidir (EPA, 2000):

1. Etkinlik
2. Tahribata dayanıklılık
3. Uzun dönemdeki performansı
4. Piyasada bulunabilirliği

Taban sistemlerinde kullanılan sentetik ürünler Şekil 6.21’de verilmektedir. Bu malzemelerin uygulanmasıyla ilgili çeşitli görüntüler Şekil 6.22’de verilmektedir.



Şekil 6.21. Taban sistemlerinde kullanılan sentetik ürünler



Şekil 6.22. Fotoğraf Albümü: Depolama alanlarında taban malzemelerinin uygulanması

Taban sisteminin etkinliğini, büyük ölçüde, depolama alanında oluşacak sızıntı suyunun yüküne dayanma kabiliyeti belirler. Sızıntı suyunun kontrolüyle, bu etkinlik geliştirilebilir. Sızıntı suyu toplama sistemiyle ilgili yaygın bir ölçüt, taban sistemi üzerinde 0.3 m'den az bir sızıntı suyu yükü oluşumunu sağlamaktır. Bunu sağlayabilmek için, drenaj malzemesinin geçirimsizliğinin 1×10^{-3} cm/s'den büyük olması ve uygun aralıklarla döşenmiş drenaj boruları gerekmektedir. Malzemenin geçirimsizliği ve depolama alanı tabanının eğimi, taban sisteminin etkinliğini etkileyecek faktörler arasındadır (USEPA, 2011b).

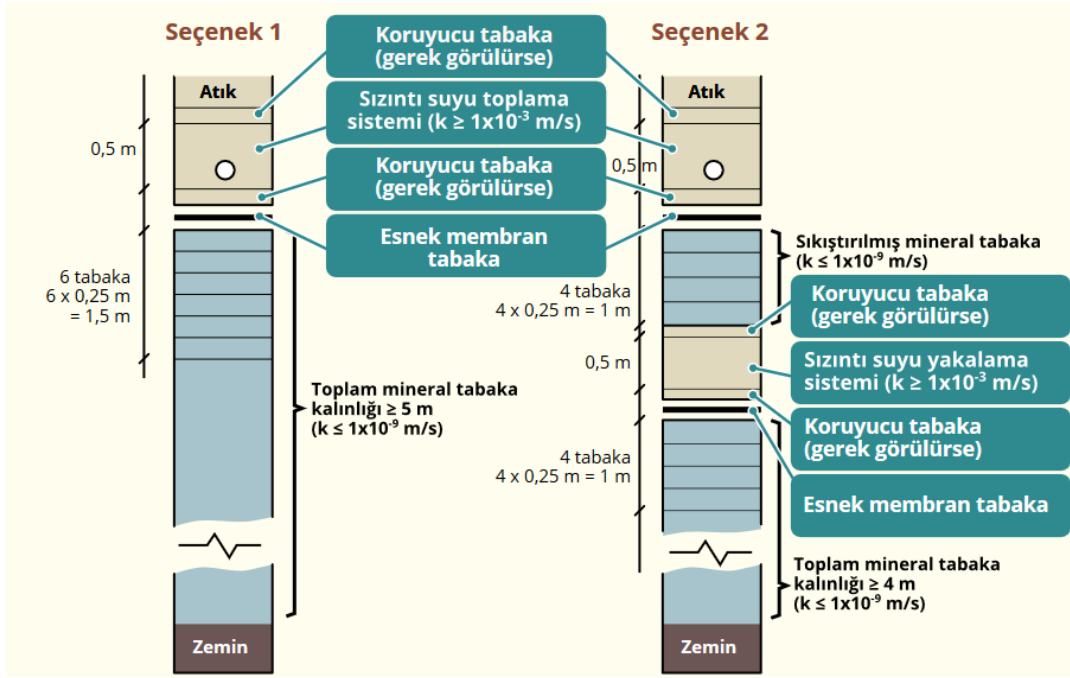
Taban sistemine en büyük hasar, inşaat ve işletme aşamalarında verilir. Çok iyi geçirimsizlik özelliklerine sahip sentetik membranlar, kolaylıkla tahrip olabilir. Kil bariyerlerin, tahribata dayanıklılığı daha yüksektir (USEPA, 2011a).

Tablo 6.3'te depolama alanında kullanılan malzemelerin kullanım alanları özetlenmektedir.

Tablo 6.3. Depolama alanlarında kullanılan malzemelerin birincil fonksiyonu

| Malzeme Tipi | Ayırma | Güçlendirme | Filtrasyon | Drenaj | Bariyer |
|------------------------|--------|-------------|------------|--------|---------|
| Geomembran | - | - | - | - | + |
| Geosentetik kil tabaka | - | - | - | - | + |
| Geonet | - | - | - | + | - |
| Geotekstil | + | + | + | + | - |
| Geokompozit | + | + | + | + | + |

Tehlikeli atıklar için yapılan geleneksel tasarımda, genelde çift kompozit sistem kullanılmaktadır. Ancak, eğer alanın şartları ve seçilen sistemin daha iyi koruma şartları sağladığı gösterilirse, yasal otoriteler farklı taban sistemi kombinasyonlarını kabul eder. Sahanın durumu, tasarım kriterlerini sağlamak üzere, depolama alanına ne tür bir mühendislik uygulanacağını belirlemede etkilidir. AB mevzuatına göre tehlikeli bir depolama alanında olması gereken minimum şartlar iki seçenek halinde Şekil 6.23'te verilmektedir (EPA, 2000).



Şekil 6.23. AB mevzuatına göre tehlikeli atık depolama alanı için taban kesiti (EPA, 2000)

Mevzuata göre, tehlikeli atık depolama alanları için en az bir kompozit taban sistemi kullanılmalıdır. Bu amaçla Şekil 6.23'te sunulan iki seçenek de kullanılabilir. Burada hangi seçeneğin kullanılacağı, depolanacak atığa göre belirlenmektedir. Ön işlem (örn. solidifikasyon, stabilizasyon, vitrifikasyon vb.) görmüş tehlikeli atıklar için, farklı sistemler kullanılabilir.

Seçenek 1: Tek kompozit tabaka

Taban sistemi aşağıdakileri içermelidir (ADD, 2010; EPA, 2000):

- Minimum 0.5 m kalınlığında ve minimum hidrolik iletkenliği 1x10⁻³m/s olan sızıntı suyu toplama tabakası bulunmalıdır.
- Kompozit tabakanın üst bileşeninin esnek bir geomembran olması gerekmektedir. Minimum 2 mm kalınlığında HDPE veya eşdeğer esnek bir geomembran kullanılmalıdır. Yeterince güçlü olmalı, aynı zamanda çatlamaya eğilimli olmamalı ve düşeme/inşaat zorlukları sunmamalıdır.

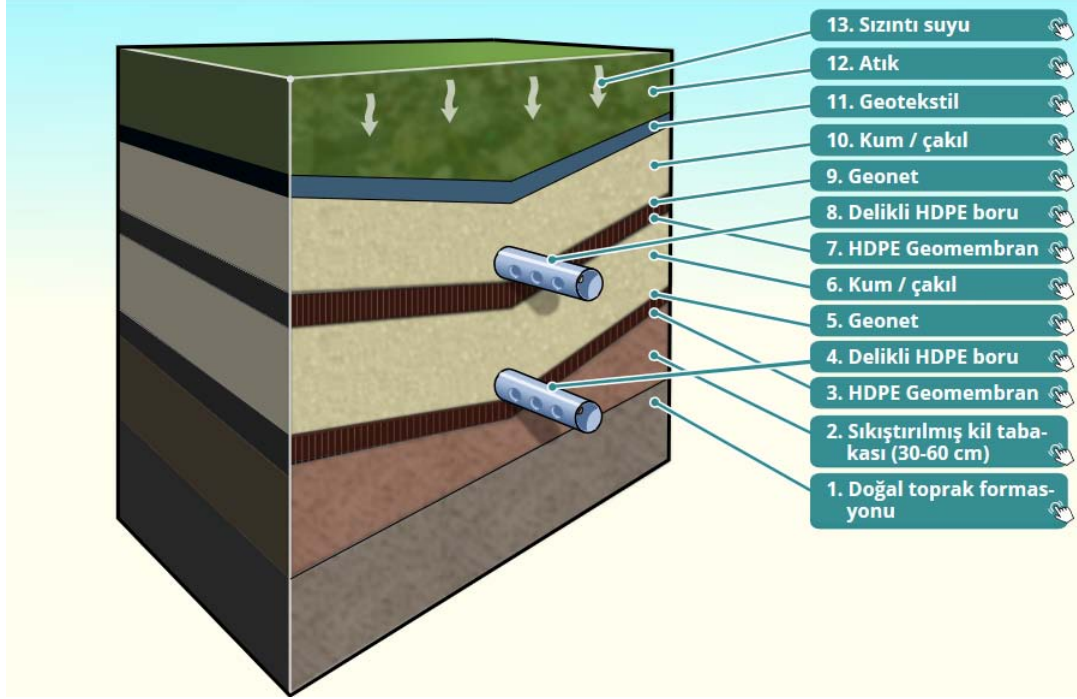
- Taban ve yan duvarların mineral tabaka kalınlığı en az 5 m olmalı ve hidrolik iletkenliği 1×10^{-9} 'a eşit veya bu değerden düşük olmalıdır.
- 5 m'lik mineral tabakanın en az 1,5 m'si, her biri 250 mm olan bir seri sıkıştırılmış tabakadan oluşmalıdır ve kompozit tabakanın alt kısmını oluşturmalıdır.

Seçenek 2: Çift Kompozit Tabaka

Bu sistemde, birinin üzerinde sızıntı suyu toplama sistemi, diğerinin üzerinde sızıntı suyu yakalama sistemi olan iki kompozit tabaka bulunmaktadır. Sistem aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır (ADD, 2010; EPA, 2000):

- En az 0.5 m kalınlığında, hidrolik iletkenliği en az 1×10^{-3} m/s olan, sızıntı suyu toplama tabakası bulunmalıdır.
- Üst kompozit tabakanın aşağıdakilerden oluşması gereklidir:
 - En az 2 mm kalınlığında HDPE veya eşdeğeri esnek geomembran tabaka,
 - Hidrolik iletkenliği 1×10^{-9} m/s'e eşit veya bu değerden küçük, 1 m kalınlığında sıkıştırılmış kil tabakası bulunmalıdır. Bu tabaka da, 250 mm'den kalın olmayan bir seri tabakadan oluşturulmalıdır.
- Hidrolik iletkenliği en az 1×10^{-3} m/s olan ve minimum 0.5 m kalınlığında bir sızıntı suyu yakalama sistemi veya eşdeğer bir performans sağlayan geosentetik bir malzeme bulunmalıdır.
- Alt kompozit, en az aşağıdakilerden oluşmalıdır:
 - Üst bileşeni minimum 2 mm HDPE veya eşdeğeri bir esnek geomembran tabakadan yapılmış olmalı,
 - Taban ve yan duvarlardaki mineral tabakanın kalınlığı 4 m olmalı ve hidrolik iletkenliği 1×10^{-9} m/s ve altı olmalı,
 - 4 m kalınlığındaki mineral tabakanın en az 1 m'lik alt kısmı 250 mm'den kalın olmayan bir seri sıkıştırılmış tabakadan yapılmış olmalıdır.

Şekil 6.24'de, tehlikeli atık depolama alanlarının çift kat taban sistemlerine bir örnek verilmektedir. Örnekteki sistemde geotekstil, geonet gibi farklı malzemelerin kullanıldığı görülmektedir (LaGrega ve diğ., 1994).



Şekil 6.24. Tehlikeli atık depolama alanları için örnek bir taban sistemi (LaGrega ve diğ., 1994)

Tablo 6.4’de, Şekil 6.24 ’de görülen taban sisteminin bileşenleri ve işlevleri verilmektedir.

Tablo 6.4. Taban sisteminin bileşenleri ve işlevleri

| No | Taban Sistemi Bileşeni | İşlev |
|----|---|--|
| 13 | Sızıntı suyu | Sızıntı suyu, hem yağış infiltrasyonunun hem de depolama alanında gerçekleşen reaksiyonların sonucunda oluşmaktadır. |
| 12 | Atık | Sızıntı suyu, yerçekimi etkisiyle atık içerisinden süzülerek taban sistemine doğru hareket eder. |
| 11 | Filtre bölgesi (Geotekstil) | Sızıntı suyu ilk olarak filtre bölgesinden geçer. Burada filtrasyonu sağlamak üzere geotekstil kullanılmıştır. Geotekstil, atığı birinci drenaj bölgesinden ayırmakta, bu bölgedeki tıkanmaları engellemektedir. |
| 10 | Birinci drenaj bölgesi (kum-çakıl) | Birinci drenaj bölgesine sızıntı suyunun kum ve çakıldan oluşan filtre malzemesinden geçerek sızıntı suyu toplama borusuna ulaşması sağlanmaktadır. |
| 9 | Koruma tabakası (Geonet) | Bu aşamada kullanılan bir geonet veya geogrid tabaka hem yapısal bütünlüğün korunmasını sağlayacak hem de sızıntı suyunu taşımak için yerleştirilen delikli boruların kum-çakıl tanecikleriyle tıkanmasını engeller. |
| 8 | Birinci sızıntı suyu toplama borusu (delikli HDPE boru) | Drenaj bölgesinden gelen sızıntı suyunun toplama borularına ulaşması önemlidir. Suyun bariyer tabakasına ulaşarak orada bir hidrolik yük oluşturması istenmediğinden, hidrolik yükü minimize edecek |

| | | |
|---|--|---|
| | | şekilde sızıntı suyu toplama sisteminin etkin çalışması gerekmektedir. Boru aralıkları, boyutu, drenaj malzemesi, eğim gibi faktörler dikkate alınarak yapılacak uygun bir tasarım, sızıntı suyunun membran üzerindeki hidrolik yükünü minimize eder. |
| 7 | Birinci bariyer tabakası (HDPE geomembran) | İyi çalışan bir sistemde, sızıntı suyunun birinci bariyer tabakasında durdurulması gerekmektedir. Bu aşamada, kullanılan geomembranın özellikleri, sızma durumunda belirleyici olmaktadır. Araştırmalar, birçok geomembran sisteminde sızma olasılığını gösterdiği için, özellikle tehlikeli atık depolama alanlarında ikinci bir drenaj ve bariyer sistemi gerekli olmaktadır. |
| 6 | İkinci drenaj bölgesi (kum-çakıl) | İkinci drenaj bölgesine birinci bölgeden kaçan sızıntı sularının tutulabilmesi için ihtiyaç duyulmaktadır. |
| 5 | Koruma tabakası (Geonet) | İlk geonet tabakası gibi yapısal bütünlüğü korumak ve delikli boruların tıkanmasını önlemek için kullanılmaktadır. |
| 4 | İkinci sızıntı suyu toplama borusu (delikli HDPE boru) | Bu borularda birinci bölgeye oranla çok daha düşük bir miktarda sızıntı suyu toplanması beklenmektedir. |
| 3 | İkinci bariyer tabakası (HDPE geomembran) | Bu tabaka da birinci tabaka gibi hidrolik bir bariyer işlevi görerek, sızıntı suyunun aşağı yöndeki akışını durdurmayı ve ikinci drenaj bölgesinin sızıntı suyunu toplamasına yardım etmeyi amaçlamaktadır. |
| 2 | Sıkıştırılmış kil tabakası (30-60 cm) | Bütün taban sisteminin en alt tabakasını, sıkıştırılmış kil tabakası oluşturmaktadır. Bu tabaka kirletici taşınımını önleyen üçüncü bariyerdir. |
| 1 | Doğal toprak formasyonu | Doğal toprak formasyonunun yapısı taban sisteminde kullanılacak malzemeleri ve miktarlarını belirlemede etkili olmaktadır. |

Şekil 6.24'te verilen sistemdeki dizilim, tek yöntem değildir. Farklı kombinasyonlar ve malzemelerle alternatif dizilimler yapmak mümkündür. Hem drenaj malzemesi, hem bariyer tabakası olarak daha farklı geosentetik malzemesi kullanmak mümkündür. Filtrasyon için geotekstil, drenaj için geonet, bariyer tabakalar için de geomembran, geokompozit veya geosentetik-kil/bentonit sistemler kullanılabilir (Vesilind ve diğ., 2002). Avrupa tasarımlarının daha çok doğal mineral malzemelerin kullanımını teşvik ettiği, geosentetik kullanımını minimize ettiği bilinmektedir. Kullanılan bütün sistemlerde, karar vermeden önce performans değerlendirmesi yapmanın gerekli olduğu unutulmamalıdır (Vesilind ve diğ., 2002).

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik'e (ADD, 2010) göre depo tabanı aşağıdaki gibi oluşturulmalıdır:

- Tesisin tabanı ve yan yüzeylerinde, sızıntı suyunun yeraltı suyuna karışmasını önleyecek şekilde bir geçirimsizlik tabakası teşkil edilir. Bunun için kil veya eşdeğeri malzemeden oluşturulmuş geçirimsizlik tabakası serilir. Geçirimsizlik tabakasının fiziksel, kimyasal, mekanik ve hidrolik özellikleri depolama tesisinin toprak ve yeraltı suları için oluşturacağı potansiyel riskleri önleyecek nitelikte olmak zorundadır. Geçirimsizlik malzemeleri teknik özellik bakımından Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmalıdır.
- Tehlikeli Atık nihai depolama tesisi tabanının asgari aşağıda belirtilen geçirgenlik ve kalınlık özelliklerine sahip olması gerekir:

$$K \leq 1,0 \times 10^{-9} \text{ m/sn; kalınlık} \geq 5 \text{ m veya eşdeğeri,}$$

- Jeolojik geçirimsizlik tabakasının istenen geçirgenlik ve kalınlık koşullarını doğal olarak sağlayamaması halinde; bu tabaka yapay olarak oluşturulur ve geomembran kullanılarak güçlendirilir. Geçirimsiz mineral malzeme ile yapay olarak oluşturulacak geçirimsizlik tabakasının toplam kalınlığı 0,5 metreden az olamaz.
- Sızıntı sularının toprak ve yeraltı suları için oluşturacağı potansiyel risklerin engellenmesi için nihai depolama tesislerinde doğal geçirimsizlik tabakasına ilave olarak sızıntı suyu toplama ve drenaj sistemi inşa edilir.
- Jeolojik geçirimsizlik tabakası yapay geçirimsizlik malzemesi ile oluşturulur. Yapay geçirimsizlik malzemelerinin yeterli teknik özelliklere sahip olduğu ve uluslararası standartlara uygunluğu belgelenir ve Bakanlığa bildirilir.
- Yapay geçirimsizlik tabakasının korunması amacıyla koruyucu örtü malzemesi kullanılır.
- Yapay geçirimsizlik kaplaması üzerine asgari 0,5 metre kalınlığa ve en az $K \geq 1,0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ geçirgenliğe sahip drenaj tabakası uygulanır.
- Drenaj katmanının içinde drenaj boruları bulunur. Boru çapı, yapılacak kontrol ve temizlemelere imkân verebilecek genişlikte olur. Depo tabanında sızıntı suyuna dayanıklı bir malzemeden imal edilmiş yeterli sayıda drenaj borusu, ana toplayıcılar ve bacalar bulunur. Sızıntı suyu toplama ve drenaj sistemi sızıntı suyu toplama havuzu ile son bulur. Sızıntı suyu toplama havuzu tesisin kurulacağı yerin meteorolojik koşulları ve depolanacak atıkların su içeriği göz önünde bulundurularak herhangi bir olumsuzluğa mahal vermeyecek şekilde tasarlanır ve inşa edilir.
- Depo tabanının boyuna eğimi % 3'den az olamaz.

6.6.4. Sızıntı Suyu Yönetimi

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik'e (ADD, 2010) göre tehlikeli atık nihai depolama tesisleri için sahanın özellikleri ve meteorolojik şartlar dikkate alınarak;

- Depolama sahasına yağıştan kaynaklanan yüzeysel suların girmesini engellemek,
- Sızıntı suyu toplama sistemine yağış suyu girmesini asgari düzeye indirmek,
- Yüzeysel suların ve/veya yeraltı sularının depolanmış atığa temasını engellemek,
- Kirilenmiş suları ve sızıntı suyunu toplamak,
- Depolama sahasında toplanmış kirilenmiş suları ve sızıntı suyunu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2004) doğrultusunda deşarj standartlarına uygun hâle getirmek için arıtmak amacıyla önlemler alınmalıdır.

Tehlikeli atık depolama alanlarında oluşan sızıntı suları da tehlikelidir ve tehlikesiz olduğu kanıtlanmadıkça tehlikeli atık olarak yönetilmelidir. Bu nedenle yasal zorunluluklar gözetilerek bir yönetim modeli geliştirilmelidir.

Tehlikeli atık depolama alanının kontrolü kapsamında üretilen sızıntı suyunun miktarını ve tehlikelilik özelliklerini azaltmak da bulunmaktadır. Sıvı atıkların tesise kabul edilmemesiyle oluşan sızıntı suyu miktarı azaltılabilir. Birbirleriyle istenmeyen reaksiyonlara girebilecek atıkların depolanmaması da sızıntı suyunun tehlikelilik özelliklerinin azaltılmasına yardım eder.

6.6.4.1. Sızıntı Suyu Özellikleri ve Hareketi

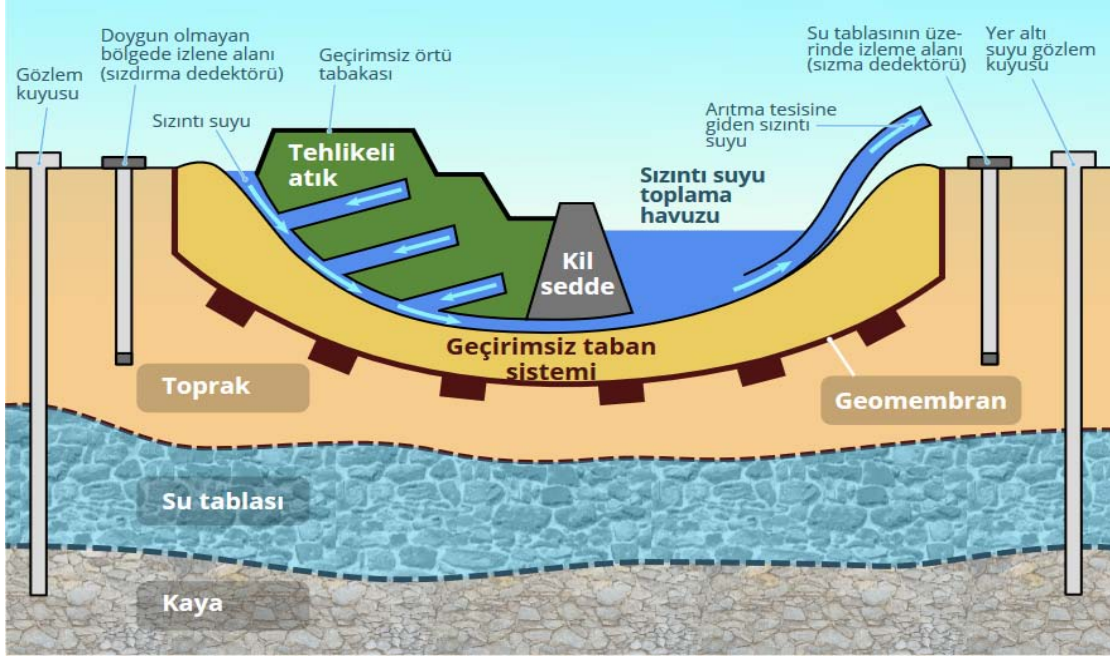
Sızıntı suyu, depolama alanı içerisindeki sıvıların yerçekimi etkisiyle hareketi nedeniyle ortaya çıkar. Sızıntı suyu kalitesi çeşitli faktörlerin etkisi altındadır: Fiziksel, Kimyasal, Biyolojik

Fiziksel Etkiler:

Alan içinde hareket eden sıvı, alanın aldığı yağışın, alana doğru ilerleyen yeraltı suyunun ve yüzeysel suların, depolanan atıkların sıvı içeriklerinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır (Shuckrow ve diğ., 1980). Sıvının hareketi, yoğunluk, viskozite ve çözünürlük gibi faktörlerde görülen salınımlar nedeniyle karmaşık hale gelir. Sıvının çok-fazlı olması, farklı oranlarda katı içerisinden akan su, yağ ve solvent fazlarında görülmesi mümkün olmaktadır.

Depolama alanlarında bulunan katı maddelerin büyük bir kısmı sıvı geçişine imkân verecek ortamı oluşturmaktadır. Depolama alanı içindeki toprak (günlük örtü tabakaları) ve atık homojen karakterde olmadığı için bu katı malzemenin gözeneklilik ve tanecik boyut dağılımı salınım göstermektedir. Bu durum sıvı hacmini ve sıvının toprakla temas ettiği süreyi etkiler.

Başlangıçta, süzülen sıvı katı malzeme tarafından tutulmaktadır (absorblanmaktadır). Katı malzeme doygunluğa eriştiğinde ise sızıntı suyu, atığı çevreleyen ortama doğru akışa geçmektedir. Doygunluk noktasına ulaşıldıktan sonraki süreçte, katı sütunun yüksekliği, sızıntı suyunun toplama sistemine ulaşması için gereken süreyi belirlemektedir. Şekil 6.25'te sızıntı suyunun depolama alanındaki hareketi görülmektedir.

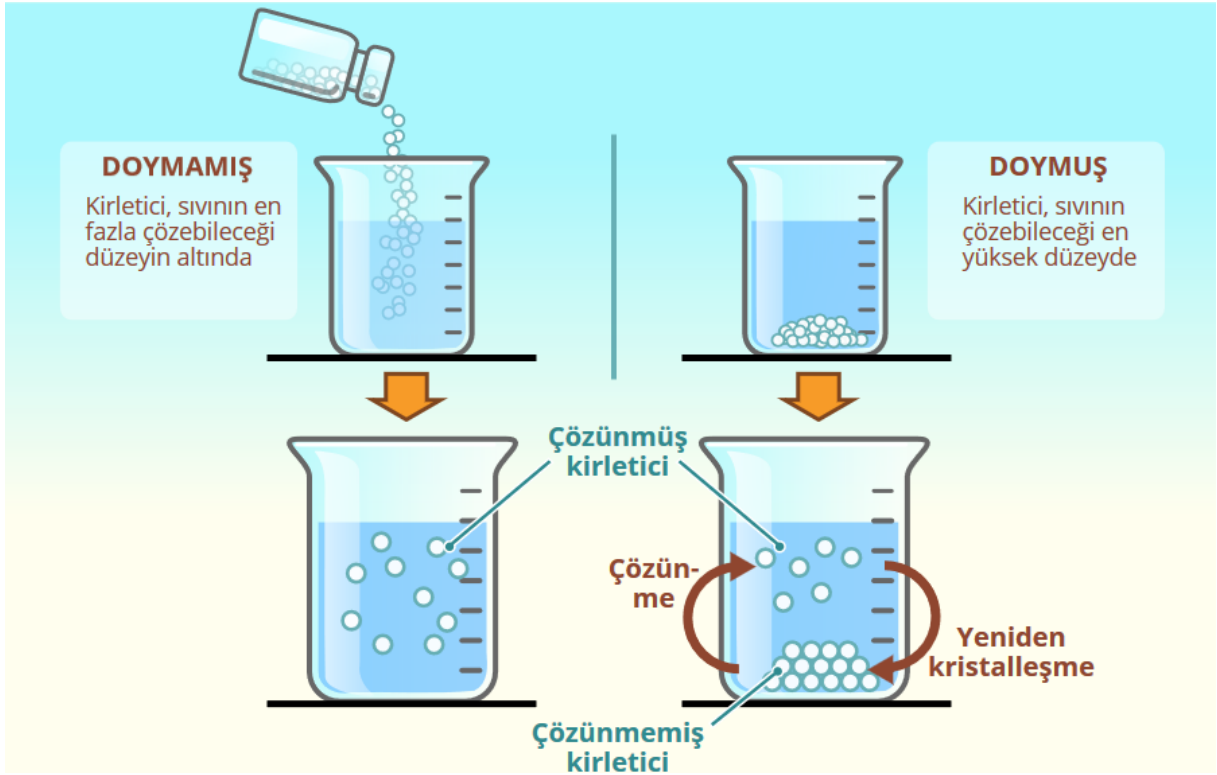


Şekil 6.25. Sızıntı suyunun depolama alanındaki hareketi

Sızma sürecinde beklenen temel fiziksel dönüşüm, gözeneklerdeki boşlukların tıkanması, bunun sonucunda sızıntı suyunun akış oranlarının ve kimyasal süreçlerin etkilenmesi olmaktadır. Depolama yapılan atıklar önemli miktarda askıda katı madde içeriyorsa, malzeme bir filtre ortamı olarak hareket edecek, gözenek boşlukları tıklandıkça sızma oranları düşecektir.

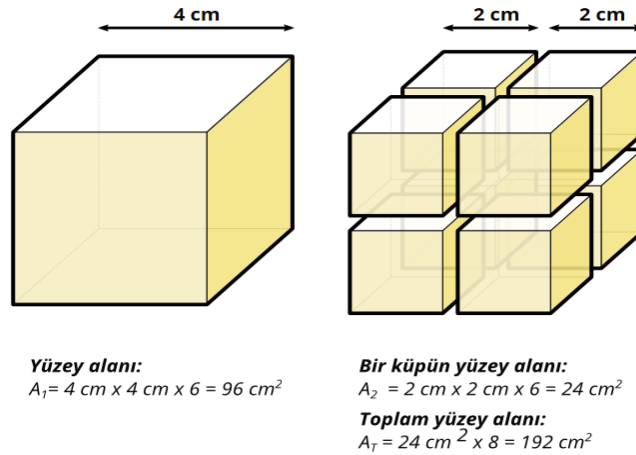
Kimyasal Etkiler:

Çözünürlük (Şekil 6.26) sızıntı suyu kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Sıvı fazın kimyasal kompozisyonu, sıvı ve katı faz arasındaki yüzeysel alan teması, temas süresi, pH, sıcaklık ve katı maddenin kimyasal kompozisyonunun bir fonksiyonudur. Sızıntı suyunun kimyasal kompozisyonu çözünme ve reaksiyon hızlarını belirler. Örneğin sıvı faz belli bileşikler için çözünürlük sabitine yaklaşırsa, çözünme sınırlı hale gelir ve katıdan sıvıya transfer hızları düşer. Tam tersine, sıvı faz seyreltik ise, kirleticinin katı fazdan transferi daha hızlı olur. Çözünürlük sabiti değeri aşılmışsa, kimyasal çökeltme başlar (Shuckrow ve diğ., 1980).



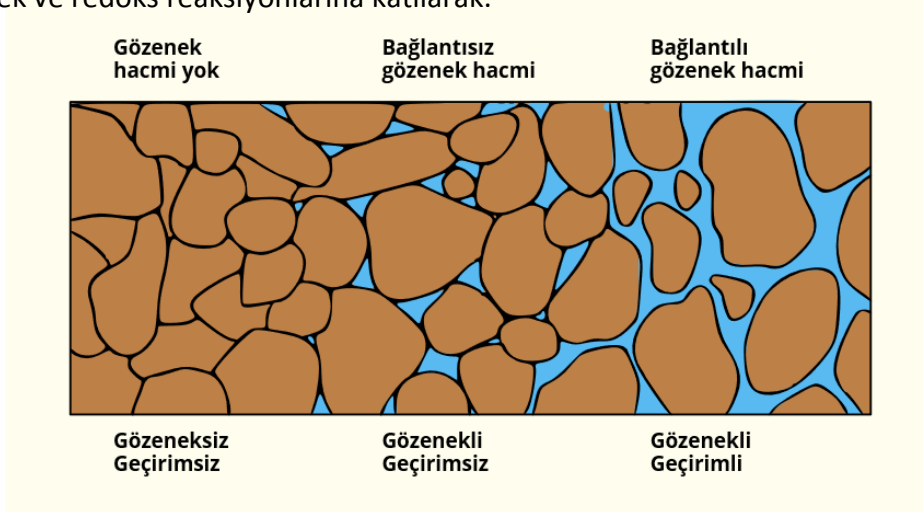
Şekil 6.26. Çözünürlük

Katı taneciklerin boyutunun sızma üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmaktadır. Küçük taneciklerin yüzey alanı daha büyüktür (Şekil 6.27) ve bu nedenle temas süresini uzatarak sızmayı artırmış olurlar. Yaşlanma ve erozyon süreçleri nedeniyle ortaya çıkan fiziksel bozulma, tanecikleri parçalamakta ve maruz kalma yüzey alanını artırmaktadır. Genellikle çözünme, temas yüzeyi alanıyla doğru orantılıdır (Shuckrow ve diğ., 1980).



Şekil 6.27. Yüzey alanı karşılaştırması

Boşluk hacminin katı matrisin toplam hacmine oranı olarak tanımlanan gözeneklilik (porozite), sıvının katı içindeki akış hızını, dolayısıyla sıvı-katı arakesitindeki temas süresini etkilemektedir (Şekil 6.28). Gözeneklilik azaldıkça ve temas süresi arttıkça, çözünürlük, sıvı içerisindeki bileşenlerin maksimum çözünme noktasına gelinceye kadar artmaya devam eder. Bu nedenle uzun temas süreleri, sıvı ve katı arasındaki reaksiyonların denge durumu oluşuncaya kadar devam etmesini sağlar (Shuckrow ve diğ., 1980). Bunun yanında pH, çözünürlük üzerindeki etkileri nedeniyle sızıntı suyu kompozisyonunu etkileyen önemli bir değişkendir. Genellikle pH, çözünürlüğü iki şekilde etkilemektedir: çözünürlük dengesini değiştirerek ve redoks reaksiyonlarına katılarak.



Şekil 6.28. Gözeneklilik

pH genellikle depolanan atıkların bir fonksiyonudur. Organik maddenin anaerobik reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan düşük molekül ağırlıklı asitler ve karbondioksit pH seviyesini düşürür. Tehlikeli atıklar kendilerine özgü özellikleri nedeniyle veya atık malzemelerin çözünürlüğünü etkileyerek, pH değişimine katkı koyarlar. pH'taki değişimler atığın çözünürlüğünü etkiler. Örneğin ağır metaller asidik çözeltiler içinde çözünür hale gelirler. Normalde metallerin çözünürlük sabiti hafif bazik çözeltilerde en düşük düzeyindedir. Bu nedenle asidik şartlar, metal iyonlarının çözünürlüğünü ve sızıntı suyu toplama sistemlerinde ortaya çıkma potansiyelini artırır.

Örtü malzemesi olarak kullanılan toprak da çözünürlüğe etki eder. Asit veya alkali özellikteki topraklar çözünürlüğü farklı şekilde etkiler (Shuckrow ve diğ., 1980). Asidik karakterdeki topraklar atık bileşenlerinin çözünürlüğünü artırırken alkali karakterdeki toprakların yüksek pH düzeyi çözünmeyi geciktirir.

Bir depolama alanının, sistemin pH'sını büyük ölçüde değiştirecek bir etki olmadıkça, asit veya bazları belli bir noktaya kadar tolere etme kapasitesi bulunmaktadır. Bu tamponlama kapasitesi yüksek ise sızıntı suyu kapasitesi daha kararlı ve tahmin edilebilir düzeyde olur. Düşük tamponlama kapasitesi durumunda ise sızıntı suyu özelliklerini tahmin etmek zordur.

Depolama alanında sıcaklık değişimleri olur. İlave edilen atıklar, dışarıdan gelen sıvılar, atığın parçalanması esansında oluşan ısı (biyolojik, fiziksel veya kimyasal faaliyet), depolama alanı içerisindeki sıcaklık dağılımını etkiler. Sıcaklık katı ve sıvı faz arasındaki reaksiyonları etkilediği için önemlidir. Mikrobiyal topluluklar üzerinde katalizör işlevi de görür. Sıcaklık arttıkça hem çözünme hızları hem de mikrobiyal faaliyet artar. Bu nedenle sıcak havalarda sızıntı suyunun kirletici konsantrasyonları daha yüksek düzeylerde olmaktadır (Shuckrow ve diğ., 1980).

Depolama alanı içinde oluşan kimyasal dönüşümler yüzeye tutunma (adsorpsiyon), yükseltgenme-indirgenme ve çökeltme reaksiyonları ile ilişkilidir. Toprakların çoğunun bir katyon değişim kapasitesinin bulunduğu bilinmektedir. Bu kapasite toprak tiplerine bağlı olarak değişir. Bazı toprakların anyonları tutabildiği bilinmektedir (Shuckrow ve diğ., 1980). Bu özellik depolama işlemlerinin başlangıcında önemli olabilirken, katı malzeme sıvıya doymuş hale geldiğinde katyon değişim kapasitesinin tükenmiş olması beklenmektedir. Bu nedenle, ileri safhalarda katyon değişim kapasitesi denge durumuna gelir ve sızıntı suyunun nihai kompozisyonuna etki etmez.

Redoks potansiyeli de kimyasal ve biyolojik reaksiyonları etkilemektedir. Depolama alanlarında derinlik arttıkça çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Bu nedenle kimyasal bileşenler yeterli oksijenin bulunduğu üst bölgelerde okside olabilirken alt bölgelerde indirgenme koşulları oluşur.

Biyolojik Etkiler:

Mikroorganizmalar organik atık bileşenlerini çözünür hale getirebilmekte, oksitleyebilmektedir. Atıktan inhibe olmayan mikroorganizmalar zehirli organik bileşikleri metabolize edebilecekleri organik maddelere dönüştürür. Mikrobiyal topluluk, depolama alanındaki atık kompozisyonuna, mevcut nutrientlere, zehirli madde konsantrasyonuna, oksijen seviyelerine, sıcaklığa, pH'a, nem oranına ve atık içinde ve toprakta başlangıçta bulunan popülasyona bağlı olarak oluşmaktadır. Oksijen tükendikçe aerobik mikroorganizmalar yerini anaerobik mikroorganizmalara bırakır. Baskın hale geçen anaerobik mikroorganizmalar metan, hidrojen sülfür, amonyak gibi çeşitli gazlar oluşturmaya başlarlar. Bu reaksiyonların gerçekleşmesi durumunda potansiyel koku problemi ve patlama riski bulunmaktadır. Biyolojik faaliyet zaman içinde önemli ölçüde değişim gösterir. Sızıntı suyu içerisindeki organik bileşik düzeyi zaman içinde değişir. Bu da depo sahası kapanmadan önce ve kapandıktan sonra oluşturulacak sızıntı suyu yönetimini etkiler. Ancak, mikrobiyal faaliyet daha çok evsel atıkların depolandığı sıhhi (II. Sınıf) depolama alanlarında görülür. Tehlikeli atıkların yapısındaki tehlikeli maddelerin mikroorganizmalar üzerindeki zehirlilik etkisi biyolojik faaliyetleri engeller (inhibe eder).

Gibbons ve diğ. (1999) geçmişte tehlikeli, evsel ve karışık atıkların depolanmış olduğu 48 farklı depolama alanından 1490 sızıntı suyu örneği olarak kompozisyonlarını karşılaştırmıştır.

Analiz bulgularında depolama alanlarının sızıntı suyu özelliklerinde hem bileşenler hem de konsantrasyonları açısından farklılık olduğu görülmüştür.

Aşağıdaki uçucu organik bileşiklere tüm tesislerde çok nadir rastlandığı görülmüştür (Gibbons ve diğ., 1999): 1,2-dikloropropan, akrolein, akrilonitril, bromodiklorometan, bromoform, bromometan, karbon tetraklorür, kloroetan, klorometan, cis-1,3-dikloropropen, dibromoklorometan, diklorodiflorometan ve trikloroflorometan.

Aşağıdaki uçucu organik bileşikler ise tehlikeli atık depolama alanlarının %6'sında bulunmuştur (Gibbons ve diğ., 1999): 1,1,2,2-tetrakloroetan, 1,1,2-trikloroetan, 1,1-dikloroetan, 1,2-dikloroetan, kloroform ve tetrakloroetan.

Aşağıdaki bileşikler öncelikle tehlikeli atık depolama alanlarından alından sızıntı sularında bulunmuştur (Gibbons ve diğ., 1999): 1,1,1-trikloroetan, 1,1-dikloroetan, trikloroetan ve vinil klorür. Benzen, klorobenzen, etilbenzen, metilen klorür, toluen ve trans-1,2-dikloroetan ise tüm tesislerde görülmüştür. Aynı çalışmada, yeni tehlikeli atık depolama alanlarının sızıntı sularının eski tehlikeli atık depolama alanı sızıntı sularıyla benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Bramlett ve diğ. (1985) ABD'de 13 tehlikeli atık depolama alanından aldıkları sızıntı suyu örneklerinde Tablo 6.5'te görülen kirleticileri belirlemişlerdir.

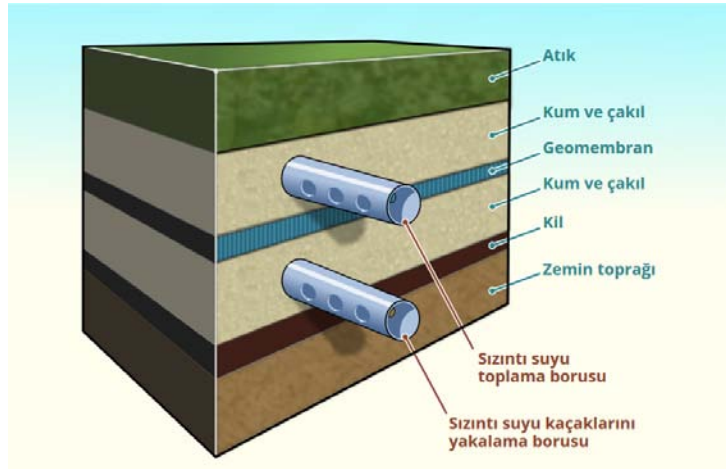
Tablo 6.5. Tehlikeli atık depolama alanlarında görülen kirleticiler (Bramlett ve diğ., 1985)

| Kimyasal Madde Sınıflandırması | Ortaya çıkma yüzdesi | Kimyasal maddeler ve ortaya çıkma yüzdeleri (mol fraksiyonu) |
|---------------------------------|----------------------|--|
| Organik asitler | %39.0 | Fenol (%11.8) Yer değiştirmiş fenoller (17 bileşik %9.5 oranında) Benzoik asit ve yer değiştirmiş benzoik asitler (3 bileşik %5.4) Alkanoik asitler (13 bileşik %12.3) |
| Oksijenli hidrokarbonlar | %35.8 | Aseton (%16.5) Yaygın keton solventleri: örn. metil etil keton, metil izobütil keton, metil propil keton (%9.22) Tüm alkol tipleri (16 bileşik %8.1) |
| Halojenli hidrokarbonlar | %11.0 | Metil klorür (%6.8) Klorobenzen (4 bileşik %1.4) Çok klorlu alkanlar/alkenler (10 bileşik %2.8) |
| Aromatik hidrokarbonlar | %6.0 | Toluenler (%4.22) Benzen ve alkille yer değiştirmiş benzenler (toluen dışında) (%1.4) |
| Alifatik hidrokarbonlar | %0.9 | |

6.6.4.2. Sızıntı Suyu Toplama Sistemleri

Sızıntı suyu kontrol ve sızıntıyı tespit sistemi planlanmadan herhangi bir tehlikeli atık depolama alanı inşa edilmemelidir. Bu planlama yapılırken sızıntı suyu akış oranı tahmin

edilmeli, drenaj tabakası, boru şebekesi ve sızıntı suyu uzaklaştırma sistemi planlanmalıdır (NGHWL, 2006) (Şekil 6.29). Bu planlama kapsamında depolama alanının genişlemesi, hacminin artırılması, ilave atık tiplerinin kabulü gibi hususlar da yer almalıdır.



Şekil 6.29. Sızıntı suyu toplama sistemi

Sızıntı suyu sızdırmazlık tabakasının üzerinde toplanır ve gözenekli borular yardımıyla bertaraf noktasına iletilir. Sızıntı suyu toplama sistemi oluşturulurken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (NGHWL, 2006):

- Sızdırmazlık tabakasının hemen üzerinde yer almalıdır.
- Sızıntı suyunun etkin yaşam süresi boyunca fonksiyonel olacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Yeraltısuyunun korunması için başka bir sistem yasal olarak istenmedikçe bütün sızıntı suyu toplama sistemlerinin uygun bir geotekstil ürünle atıktan ayrılması gereklidir.
- Sızıntı suyu toplama sisteminin zemin kalınlığı en az 0.5 m eğim bölgesi kalınlığı ise en az 0.3 m kalınlığında olmalıdır.
- Çakıl tabakalarının kalınlığı standarda uygun olmalı, bu tabakalarda uygun çaplarda çakıl kullanılmalıdır. Sistemin, sızıntı suyu derinliğinin herhangi bir noktada 0.3 m'yi geçmeyecek şekilde işletilmesi gerekmektedir.
- Depolanan atığa, sızıntı suyuna ve olası gazlara kimyasal olarak dayanabilecek malzemelerden inşa edilmelidir.
- Örtü tabakası oluşturulmadan önce oluşabilecek yağışlara karşı hidrolik olarak dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Drenaj malzemesinin aşırı yüklemelere, ekipman baskısına vb. karşı durabilecek dayanımda olması gerekmektedir.
- Drenaj malzemesinin tıkanmayacak şekilde tasarlanması ve inşa edilmesi gerekmektedir.
- Atık ve granüler drenaj malzemesi arasında uygun bir geosentetik filtre malzemesi yerleştirilmelidir.

- Sızıntı suyu toplama sisteminin yanal eğimlerinin inşaat, atık yerleştirme ve çökelmeler esnasında kararlı kalacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.
- Toplanan sızıntı sularının arıtmadan önce toplanabileceği üstü kapalı bir yapıya ihtiyaç duyulur.
- Birinci ve ikinci kat sızdırmazlık tabakası arasında, sızıntı suyu kaçaklarını toplama sistemi oluşturulmalıdır.

Sızıntı suyu toplama sistemini işletirken aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekir (NGHWL, 2006):

- Toplama boruları temizlik ve kontrol için erişilebilir olmalıdır.
- Toplama borularının, sızdırmaz zemin üzerinde 0.3 m'den fazla hidrolik yük oluşumuna izin vermeyecek şekilde, düzenli olarak sızıntı suyunu uzaklaştırıyor olması gereklidir.
- Temel sistemin arıza vermesi durumunda, sızıntı suyunu uzaklaştırabilecek bir pompaj sistemi bulunmalıdır.
- Sistemden uzaklaştırılan sıvı hacmi ölçülebilir olmalıdır.

6.6.4.3. Sızıntı Suyu Arıtımı

Sızıntı suları toplandıktan sonra, arıtılarak bertaraf edilmeleri için çeşitli alternatifler mevcuttur (Şekil 6.30). Arıtma uygulanan sızıntı suları,

- Alıcı ortama deşarj edilebilir,
- Kentsel atıksu arıtma tesislerine deşarj edilebilir,
- Tehlikeli atık bertaraf tesislerine gönderilebilir.



Şekil 6.30. Alıcı ortama deşarj edilmeden önce arıtmak üzere sızıntı suyunun bekletildiği dengeleme tankları

Bu bölümde sızıntı suyuna uygulanabilecek arıtma yöntemleri özetlenmeye çalışılmış, arıtma seçeneklerinin tanıtılması ve teorik ayrıntılarının açıklanması amaçlanmamıştır. Tehlikeli özellikteki sızıntı sularının arıtılması için bir perspektif geliştirilmeye çalışılmıştır.

Biyolojik Arıtma

Biyolojik süreçler organik kirletici içeren atıksular için maliyet açısından genellikle en etkin seçenektir. Çeşitli endüstriyel atıksular, kentsel atıksular ve evsel atık depolama alanı sızıntı suları için başarıyla uygulanmaktadır, ancak tehlikeli atık depolama alanı sızıntı suları için biyolojik süreçlerin kullanıldığı tam ölçekli bir uygulama bulmak güçtür (Shuckrow ve diğ., 1980). Bu tür sızıntı suları genellikle biyolojik yöntemlerle parçalanması güç olan organik bileşikler içerirler. Bu nedenle, işlemden önce mikroorganizmaların atığa alışması sağlanmalıdır (aklime etmek). Bunun yanında bu sızıntı sularında mikroorganizmalar için zehirli olabilecek kalıcı bileşikler bulunabilir. Bu tür bileşiklerin varlığı biyolojik arıtma sürecinin çalışmasını engelleyebilir. Bu durumlarda biyolojik arıtmayla birlikte farklı arıtma süreçlerinin birleştirilmesi gerekli olabilir. Biyolojik süreçlerin çalışabilmesi için çeşitli işletme koşullarının sağlanması gereir. Nötral pH şartları ve nutrient ihtiyacının (karbon, azot, fosfor ve iz elementler) karşılanması gereklidir. Bunun yanında şok yüklemelerden (konsantrasyon ve debi açısından) kaçınılmalıdır. Biyolojik arıtma seçenekleri içinde, aktif çamur sürecinin sızıntı sularını arıtma potansiyelinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu sistemlerin kontrol ve alıştırılmış kültüre adapte edilmesi daha kolaydır. Yine de biyolojik arıtma seçeneğinin organik kirletici içeren tehlikeli atık sızıntı sularının arıtılmasındaki etkinliği tartışma konusudur.

Karbon Adsorpsiyonu

Aktif karbon (Şekil 6.31) adsorpsiyonu çeşitli atık arıtma uygulamalarında kullanılan gelişmiş bir teknolojidir. Sıvı atıklardan karışık organik kirleticilerin gideriminde tam ölçekli başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Çeşitli endüstriyel atıksularda, dökülmüş tehlikeli atıkların temizlenmesinde, sızıntı sularının ve tehlikeli atıklarla kirlenmiş yeraltı sularının arıtılmasında kullanılmaktadır. En önemli dezavantajı termal rejenerasyon ve reaktivasyon için yüksek enerji ihtiyacıdır. Karbon adsorpsiyonunun maliyeti, arıtılacak atık türüne, adsorpsiyon sistemine ve rejenerasyon tekniğine bağlı olarak değişmektedir. Karbon adsorpsiyonu yüksek maliyetine rağmen organik kirletici içeren tehlikeli atık sızıntı sularının arıtımında uygulanabilecek bir teknolojidir. Birleşik biyolojik arıtma ve karbon adsorpsiyonu içeren süreçler de uygulanabilir.



Şekil 6.31. Granül Aktif karbon

Kimyasal Oksidasyon

Kimyasal oksidasyon yöntemiyle organik madde gideriminde genellikle düşük verimler elde edilir (Shuckrow ve diğ., 1980). Ancak kimyasal oksidasyon yardımıyla elde edilen kimyasal dönüşümler diğer süreçlerin uygulanmasını kolaylaştırabilir. İnorganik kirleticiler genellikle daha az zehirli bir forma dönüştürülerek çöktürme işlemi kolaylaştırılabilir. Ozon da dahil olmak üzere kimyasal oksidasyon tekniklerinin çoğu çeşitli endüstriyel atıksular için tam ölçekli olarak başarıyla uygulanmaktadır. Ozonlamanın tehlikeli atıksu arıtımındaki uygulama örnekleri tartışılmaktadır. Ozonlama biyolojik arıtma öncesinde tek başına veya UV radyasyonu ile birlikte, ön arıtma seçeneği olarak uygulanabilir. Ozonlamanın granül aktif karbonla birlikte başarılı uygulamalarının bulunduğu bilinmektedir (Shuckrow ve diğ., 1980). Ozonlama veya hidrojen peroksit ile yapılan oksidasyon, alkali klorlamada olduğu gibi klorlu organiklerin oluşumuna sebebiyet vermemektedir.

Kimyasal İndirgeme

Kimyasal indirgeme yoluyla inorganik kirleticilerin tehlike özelliğini azaltılabilir. Ancak kirleticiler çökelen çamurda birikeceği için, bu kalıntının dikkatlice yönetilmesi gerekmektedir. İndirgeyici maddelerin ilavesinin dezavantajı yabancı iyonların atık içerisine ilave ediliyor oluşudur. Altı değerlikli kromun kükürtdioksit, kükürt tuzları veya demir tuzları kullanılarak üç değerlikli kroma indirgenmesi kimyasal indirgeme uygulamasının bir örneğidir. İndirgenmeden sonra oluşan üç değerlikli krom kireç veya sodyum karbonat yardımıyla çöktürülmektedir. Ancak bu süreç organik atıklar için potansiyel sunmamaktadır (Shuckrow ve diğ., 1980).

Kimyasal Çöktürme

Çöktürme süreçleri (Şekil 6.32) sızıntı suyu arıtımında tam ölçekli olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Teknik, çökebilen tehlikeli bileşen içeren tüm sıvı atıklar için uygundur. Maliyeti diğer yöntemlere kıyasla düşüktür ve yüksek hacimlerde sıvı atıklara uygulanabilir. Enerji tüketimi düşüktür. Çöktürme süreçleri tehlikeli olarak değerlendirilebilecek bir çamur üretimiyle sonuçlanır. Bu teknik genellikle tehlikeli atıksulardaki bazı metallerin (arsenik, kadmiyum, krom, bakır, flor, kurşun, mangan, cıva, nikel) ve anyonik türlerin (fosfat, sülfat, flor) gideriminde başarıyla uygulanmaktadır (Shuckrow ve diğ., 1980).



Şekil 6.32. Kimyasal çöktürme

Filtrasyon

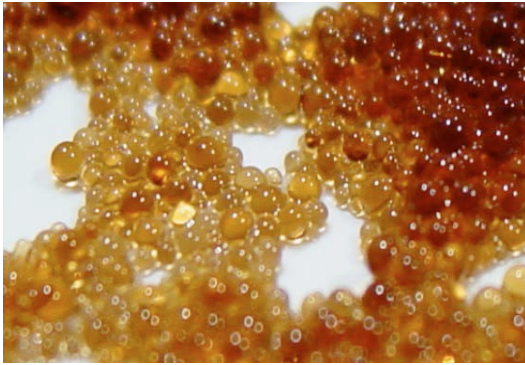
Filtrasyon yöntemleri sızıntı sularının arıtımında başarıyla uygulanmaktadır. Ticari olarak bulunabilen çeşitli filtrasyon yöntemleri (ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon vb.) mevcuttur. Ancak tıkanma problemi nedeniyle bir ön arıtma süreciyle desteklenmelidir (Shuckrow ve diğ., 1980).



Şekil 6.33. Ultrafiltrasyon ünitesi

İyon Değişimi

İyon değişimi ile atıksulardan çözünmüş tuz, özellikle inorganik madde giderimi yapılabilir. İyon değişimi sızıntı suyu arıtımında çözünmüş inorganik türlerin giderimi için kısmi bir potansiyel sunmaktadır. Sentetik reçineler oksitleyici maddeler ve sıcaklık etkisiyle zarar görebilmektedirler. Bunun yanında atıksuyun reçineyi tıkayabilecek askıda katı maddelerden arındırıldıktan sonra reçineye verilmesi gerekmektedir. Bazı organik bileşikler, özellikle aromatik olanlar reçineler tarafından adsorbe olduklarında ise ters yıkamayla giderimleri mümkün olmamaktadır (Shuckrow ve diğ., 1980). Bu nedenle reçinenin kapasitesi azalmaktadır.



Şekil 6.34. İyon değiştirici reçine

Reçine Adsorpsiyonu

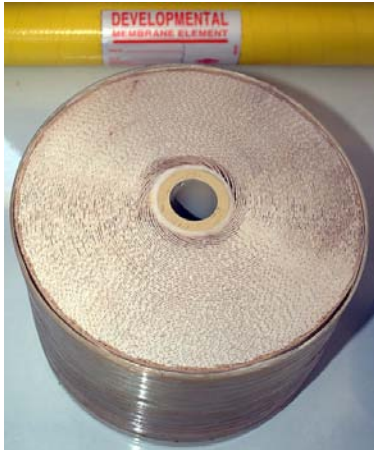
Reçine adsorpsiyonu yoluyla fitalat esterleri, aldehitler, ketolar, alkoller, klorlu aromatik maddeler, aminler, klorlu alkanlar ve alkenler ve pestisitlerin adsorplanabildikleri bilinmektedir. Reçineler çeşitli aminleri ve aromatik maddeleri aktif karbondan daha iyi şekilde tutabilir. Reçine adsorpsiyonu aşağıdaki durumlarda daha çok tercih edilmektedir (Shuckrow ve diğ., 1980):

- Organik moleküllerden kaynaklanan renk giderimi gerektiğinde,
- Kirlenici maddenin geri kazanımı adsorbanın termal rejenerasyondan daha pratik olduğunda,
- Seçici adsorpsiyon gerekli olduğunda,
- Atıksudaki çözülmüş inorganik madde miktarı yüksek olduğunda.

Polimerik adsorbanlar, polar çözücüler içerisindeki apolar kirleticilere yatkınlığı olan apolar maddelerdir. Karbonlu reçinelerin kompozisyonu polimerik adsorbanlarla aktif karbon arasında bir yeredir ve çeşitli polaritelerde olabilir. Seçici özellikleri, hızlı adsorpsiyon yetenekleri ve kimyasal rejenerasyonun mümkün olması nedeniyle, reçine adsorpsiyonu organik atıklar için yaygın bir şekilde uygulanabilir. Temel dezavantajı ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşudur.

Ters Osmoz

Ters osmoz, maliyeti yüksek ancak tuz ve çözünmüş madde gideriminde etkin bir proses olarak bilinir. Enerji ihtiyacı yüksektir. Yüksek saflıkta çıkış suyu sunabilir. Ters osmoz membranlarının tıkanmasının önüne geçebilmek için ön arıtma kademelerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu yöntemde çeşitli organik ve inorganik kirleticilerin giderimi mümkün olmaktadır. Ters osmoz yönteminin uygulanabilirliği ozmotik basınçla dolayısıyla sızıntı suyunun tuz içeriğiyle sınırlanmaktadır. Yüksek tuz içeriği olması, membrana uygulanacak basıncın artması ve dolayısıyla elektrik sarfiyatının artması anlamına gelir. Ters osmozdan çıkacak atığın (konsantrat) ayrıca bertaraf edilmesi gerekir.



Şekil 6.35. Ters osmoz membranı ve tabakaları

6.6.4.4. Sızıntı Suyunun İzlenmesi

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADD, 2010) depolama alanlarının yeraltı suyuna etkisini belirlemek için uygulanacak kontrol ve izleme işlemlerinin aşağıdaki gibi olması gerektiğini belirtmektedir:

- Ölçümler yeraltı suyunun menbasında en az bir noktada ve mansabında en az iki noktada yapılır.
- Yeraltı suyu seviyesi her altı ayda bir ölçülür.

- Tesis işletmeye alındıktan veya kapatıldıktan sonra yeraltı suyu kalitesinde önemli bir değişiklik görülebilir. Bu olumsuzluğun giderilmesi veya tesisten kaynaklanmadığının tespit edilebilmesi için tesis faaliyete alınmadan önce ilk alarm seviyesi tespit edilir. Alarm seviyesinin aşılmadığını kontrol etmek amacıyla yapılacak gözlemler, her kuyu için belirlenmiş kontrol kurallarını ve su seviyelerini gösteren bir çizelgeye işlenir. Çizelge, kapatma sonrası izleme süreci sona erinceye kadar saklanır.

Sızıntı suyu kontrolü için uygulanacak kontrol ve izleme işlemleri ise aşağıdaki gibi belirlenmiştir (ADD, 2010):

- Sızıntı suyundan ve mevcut olması halinde yüzeysel sulardan numune alma işlemleri temsil edici noktalarda yapılır. Numune alma sıklığı işletme planında belirlenir.
- Numune alma sıklıkları, sızıntı suyu niteliği ve ölçülecek parametreler lisans belgesinde bulunmak zorundadır.
- Yüzeysel suların izlenmesi biri menbada diğeri mansapta olmak şartıyla ve akıntı yönünü de dikkate alarak en az iki ayrı noktada yapılır.
- Kontrol ve izlemede analitik işlemlerin ve/veya analizin kalite kontrolü, Çevre Ölçüm ve Analiz Laboratuvarları Yeterlik Yönetmeliği kapsamında Bakanlıkça yetki verilen laboratuvarlar tarafından yapılır.
- Tehlikeli atık depolama alanları depo hizmet süresini doldurduktan sonra en az otuz yıl süre ile izlenir ve denetlenir. Lisans koşullarında izleme süresi belirtilir.

6.6.5. Gaz Oluşumu ve Enerji Eldesi

Tehlikeli atıklardan çıkan gazların düşük düzeyde olduğu bilinmesine rağmen yine de oluşan deponi gazları potansiyelini belirlemek için bir değerlendirme yapılmalıdır (NGHWL, 2006). Tehlikeli atık depolama alanları içerisindeki gaz oluşumu daha çok uyumlu olmayan atıkların reaksiyonundan kaynaklanır. Aynı zamanda depolama alanına kabul edilen uçucu kimyasal atıkların buharlaşması sonucunda da gaz oluşumu gözlenebilir. Bazen depolama alanının bazı bölgelerinde gaz oluşumu gözlenirken bazı bölgelerinde gözlenmez. Tehlikeli atıkların doğası ve değişkenliği nedeniyle oluşacak gazları ve oranını tahmin etmek zordur. Depolama alanı içerisindeki olası gaz geçiş yollarını değerlendirmek önemlidir ve gaz hareketinin takip edilmesi gereklidir. Tehlikeli atık depolama alanında gaz oluşumu gözlemlendiğinde gazın kaynağı bulunmalıdır ve gaz oluşumunu önleyici stratejiler benimsenmelidir.

Gaz toplama sistemi planlaması yapılırken, kollektör yerleşimi, depolama alanı içindeki derinliği, gaz toplama bölgesinin çapı; gaz toplama borularının malzemesi, boyutu, delikleri, boruların yerleştirileceği yatak malzemesi, basınç dayanımı; valfler, donmaya karşı koruyucu önlemler, gaz depolama sistemleri ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Gaz oluşumu varsa, oluşan gazın nasıl arıtılacağı, kullanılacağı veya bertaraf edileceği planlanmalıdır. Aktif gaz toplama sistemine ihtiyaç duyulup duyulmayacağı, nem giderim ve

gaz arıtım ünitesinin kurulup kurulmayacağı belirlenmelidir. Oluşan gaz, yakılarak uzaklaştırılacaksa meşalenin cinsi, yakma sıcaklığı, bekleme süresi, uçucu organik bileşiklerin parçalanma verimi, otomatik tutuşturma sistemi vb. hususlar önceden planlanmalıdır.

Sistem ekipmanının denetlenme sıklığı, bakımı, gaz debisi ve konsantrasyonlarının izlenmesi, beklenmeyen durumlarda alınacak tedbirler önceden planlanmalıdır. Tehlikeli atık depolama alanlarında deponi gazının oluşumundaki temel endişe konusu, zehirli veya yanıcı/patlayıcı gazların ortaya çıkmasıdır.

Evsel atıkların depolandığı II. Sınıf depolama alanlarında oluşan anaerobik koşullarda oluşan metan gazının oluşum evrelerinin iyi işletilen tehlikeli atık depolama alanlarında birebir gözlenmesi beklenmez. Bunun temel nedeni tehlikeli atıklardan kaynaklanan zehirli nitelikteki buharların biyolojik faaliyetleri engellemesidir (inhibisyon). Zehirli buharların oluşumu için temel mekanizma buharlaşma ve kimyasal reaksiyonlardır. Atıkların kimyasal reaksiyonların oluşumuna ihtimal vermeyecek şekilde yerleştirilmesi, gaz oluşumunun sadece buharlaşmadan kaynaklanması ve difüzyon kontrollü bir proses olarak yönetilmesi önemlidir. Deponi gazının hareketi konveksiyon ve difüzyon süreçleriyle gerçekleşmektedir. Depolama alanı içindeki konveksiyon, basınç gradyanları ile, difüzyon ise gaz buharlarının çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru hareketiyle gerçekleşmektedir. Depolama gazının hareketi işletme koşullarından etkilenir. Örneğin nihai örtünün oluşturulması deponi gazının dikey hareketini engeller, yatay yönde hareket etmesine neden olur.

Evsel atık depolama alanlarında oluşan ve büyük kısmını metan gazının oluşturduğu depolama gazının toplanması ve enerji temin edilmesi mevzuat tarafından desteklenen bir uygulamadır. Ancak tehlikeli atık depolama alanlarında oluşan gazdan enerji dönüşümü uygun uygulamalar arasında değildir (Pichtel, 2014). Bu tür sistemlerde gaz oluşumu çok düşük düzeydedir veya gaz oluşumunun çok düşük düzeyde gerçekleşmesi beklenmekte ve istenmektedir. Bunun temel nedeni bu tür depolama alanlarına kabul edilecek atıkların özellikle kararlı ve katı atıklar olarak seçilmesi gerekliliğidir. Evsel atık depolama alanlarında bulunan çürüyebilen malzemeler bu depolama alanlarında bulunmayacağı için, evsel atık depolama alanlarında görülen yüksek deponi gazı debileri tehlikeli atık depolama alanlarında görülmez. Bu nedenle enerji temin amacıyla olmasa bile oluşan düşük düzeydeki gazların nihai örtü sistemi içinde bulunan gaz toplama tabakasıyla toplanması ve depolama alanının dışına çıkarılması gerekmektedir.

6.6.6.Örtü Sistemlerinin Düzenlenmesi

Depolama alanının "nihai örtü" adı verilen dış örtü tabakası, çevre ve insan sağlığını korumak için, tesisten toprağa, yüzeysel sulara veya atmosfere herhangi bir malzeme kaçışını kontrol etmek için tasarlanır (NGHWL, 2006). Tehlikesiz olduğu kanıtlanmadıkça, tehlikeli atık depolama alanından çıkan her madde tehlikeli olarak işlem görmelidir. Bu maddeler atık, sızıntı suyu, buhar/gaz, kirlenmiş toprak veya parçalanma ürünü olabilir. Nihai örtü, fonksiyon ve form açısından günlük ve geçici örtüden farklılık gösterir. Nihai örtü tabakasının

geçirimsiz bir bariyer oluşturarak depolama alanına dışarıdan bir giriş olmasına, depolama alanından da dışarıya bir çıkış olmasına izin vermeyecek şekilde tasarlanması amaçlanır. Bu şekilde depolama alanı çevreden izole edilmiş olur.

Nihai örtü tabakaları,

- Kapalı bir depolama alanı hücresine sıvı girişini engeller,
- Yüzeysel drenajı destekler,
- Erozyona ve aşınmaya karşı koyar,
- Gerekliğinde esneyebilir; böylelikle örtü sisteminin bütünlüğü bozulmamış olur.

Nihai örtü sisteminin, atıkları izole etmek, su infiltrasyonunu kontrol etmek ve erozyona karşı korumak için tüm depolama alanı hücrelerinin üzerine yerleştirilmesi gerekir. Örtü sisteminin bariyer tabakası (geçirimsiz geomembran-kil tabaka) taban sisteminin geçirimsiz tabakasıyla güvenli bir şekilde birleştirilmelidir (NGHWL, 2006). Örtü sistemi donma-çözülme döngülerinden kaynaklanan tahribata dayanacak kalınlıkta olmalıdır. Şekil 6.36'da tehlikeli atık depolama alanlarına uygun bir örtü sistemi görülmektedir.



Şekil 6.36. Tehlikeli atık depolama alanları için uygulanabilecek bir örtü sistemi (LaGrega ve diğ., 1994)

ABD mevzuatına göre nihai örtünün en az taban sistemi kadar geçirimsiz olması gerekmektedir (Shammas ve Wang, 2010). Bunun yanında örtü sisteminin düşük bakım gerektirecek ve alttaki atık grubunun oturma ve çökelmelerini destekleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

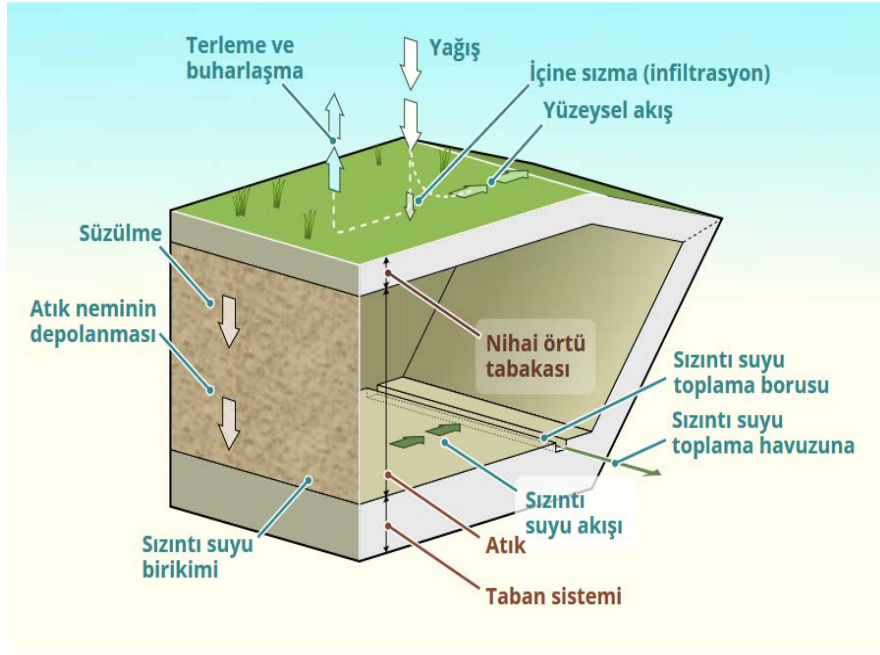
Mevzuatımıza göre (ADD, 2010) nihai örtü tabakası aşağıdaki gibi oluşturulmalıdır:

- Atık depolama işlemi tamamen bittikten sonra depolama alanında nihai örtü oluşturulmadan önce, alan normal kazı toprağı örtüsü ile tesviye edilir. Kapatma işlemine başlamadan önce; atıkların veya yapının kayma ve çökme riskine karşı depolanan atık kütesinin yeterince oturduğu tespit edilir.
- Tesisin kurulduğu bölgenin yağış özelliklerinden dolayı kapatma sonrası süreçte sızıntı suyunun oluşumunun engellenmesi ve depoda oluşacak gazların toplanması için depo üst örtüsü oluşturulmalıdır.
- Gaz oluşumu yalnızca evsel atık depolama alanlarında beklendiği için, tehlikeli atık depolama alanlarında depo gazlarının oluşturacağı potansiyel risklerin engellenmesi amacıyla gaz drenaj katmanının inşa edilmesi zorunlu değildir.
- Yapay geçirimsizlik kaplamasının uygulanması zorunludur.
- Mineral geçirimsizlik tabakası en az 25 cm kalınlığında iki tabaka halinde uygulanır. Drenaj tabakasının en az 50 cm kalınlığında olması ve en az $\approx 1.0 \times 10^{-4}$ m/s geçirgenliğe sahip olması gerekir.
- Üst örtü toprağı daha sonradan bitkilerin yetiştirilmesini sağlayabilecek şekilde yetiştirilecek bitki türüne bağlı olarak en az 50 cm kalınlığında olmalıdır.

Nihai örtü için genellikle üç katmanlı bir sistem önerilmektedir: Bitkisel bir üst toprak, ortada bulunan bir drenaj tabakası, geomembran ve sıkıştırılmış kil tabakasının birlikte oluşturduğu kompozit geçirimsiz bir tabaka (Shammas ve Wang, 2010). Geçirimsiz örtü sisteminin en önemli amacı yağış infiltrasyonunu engellemek olduğuna göre bu tabakada yıpranmaların en düşük düzeyde tutulması uygun malzeme seçimi ve iyi işçilik önemlidir.

Örtü sistemleri aşağıdaki amaçlara hizmet etmektedir:

- Sızıntı suyu oluşumunu azaltmak için depolama sahası içine su hareketinin kontrolü (Şekil 6.37),
- Çevresel rahatsızlığa neden olabilecek hayvan ve vektörlerin kontrolü,
- İnsanların atıkla doğrudan irtibatının önlenmesi,
- Hava kalitesini olumsuz etkileyecek gaz hareketlerinin önlenmesi,
- Yangın potansiyelinin azaltılması ve depolama bileşenlerinin zararlarının önlenmesi,
- Depolama alanından yüzeysel suya kirletici girişlerinin önlenmesi,
- Erozyon kontrolü,
- Atıkların çevresel ortamlara yayılmasının önlenmesi,
- Estetik bir görünümün elde edilmesi.



Şekil 6.37. Depolama alanlarında gerçekleşen sıvı hareketleri (USEPA, 1989)

Bunun yanında depolama sahası eğimlerinde bütünlüğün sağlanması için örtü tabakasında stabilitenin sağlanması gereklidir. Nihai örtü, bitkisel toprağa yapısal destek sağlamalıdır, güvenlik ve sağlık endişelerini ortadan kaldırmalıdır ve aynı zamanda uzun dönemli performans da sağlamalıdır (LaGrega ve diğ., 1994).

Drenaj tabakası, bitki örtüsünün ve destekleyici toprak tabakanın altındadır. Yağışlar bu tabakanın gözeneklerinden süzülür. Bu tabaka çakıllı malzeme, kum geotekstil ve geonet gibi malzemelerden oluşur. Yağışlar drenaj tabakası yardımıyla suyun depolama alanı üzerinde birikmesi ve basınç oluşturması önlenmiş olur. Su drenaj tabakasından süzülerek depolama alanını çevreleyen kuşaklama alanına doğru hareket eder. Yanal drenaj tabakası ve bitkisel destekleyici tabakaların birlikte fonksiyonu, alttaki bariyer tabakasının ıslanma, kuruma, donma ve erime gibi çevresel streslerden korunması ve sıvının depolama alanı içerisine girmesinin engellenmesidir.

Drenaj tabakası, aynı zamanda borulama ve su toplama sistemlerini de içerebilir. Geotekstil bir filtre üstteki toprağın altında ve drenaj tabakasının üstünde yer alır. Geotekstil filtre, drenaj tabakasına katı madde taşınımını minimize ederek drenaj tabakasının tıkanmasını önler ve iki tabakayı birbirinden ayırır.

Geomembran üzerine yerleştirilen geonet veya geogrid, geomembran tabakanın bütünlüğünün korunmasına hizmet eden koruyucu bir tabakadır. Geonet veya geogrid tabaka gerilme kapasitesini artırarak sahanın yapısal bütünlüğünün korunmasına yardım eder. Geomembran ve kil tabakası depolama alanının çevresel ortamdan izolasyonunu

sağlayan geçirimsizlik tabakasını oluştururlar. Bu tabakanın altında kum ve ince çakıldan oluşan bir gaz toplama tabakası yer alabilir. Bu tabakaya gerekirse gaz toplama boruları da yerleştirilebilir. Gaz toplama sistemi biyolojik olarak ayrışabilen evsel atıkların depolandığı II. Sınıf depolama sahalarındaki uygulamalarda her zaman vardır. Gazlar genellikle anaerobik çürümeden kaynaklanan CO₂ ve CH₄ ve uçucu organikler gibi organik malzemeler içerir. Kuyular, kanallar, pompalar ve borulardan oluşan aktif gaz toplama sistemlerinin olduğu durumlarda ekstra gaz toplama tabakasına ihtiyaç duyulmaz. Alternatif örtü tasarımların seçiminde yardımcı olmak üzere bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu işte genellikle HELP modeli kullanılır (Depolama Performansının Hidrolojik Seçimi) (LaGrega ve diğ., 1994).

Depolama alanlarında nihai örtü tabakası dışında günlük veya ara örtüler de kullanılmaktadır. Ara örtüler güvenlik faktörlerini, drenajı, izolasyonu ve alt tabakaları koruyup güçlendirmek için tasarlanırlar. Tehlikeli atıklar evsel atıklardan farklı bir şekilde böcek ve haşereler için cazip ortamlar oluşturmazlar. Bu nedenle tehlikeli atık depolama alanlarında bu amaçla kullanılan günlük örtü tabakasına ihtiyaç duyulmaz. Ancak rüzgarın etkisiyle atıkların, tozların vb. uçuşmasını engellemek için günlük tabaka uygulaması yapılabilir. Günlük örtü tabakası, istenmeyen reaksiyonların oluşmaması için atıkların dış ortamdan izole olmasına da yardımcı olur; bazı durumlarda patlamalar gibi bazı ani reaksiyonları tamponlayabilir (NGHWL, 2006). Atıklar alanda yerleştirilirken ara örtü kullanımı atık izolasyonu veya atık türlerinin ayrılması açısından etkili olabilir. Benzer şekilde infiltrasyon, buhar ve gaz etkileriyle mücadelede de faydalıdır. Örtü malzemesi, atık içindeki boşlukları doldurarak oturmadan kaynaklanacak problemleri azaltmak, dolayısıyla fiziksel stabilite sağlamak için kullanılabilir. Atık hücrelerinin yağışa maruziyetini azaltmak için de ara örtü kullanılabilir. Ancak bu amaca hizmet edecek ara örtü malzemesinin granüler değil, çok daha ince taneli olması gerekir. İşletme planında günlük veya ara örtü tabakalarının kullanım sıklığı, hangi malzemenin kullanılacağı ve nerede depolanacağı belirtilmelidir. Kışın kullanım şartları, örtü malzemesinin donması durumunda yapılacaklar vb. durumlar işletme planında belirtilmelidir.

6.6.7. Depolama Alanı Stabilitesi

Toprak kayması, toprağın veya atığın bir eğim boyunca kontrolsüz hareketi anlamına gelir. Toprak kayması, bir eğim hatasıdır ve stabilite sorunudur. Yerçekimi kuvveti atığı düşürmeye çalıştıkça, atığın direnç kuvveti buna karşı koymaya çalışır. Eğimin stabilitesi güvenlik faktörü hesaplamasıyla belirlenir (Boutwell, 2002):

Güvenlik Faktörü: Direnç kuvvetleri toplamı / yerçekimi kuvveti

Şev stabilitesi için güvenlik faktörü genellikle 1,3 ve üzerinde seçilmektedir (Boutwell, 2002). Şev eğimi dik olduğunda atığın kayma eğiliminde olacağı göz önünde bulundurularak şev eğiminin en fazla 1/3 olmasına dikkat edilmektedir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002). Depolama alanlarında şev eğimi 1/3 üzerine çıktığında, şev stabilitesi analizi yapılmalıdır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

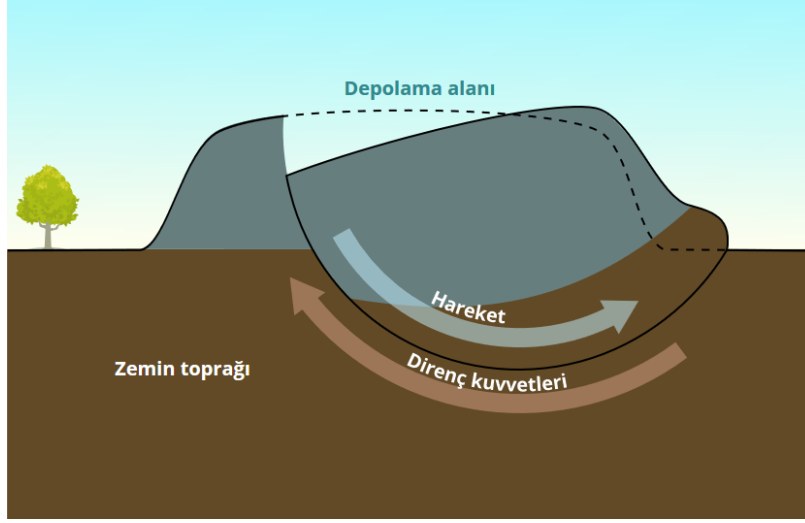
Depolama işleminin stabilite sorunu olan alanlarda yapılmaması, tesisin yanal eğimlerinin yapısal bütünlüğü sürdürecektir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Yapısal bütünlük bozulduğunda geçirimsiz tabakalar zarar görebilir, atıklar tesis dışına çıkabilir, yeraltısuyu kirlenebilir, emisyon problemi ortaya çıkabilir. Gereken iyileştirme veya yeniden inşa etme çalışmalarının maliyeti oldukça yüksektir.

Depolama alanlarının stabilitesi tasarım ve işletmenin en önemli geoteknik işlerinden biridir. Atığın farklılık gösteren karakteri, atık dayanım parametrelerini belirlemeyi güçleştirmekte ve bu da stabilite hesaplamalarında belirsizliklere neden olmaktadır.

En temel açıklamasıyla, bir toprak kayması, eğimin, malzemenin kayma dayanımından daha dik yapılması durumunda ortaya çıkmaktadır. Atığın dayanımı iyi bilinmediği ve genellikle laboratuvarında incelenmediği için, atık, depolama alanına deneyimlere dayanarak yerleştirilmektedir (Boutwell, 2002).

Depolama alanında zaman içinde gerçekleşen bütünsel veya kısmi oturmalar nihai örtü sisteminin tolerans sınırını aşarsa, örtü sistemindeki hata mekanizması ortaya çıkar. Örtü sistemlerinin tolerans sınırını artırmak için geotekstil ve geogrid gibi malzemeler kullanılmaktadır. Örtü sisteminin çevresel koşullarında ortaya çıkan değişiklikler sistemin performansını etkilemektedir. Örneğin, sık sık ıslanma ve kuruma döngüleri bariyer tabakasında bulunan killi toprakta kuruma çatlaklarının oluşmasına neden olur. Donma ve çözülme döngüleri ise drenaj ve örtü tabakalarının performansını değiştirir. Bu nedenle örtü sistemlerinin alttaki tabakaları çevresel stres unsurlarından koruyabilecek kalınlıkta olması gerekmektedir. Erozyon sonucunda örtü sisteminde hatalar ortaya çıkabilir. Örtü sistemi yüzeysel akışı geliştirmek üzere tasarlanır. Sistemin, yüzeysel akıştan kaynaklanacak erozyon kuvvetlerine karşı sağlam durabilmesi gerekir. Örtü sistemini oluşturan malzemelerin de yerinde sabit durması gerekir. Farklı malzemelerin (geotekstil, granüler drenaj malzemeleri, geomembran ve kil bariyeri tabakaları) bağımsız kayma olasılıkları ve bu nedenle örtü sisteminin yapısal bütünlüğünün bozulma potansiyeli göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktördür (LaGrega ve diğ., 1994).

Depolama alanları inşaat, işletme aşamalarında ve depolama alanı kapandıktan yıllar sonra bile sağlamlığını koruyor olmalıdır. Oturmaların olması kaçınılmazdır, ancak burada önemli olan bu oturmalardan sonra atığın sistem içinde kalıp kalmayacağı, eğim boyunca hareketlenmelerin olup olmayacağıdır (LaGrega ve diğ., 1994). Stabilite, genelde şev stabilitesi olarak ifade edilmektedir. Dönme kuvveti dengesi, dönme momenti dengesi veya topuk kuvveti dengesi gibi ifadelerle matematiksel olarak tanımlanmaktadır (LaGrega ve diğ., 1994). Şekil 6.38'de depolama alanlarında olası toprak kaymalarından biri gösterilmektedir.



Şekil 6.38. Depolama alanında olası toprak kayması (LaGrega ve diğ., 1994)

Depolama alanlarında toprak kaymaları, uygun olmayan işletme koşulları veya arakesit probleminin ihmal edilmesi yüzünden geçmişte defalarca yaşanmıştır ve yaşanmaya devam etmektedir. Uygun stabiliteyi sağlamak çeşitli mühendislik analiz yöntemlerinin uygulanmasıyla mümkündür. Olası bütün hata yönelimleri, özellikle arakesitteki olası problemler gözden geçirilmelidir. Atıkların toprak gibi davranmayacağı, bazen çok sert bazen de akışkan gibi davranacakları, sıkıştırılabilirliklerinin değişken olacağı unutulmamalıdır. Analiz yapılırken malzemelerin uygun dayanım özellikleri ve gerilmeye gösterecekleri uyum gözönünde bulundurulmalıdır (Boutwell, 2002).

6.7. Depolama Alanlarının İşletimi

Mevzuata göre (ADD, 2010) atık depolama alanlarına aşağıdaki atıklar kabul edilmemelidir:

- Sıvı atıklar,
- Patlayıcı, aşındırıcı, oksitleyici, yüksek tutuşma ve yanma özelliği gösteren atıklar,
- Enfeksiyon yapıcı olarak tanımlanan, herhangi bir ön işleme tabi tutulmamış sağlık ve veterinerlik kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıklar,
- Atık kabul kriterlerini (Tablo 6.1) sağlamayan diğer atıklar.

Nihai depolama tesislerine atık kabulünde aşağıdaki hususlara dikkat edilir (ADD, 2010):

- Atığa yönelik üç aşamalı kontrol yapılı: Beyan kontrolü, uygunluk testi, doğrulama testleri (sahada kontrol).
- Atığın depolama tesisine kabulünden önce, tesise gönderilmesi planlanan atığın üretildiği kaynaktan yapısını ve tüm özelliklerini gösteren bilgiler toplanarak atığın temel özelliklerinin tanımlanması ve nitelendirilmesi zorunludur. Temel özelliklerin tanımlanması, yapılacak testlerin sıklığını belirler.

- Atığın temel özelliklerinin verilen atık kabul kriterlerini sağladığı uygunluk testleri ile belirlenir.
- Tesise sevk edilen atıkların uygunluk ve temel nitelendirme testleri ile beyan edilen atıklar ile aynı olduğunun teyidi için tesiste doğrulama testleri yapılır.
- İşletmeci, atığın yapısını ve temel özelliklerini gösteren bilgilerin kayıtlarını en az beş yıl boyunca saklamakla yükümlüdür.
- Tesis atık getiren araçların atığın türüne göre Bakanlıkça kayıt altına alındığı veya taşıma lisansına sahip olduğu tesis işletmecisi tarafından kontrol edilir. Taşıma lisansı olmayan veya Bakanlıkça kayıt altına alınmamış araçlar tesise kabul edilmez.
- Atık yükleme-seyir-atık boşaltma işlemlerinde mobil cihazların kullanımının da dahil olduğu Mobil Atık Takip Sistemi (MoTAT) uygulanır.
- İşletmeci depolanan atığın özellikleri ve miktarına ilişkin kayıt tutmakla yükümlüdür. Kayıtlarda atığın kaynağı, miktarı, sevkiyat tarihi, taşıyıcı bilgilerinin bulunması zorunludur.
- Tehlikeli atıklar asidik ve bazik özellikleri dikkate alınarak istenmeyen reaksiyonlara mahal vermeyecek şekilde depolanır ve atıkların depolandığı nokta koordinatlarıyla tanımlanır.

6.7.1. Depolama Alanı İşletme ve Doldurma Planı

Tehlikeli atık taşıyan araçlar, depolama alanına girdikleri andan itibaren işletme planında belirlenmiş prosedürler uygulanmaya başlanmalıdır (NGHWL, 2006). Araçlar alandan çıkarken istenmeden de olsa kirlenmiş malzemelerin (araç lastikleri gibi) alandan çıkması engellenmelidir. Alana giren araçların önce atık incelemesi için belirlenmiş noktada durmaları gerekir. Atık bildirimini dökümanları atığın beşikten mezara izlenmesi açısından çok önemlidir. Atığın belirtilen atıkla aynı olup olmadığını anlamak için örnek alınarak atık doğrulaması yapılır. Doğrulama yapıldıktan sonra atık tesise kabul edilir. Kabul prosedürü tamamlandıktan sonra, atık aktif depolama bölgesine götürülür. Tehlikeli atığın depolama alanında yerleştirilmesi kontrollü ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmelidir (NGHWL, 2006).

Atık yerleştirme prosedürleri, atığın hücre tasarımı, sızıntı suyu kontrol sistemi, örtü sistemi ihtiyaçları gibi hususlar değerlendirilerek oluşturulmalıdır. İşletim planına patlama, yangın, zehirli buhar çıkışı riskini ortadan kaldırmak için uyumsuz atıkların ayrılması dahil edilmelidir. Bunun yanında aktif depolama alanına yüzeysel suların girişinin engellenmesiyle ilgili hususlar da planda yer almalıdır. Atık yerleştirme kayıtlarının aktif doldurma esnasında tutulması gerekmektedir. Bu kayıtlar daha sonra spesifik atıkların alandan çıkarılması gerektiğinde kullanılabilir (NGHWL, 2006). Kayıtlar başka amaçlarla da kullanılabilir.

6.7.2. Depolama Kapasitesi Tahmini

Tehlikeli atıkların depolanması için gereken kapasitenin tahmini, atığı üreten endüstriler, ticari tesisler ve diğer kaynakların atık beyanlarına bağlı olarak gerçekleştirilebilir. Atıkların özellikleri, yakma ve enerji geri kazanım tesislerinin sayısı, atık üretim oranları, tehlikeli atık

depolama alanlarına duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Tehlikeli atıkların kaynağında azaltılması için yapılacak çalışmalar, atık üretim oranlarını etkileyecektir.

Kapasite ihtiyacı için yapılan tahminler genellikle mevcut atık bilgisine ve geçmişteki atık üretim oranlarına bakılarak yapılmaktadır. Ancak endüstriyel atık üretim oranları bilgisi yalnızca beyana bağlı olarak edinildiği için atık tür ve miktarlarıyla ilgili bilgilerin yanlış olması durumunda planlama gerektiği gibi yapılamayacaktır.

6.7.3. Ekipman İhtiyacı

Atığın depolama alanındaki hareketi, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması çeşitli makinelerin kullanılmasını gerektirmektedir: traktörler, dozerler ve sıkıştırma araçları. Bunun yanında greyder, hidrolik ekskavatör, su tankeri ve hizmet araçları gibi çeşitli destek ekipmanı gereklidir (NGHWL, 2006). Dozerler sadece atığı yaymak ve sıkıştırmakla kalmaz aynı zamanda örtü malzemesini yerleştirmek, alanı hazırlamak, yolları inşa etmek için kullanılır. Sıkıştırma araçlarının (kompaktörler) depolama alanlarında kullanımı oldukça yaygındır: büyük miktardaki atıkların yayılması ve sıkıştırılması için kullanılırlar. Oldukça ağırdırlar (25 ton civarında) ve çelik tokmaklı tekerlekleri bulunmaktadır (Şekil 6.39).

Günlük örtü malzemesi kazıyıcılar yardımıyla alandan temin edilebilir. Bu makineler gereken malzemeyi hem kazımakta hem de atığın üzerine yayabilir. Depolama alanlarında kullanılan araçların sayısı ve tipleri, bertaraf edilecek atığın özelliklerine ve miktarına, örtü toprağının cinsine, atığın ve örtü malzemesinin taşınacağı mesafeye, sıkıştırma ihtiyaçlarına, depolama alanı işletim bütçesine, beklenen büyümeye ve beklenen ilave hizmet unsurlarına bağlı olarak değişir.



Şekil 6.39. Sıkıştırma araçları (kompaktörler)

6.7.4. İzleme

Depolama alanlarının izlenmesi alan işletimindeki en önemli unsurlardan biridir. En yaygın olarak izlenen parametreler, sızdırmaz tabaka üzerindeki sızıntı suyu yükü, sızdırmaz tabakadan sızmanın olup olmadığı, yeraltı suyu kalitesi, ortam havası kalitesi, alan çevresindeki toprakta gaz oluşumu, sızıntı suyu kalitesi ve miktarı, deponi gazı içeriği ve miktarı, nihai örtü tabakasının sağlamlığıdır (NGHWL, 2006). Geçirimsiz tabakanın üzerindeki yükün istenen düzeyde kalması için uygun tasarlanmış bir sızıntı suyu toplama sisteminin olması ve bu sistemin kusursuz çalışması gereklidir. Geçirimsiz tabakada oluşan bir sızıntı genellikle bir lizimetre kullanılarak belirlenebilir. Lizimetrelerin sayısı ve yerleşimi depolama alanı tasarımına göre belirlenir.



Şekil 6.40. Lizimetre istasyonu

Lizimetre, toprak kütlesi veya atık kütlesi içinde nem kaybı, sızma vb. nedenlerle gerçekleşen değişiklikleri ölçmeye yarayan tanka verilen isimdir. Alanın aldığı yağış ve toprak/atık içinde kaybedilen sıvı miktarları kaydedilerek, buharlaşan su miktarı hesaplanabilir (Aboukhaled ve diğ. 1982).

Lizimetre, sızıntı suyunun maksimum yükseklikte olacağı maksimum sızdırma potansiyeli olan noktada geçirimsiz membran tabakanın hemen üzerine gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Yeraltı suyunun izlenmesi ise genellikle depolama alanının çevresine kurulan izleme kuyuları yardımıyla yapılmaktadır. Kuyulardan yasal mevzuatta belirtilen belli organik ve inorganik parametrelerin analizi için örnekler alınmaktadır. İşletmecilerin aynı zamanda tesis sınırları içinde metan gazı konsantrasyonunun patlama sınırına (%5) ulaşmadığından emin olmaları gerekmektedir. Gaz izleme problemleri alanın belli yerlerine yerleştirilerek izleme gerçekleştirilir.

Alanın hidrojeolojik özellikleri, toprak şartları, depolama alanı hücrelerinin yerleşimi gibi faktörler problemlerin yerleştirilmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Shammas ve Wang, 2010).

Türk mevzuatına göre (ADD, 2010) tesis işletmecisinin aşağıdaki hususların yerine getirildiğinden emin olması gerekmektedir:

- Atıkların belirlenmiş olan kriterlere uygun şekilde tesise kabul ve bertaraf edilmesi,
- İşletme planına uygun olarak çalıştırılması,
- İnşa edilen depo gazı ve sızıntı suyu yönetim sisteminin işlevini tasarlandığı şekilde yerine getirmesi,
- Nihai depolama tesisine ilişkin lisans şartlarının tam olarak sağlanması,
- İzleme sistemlerinin oluşturulması ve uygulanması.

İşletmeci, aynı zamanda sızıntı sularından ve yağış sularından dolayı tesiste olabilecek olumsuzlukları engellemek amacıyla gerekli önlemleri almak için meteorolojik verileri takip etmekle yükümlüdür. Bu amaçla, Tablo 6.6'da listelenen veriler işletme ve kapatma sonrası süreçte verilen sıklıkta izlenir. Bu veriler sızıntı suyu oluşumuna ilişkin hesaplamalarda da kullanılır (ADD, 2010).

Tablo 6.6. Tesis İşletmecisinin İzlemekle Yükümlü Olduğu Meteorolojik Veriler

| Parametre | İşletme Aşaması İzleme Sıklığı | Kapatma Sonrası Aşama İzleme Sıklığı |
|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| Yağış hacmi (mm/gün, mm/ay) | Günlük | Aylık ortalama |
| Sıcaklık, en düşük, en yüksek ve yerel saatle 14:00'te (°C) | Günlük | Aylık ortalama |
| Rüzgârın yönü ve hızı (m/s) | Günlük | - |
| Buharlaşma (mm/gün, mm/ay) | Günlük | Aylık ortalama |
| Bağıl nem | Günlük | - |

İşletmeci, işletme aşamasında ve kapatma sonrasında, her yıl sahanın topografyası ve depo gövdesine ilişkin durum tespiti yaptırır. Durum tespitinde, atıkların depolandığı yüzey alanı, hacim ve atıkların kompozisyonu, depolama metotları ve depolama süresi, kalan kapasite gibi işletme aşamasında toplanıp saklanması gereken tüm bilgiler de kullanılır. Kapatma sonrasında depo gövdesindeki oturmalar belirlenir (ADD, 2010).

Depolanacak atığın yeraltı suyuna etkilerini belirlemek amacıyla ölçümler yeraltı suyunun menbasında en az bir noktada ve mansabında en az iki noktada yapılır. Depolama tesisi işletmeye girmeden önce gelecekteki alınacak numunelere referans değerler oluşturması amacıyla en az üç noktada örnekleme yapılır. Numune alma noktaları çevresel etki değerlendirmesi sürecinde belirlenir (ADD, 2010).

Yeraltı suyu seviyesi her altı ayda bir ölçülür. Özel hidrojeolojik durumlar, daha sık aralıklarla ölçüm alınmasını gerektirebilir. Tesis işletmeye alındıktan veya kapatıldıktan sonra yeraltı

suyu kalitesinde önemli bir değişiklik görülebilir. Bu olumsuzluğun giderilmesi veya tesisten kaynaklanmadığının tespit edilebilmesi için tesis faaliyete alınmadan önce ilk alarm seviyesi tespit edilir. Alarm seviyesinin aşılp aşılmadığını kontrol etmek amacıyla yapılacak gözlemler, her kuyu için belirlenmiş kontrol kurallarını ve su seviyelerini gösteren bir çizelgeye işlenir. Çizelge, kapatma sonrası izleme süreci sona erinceye kadar saklanır (ADD, 2010).

Sızıntı suyundan ve mevcut olması halinde yüzeysel sulardan numune alma işlemleri temsil edici noktalarda yapılır. Numune alma sıklığı işletme planında belirlenir. Numune alma sıklıkları, sızıntı suyu niteliği ve ölçülecek parametreler lisans belgesinde bulunmak zorundadır. Yüzeysel suların izlenmesi biri menbada diğeri mansapta olmak şartıyla ve akıntı yönünü de dikkate alarak en az iki ayrı noktada yapılır.

Depo gazı ve sızıntı suyunun kontrolü ve izlenmesi için Tablo 6.7'de listelenen analizler verilen sıklıkta yapılır.

Tablo 6.7. Depo Gazı ve Sızıntı Suyunun Kontrolünde İzlenecek Parametreler

| Parametre | İşletme Aşaması | Kapatma sonrası Bakım Aşaması |
|--|-----------------|-------------------------------|
| Sızıntı suyu hacmi | Aylık | Her altı ayda bir |
| Sızıntı suyunun kompozisyonu | Üç ayda bir | |
| CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S, O ₂ ve H ₂ emisyonları | Aylık | Her altı ayda bir |

Kontrol ve izleme işlemleri sırasında çevreyi olumsuz etkileyecek herhangi bir durumun tespiti halinde, işletmeci, olumsuz etkilerin giderilmesine yönelik önlemlerden doğacak masrafları karşılamakla yükümlüdür. Kontrol ve izlemede analitik işlemlerin ve/veya analizin kalite kontrolü, yetkili laboratuvarlar tarafından yapılır. Tehlikeli atık nihai depolama tesislerinin bulunduğu alanlar, depo hizmet süresini doldurduktan sonra en az otuz yıl süre ile izlenir ve denetlenir. Lisans koşullarında izleme süresi belirtilir (ADD, 2010).

6.8. Depolama Alanlarının Kapatılması ve Kapatma Sonrası Bakım

Depolama alanları işletmeye kapandıktan sonra 30 yıl boyunca aşağıdaki hususların izlenmesi ve bakımının yapılması gerekmektedir:

- Nihai örtü tabakasının bütünlüğü ve etkinliğinin korunması,
- Sızıntı suyu toplama sisteminin işletilmesi,
- Yeraltı suyunun izlenmesi,
- Gaz yayılımının izlenmesi,

Depolama alanına atık kabulü yapılmadan önce detaylı bir kapatma sonrası bakım raporu hazırlanmalıdır. Raporda, kapatma sonrası bakım sürecinde oluşacak masrafların kim tarafından karşılanacağı, bunun nasıl garanti altına alındığı, yeterli finansmanın sağlanıp sağlanamayacağı vb. hususlar yer almalıdır.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik'e göre (ADD, 2010) kapatma ve kapatma sonrası bakım süreci aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir:

- Nihai depolama tesisinin tamamen ya da kısmen kapatılması; lisansta belirtilen koşullar gerçekleştiğinde veya işletmecinin talebi ve Bakanlığın onayıyla veya Bakanlığın gerekçeli kararıyla gerçekleştirilir.
- Bakanlık tarafından tesiste nihai saha denetiminin yapılması ve işletmeci tarafından sunulan bütün raporların değerlendirilmesi sonucu işletmeciye kapatma için onay verilir. Bu durum hiçbir şekilde işletmecinin lisansta belirtilen sorumluluklarını değiştirmez, tesis kapatma işlemleri tamamlanıncaya kadar bu Yönetmelik hükümlerinden işletmeci sorumludur.
- Tesis tamamen kapatıldıktan sonra, lisansta belirtilen süre boyunca kapatma sonrası sahanın izlenmesi, bakımı ve kontrolünden tesis sahibi sorumludur.
- Kapatma sonrası yapılan izleme ve kontrol işlemleri sırasında ortaya çıkabilecek olumsuz çevresel etkiler konusunda tesis sahibi Bakanlığa bilgilendirir. Tesis sahibi Bakanlığın belirttiği önlemleri almakla ve bundan doğan maliyeti karşılamakla sorumludur.
- Lisansta belirtilen süre boyunca işletmeci tesiste oluşan gaz ve sızıntı suyunun analizinden ve saha çevresindeki yeraltı suyu rejiminin ve kalitesinin izlenmesinden sorumludur.

Özet ve Değerlendirme



Depolama seçeneği barındırdığı çevresel riskler nedeniyle her zaman tercih edilen bir yöntem olmasa da "nihai bertaraf yöntemi" olarak ihtiyaç duyulan bir yöntemdir. Düzenli depolama tesisleri evsel veya tehlikeli atıkların kontrollü olarak kabul edildiği ve depolama yapıldıktan sonra oluşan sürecin kontrol altına alındığı mühendislik tasarımı yapılmış alanlar olarak tanımlanabilir.

Güvenli depolama alanları tasarımında, hava emisyonlarını ve yağış infiltrasyonunu minimize edecek örtü sisteminin oluşturulması ve sızıntı suyunu maksimum şekilde toplayacak ve kirlenici taşınımını minimize edecek taban sisteminin oluşturulması önemlidir. Tehlikeli atık depolama alanlarında oluşan sızıntı sularının yüksek seviyelerde tuz, halojenli organik bileşikler, iz metaller ve organik bileşikler içerdiği bilinmektedir.

Yasal mevzuata göre tehlikeli atık düzenli depolama tesis sınırlarının yerleşim birimlerine uzaklığı en az bir kilometre olmak zorundadır. Depolama alanlarında en yaygın olarak izlenen parametreler, sızdırmaz tabaka üzerindeki sızıntı suyu yükü, sızdırmaz tabakadan sızmanın olup olmadığı, yeraltısu kalitesi, ortam havası kalitesi, alan çevresindeki toprakta gaz oluşumu, sızıntı suyu kalitesi ve miktarı, deponi gazı içeriği ve miktarı, nihai örtü tabakasının sağlamlığıdır.

Kaynaklar

- AB, 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste Official Journal of the European Union 16/07/1999.
- Aboukhaled, A., Alfaro, A., Smith, M., 1982. Lysimeters. Food and Agr. Org. of The United Nations, FAO, Irr. and Drain. Paper No:39, Rome, 68 pp.
- ADD, 2010. ATIKLARIN DÜZENLİ DEPOLANMASINA DAİR YÖNETMELİK. Resmi Gazete Tarih/ Sayı: 26. 03. 2010/27533
- Boutwell, G.P., 2002. Slides happen, Landfill Stability Analysis. The 2002 Aleksandar Vesic Memorial Lecture, North Caroline State University, USA., 18 pages.
- Bramlett, J., Furman, C., Johnson, A., Nelson, H., 1985. Composition of Leachates from Actual Hazardous Waste Sites. Office of Emergency and Remedial Response, United States Environmental Protection Agency, 68-03-3113, Work Assignment 39-7.
- Britannica, 2017. Secure Landfill, <https://www.britannica.com/topic/secure-landfill>, Erişim tarihi: 7.12.2017.
- CCME, 2006. Canadian Council of Ministers of the Environment, National Guidelines for Hazardous Waste Landfills, PN 1365, ISBN 13 978-896997-61-2, 108 p.
- Christensen, T.H., 2011. Solid Waste Technology & Management, Volume: 1,. John Wiley and Sons Ltd., Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-1-405-17517-3, 1022 p.
- Donatello, S., Tyrer, M., Cheeseman, C.R., 2010. EU landfill waste acceptance criteria and EU Hazardous Waste Directive compliance testing of incinerated sewage sludge ash. Waste Management 30, 63-71.
- EPA, 2000. Landfill Manuals: Landfill Site Design, Environmental Protection Agency, Ireland, 154 p.
- Gade, B., Pollmann, H., Heindl, A., Westermann, H., 2001. Long-term behaviour and mineralogical reactions in hazardous waste landfills: A comparison of observation and geochemical modelling. Environ Geol 40, 248-256.
- Gibbons, R.D., Dolan, D.G., May, H., O'leary, K., O'Hara, R., 1999. Statistical Comparison of Leachate from Hazardous, Codisposal, and Municipal Solid Waste Landfills. Groundwater Monitoring & Remediation GWMR, 57-72.
- LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C., 1994. Hazardous Waste Management, McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1146 p., pp. 785-797.
- Lee, G.F., Jones, R.A., 1991. Landfills and groundwater quality. Ground Water, Vol.29(4), pp. 482-486.
- Liu, D., Liptak, B.G., 1999. Environmental Engineers' Handbook. CRC Press LLC, 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, FL ISBN: 0-8493-2157-3.
- NGHWL, 2006. National Guidelines for Hazardous Waste Landfills. Canadian Council of Ministers of the Environment, 108 p. PN1365 ISBN 10 1-896997-61-9.
- Oh, C.H., 2001. Hazardous and Radioactive Waste Treatment Technologies Handbook, ISBN 0-8493-9586-0, CRC Press LLC, U.S.A, 732 p.
- Pichtel, J., 2014. Waste Management Practices: Municipal, Hazardous and Industrial, Second Edition. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Raga, R., Cossu, R., Lagerkvist, A., 2011. Landfilling: Planning, Siting and Design. Solid Waste Technology & Management, Solid Waste and Emergency Response (5305W), EPA530-K-05-013, Edited by Thomas H. Christensen, John Wiley and Sons, 2011 Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-1-405-17517-3 Volume 1, 1022 pages.
- Rowe, R.W., 2011. Systems engineering: the design and operation of municipal solid waste landfills to minimize contamination of groundwater, Geosynthetics International, 2011, 18, No. 6.
- Salvato, J.A., Nemerow, N., Agardy, F., 2003. Environmental Engineering / 5th ed.; ISBN 0-471-41813-7, John Wiley & Sons, Inc, U.S.A., 1568 p. .

- Shah, K.L., 2000. Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J. .
- Shamas, N.K., Wang, L.K., 2010. Hazardous Waste Landfill. Handbook of advanced industrial and hazardous wastes treatment / edited by Lawrence K. Wang, Yung-Tse Hung, Nazih K. Shamas ISBN 978-1-4200-7219-8, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Shen, T.T., 1981. Control Techniques for Gas Emissions from Hazardous Waste Landfills. Journal of the Air Pollution Control Association 31, 132-135.
- Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., Touhill, C.J., 1980. Management of Hazardous Waste Leachate. Municipal Environmental Research Laborator, United States Environmental Protection Agency, Contract no: 68-03-2766, Ohio.
- SKKY, 2004. SU KİRLİLİĞİ KONTROLÜ YÖNETMELİĞİ. Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmi Gazete Sayısı: 25687.
- TBB, 2014. Düzenli Depolama Sahalarının Tasarımı, Yer Seçimi ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı. Türkiye Belediyeler Birliği Atık Komisyonu 12 s.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill, Boston, Mass.
- Tchobanoglous, G., Kreith, F., 2002. Handbook of Solid Waste Management. McGraw Hill Professional, 950 pages, USA.
- USEPA, 1989. Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction, and Closure, Seminar Publication, EPA162514-89IO22, 132p.
- USEPA, 2011a. Environmental Protection Agency, Code of Federal Regulations, Title 40, Part 258 Subtitle D, Criteria for Municipal Solid Waste Landfills. Volume: 26, Original Date: 2011-07-01.
- USEPA, 2011b. Geosynthetic Clay Liners Used in Municipal Solid Waste Landfills, EPA530-F-97-002, 8p.
- Vesilind, P.A., Worrell, W., Reinhart, D.R., 2002. Solid Waste Engineering. Brooks/Cole, Pacific Grove, Calif.
- Wang, L.K., Hung, Y.T., Shamas, N.K., 2010. Handbook Of Advanced Industrial and Hazardous Wastes Treatment, CRC Press by Taylor & Francis Group, U.S.A, 1396 p. .

Konu Sonu Soruları ve Çözüm Setleri

1. Tehlikeli atık depolama alanlarına neden ihtiyaç duyulmaktadır?

Yanıt

Tehlikeli atıkların yönetiminde yaygın kullanılan tüm uygulamalar sonucunda mutlaka bir kalıntı tehlikeli atık oluşmaktadır. Bazı tehlikeli atıkların, özellikleri dolayısıyla, ne maddesel geri kazanımları ne de enerji kazanımı amacıyla yakılmaları mümkün olmamaktadır. Yakma yoluyla veya diğer kimyasal veya biyolojik yöntemlerle parçalanamayan tehlikeli atıklar için uygulanabilecek son seçenek "depolama" olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. Tehlikeli atık depolama alanlarının tasarımında dikkat edilen en önemli iki unsur nedir?

Yanıt

I. Sınıf depolama alanları tasarımında dikkat edilen temel unsurlar: 1) Hava emisyonlarını ve yağış infiltrasyonunu minimize edecek örtü sisteminin oluşturulması, 2) Sızıntı suyunu maksimum şekilde toplayacak ve kirlenici taşınımını minimize edecek taban sisteminin oluşturulması.

3. Tehlikeli atık depolama alanlarında sızıntı suyu oluşumu neden kaynaklanır?

Yanıt

Tehlikeli atıkların depolandığı alanlarda sızıntı suyu oluşumu, alana giren suyla depolanan tehlikeli atıklar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Sızıntı suyu, yağışlar yoluyla atık içinden geçen suyu ve depolama alanı içerisindeki atıkların alana ulaşan sıvılarla veya birbirleriyle reaksiyonları yoluyla oluşan sıvıyı temsil etmektedir.

4. Tehlikeli atık depolama alanlarında gaz oluşumunu engellemek için neler yapılmalıdır?

Yanıt

Mevzuat gereği tehlikeli atıkların herhangi bir ön işlem görmeden depolama alanlarına kabul edilmemesi gerekir. Tehlikeli atık depolama alanlarına birbirleriyle reaksiyona girmeyecek ve yönetilebilmeleri için başka seçeneğin bulunmadığı inorganik ve/veya kararlı atıkların kabul edilmesi gerekmektedir. Alana kabul edilen atıkların farklı hücrelere yerleştirilmeleri, yağışlara maruz kalma durumlarını en düşük düzeyde tutacak uygun bir saha işletimi gerekmektedir.

5. İyi tasarlanmasına rağmen taban sisteminde ne tür hatalar karşımıza çıkabilir?

Yanıt

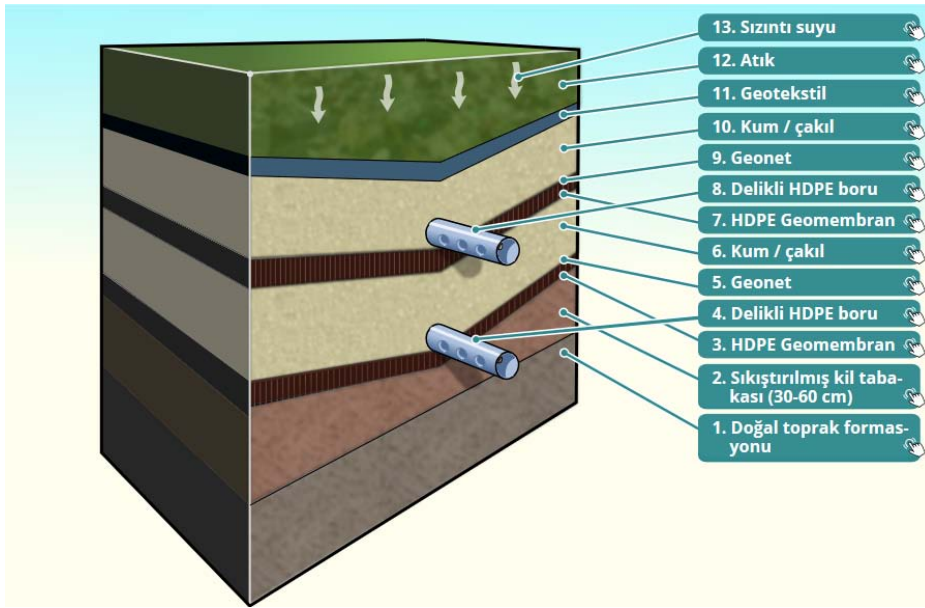
- Uygun olmayan işletme koşulları, depolama alanına tasarlanandan fazla miktarda sıvı girişine izin verilmesi, sızıntı suyu toplama sisteminin aşırı yüklenmesine ve

geomembran üzerine tasarlanandan yüksek bir hidrolik yük binmesine neden olur.

- Döşeme ve işletim esnasında, taban sistemini oluşturan geosentetik tabakalarda yırtıklar vb. fiziksel tahribat oluşması, taban sisteminin görevini yapamamasına neden olur.
- Sızıntı suyu toplama sisteminin tıkanması, geomembrana gelen yükün artmasına ve sızmaların olmasına neden olabilir.
- İyi tasarlanmış ancak malzeme seçimi uygun yapılmamış bir taban sisteminde, solvent vb. kimyasal etkiler geomembrana hasar verebilir, görevini yapmamasına neden olabilir.
- Geosentetik birleşimlerinin uygun yapılmamış olması, taban sisteminin çalışmasına zarar verir.

6. Bir tehlikeli atık depolama alanı taban sisteminin en kesitini çiziniz.

Yanıt



7. Geomembran seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörler nelerdir?

Yanıt

Dikkat edilmesi gereken faktörler aşağıdaki gibidir:

- Tehlikeli atık, sızıntı suyu ve deponi gazlarıyla olan uyum,
- Hava şartlarına gösterdiği direnç (örn. ultraviyole radyasyona vb.),
- Fiziksel tahribata gösterdiği direnç,
- Kemirgen, böcek ve mikroplara gösterdiği direnç,
- Kimyasal yaşlanmaya gösterdiği direnç,
- İşletme sıcaklıklarında belli özelliklerini koruyabilmesi,
- Bağlantı ve dikiş yapabilmenin kolaylığı ve bağlantı yerlerinin etkinliği,

- İmalat ve döşeme için gereken kalite güvence ve kalite kontrol gereklilikleri,
- Projelendirilen hizmet ömrü.

8. Bir depolama alanı taban sisteminde kullanılabilir geosentetik malzemeler ve kullanım amaçları nelerdir?

Yanıt

- Geomembranlar: Bariyer sistem
- Kompozit (geomembran-kil) sistemler: Bariyer sistem
- Geotekstilürünler: Filtrasyon
- Geonet, geogrid ürünler: Koruma, yapısal bütünlük
- Geotekstil-kil sistemler: Bariyer sistem

9. Depolama alanları taban sistemlerinde neden kompozit ürünlerin tercih edildiğini açıklayınız.

Yanıt

Taban sisteminde kullanılabilir her malzemenin farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle, kompozit bir taban sistemi oluşturularak iki taban malzemesi bir arada kullanılmaktadır. Bu kompozit sistemler, belli kriterleri sağlayacak şekilde, genellikle, geomembran ve sıkıştırılmış kil tabakasından oluşturulmaktadır. Bir malzemenin avantajı, diğer malzemenin dezavantajını baskılamak için kullanılmaktadır. Örneğin, geomembran ve sıkıştırılmış kil tabakasından oluşan kompozit bir taban sistemi, hem organik kirleticiler, hem de ağır metal ve tuzlara karşı iyi bir bariyer işlevi görür. İki malzemenin aynı anda kullanılması, sızma oranını en aza indirir.

10. Killi toprakların hidrolik iletkenliği neden düşüktür?

Yanıt

Killi toprakların hidrolik iletkenliği kristal yapıları nedeniyle düşüktür. Kil tabakalarının üzerinde bulunan negatif yük fazlalığı nedeniyle, killerin su tutma kapasitesi yüksektir. Kil partikülleri arasında bulunan gözenekler su ve havanın hızla hareket edemeyeceği kadar küçük olduğu için, killerin hidrolik iletkenliği çok düşüktür.

11. Tehlikeli atık depolama alanları için uygun bir örtü sistemi çiziniz.

Yanıt

Aşağıdaki şekilde tehlikeli atık depolama alanlarına uygun bir örtü sistemi görülmektedir.



12. Tehlikeli atık depolama alanlarında örtü sistemi hangi amaçlarla oluşturulmaktadır?

Yanıt

Örtü sistemleri aşağıdaki amaçlara hizmet etmektedir:

- Sızıntı suyu oluşumunu azaltmak için depolama sahasına su girişinin kontrolü,
- Çevresel rahatsızlığa neden olabilecek hayvan ve vektörlerin kontrolü,
- İnsanların atıkla doğrudan irtibatının önlenmesi,
- Hava kalitesini olumsuz etkileyecek gaz hareketlerinin önlenmesi,
- Yangın potansiyelinin azaltılması ve depolama bileşenlerinin zararlarının önlenmesi,
- Depolama alanından yüzeysel suya kirletici girişlerinin önlenmesi,
- Erozyon kontrolü,
- Atıkların çevresel ortamlara yayılmasının önlenmesi,
- Estetik bir görünüm.

13. Depolama alanlarıyla ilgili yasal mevzuat stabilite sorunu için nasıl bir önlem almaktadır?

Yanıt

Türk Mevzuatı depolama alanlarındaki stabilite sorunu için aşağıdaki hususu şart koşmaktadır:

"Atıkların depolama çalışmaları sırasında, şev stabilitesini ve araçlarla makinelerin kolayca manevra yapabilmelerini sağlamak için lot şev eğimi ve atık hücresinin şev eğimi azami 1/3 olacak şekilde yapılır."

14. Depolama alanlarının işletiminde hangi parametreler izlenmelidir?

Yanıt

En yaygın olarak izlenen parametreler, sızdırmaz tabaka üzerindeki sızıntı suyu yükü, sızdırmaz tabakadan sızmanın olup olmadığı, yeraltısuyu kalitesi, ortam havası kalitesi, alan çevresindeki toprakta gaz oluşumu, sızıntı suyu kalitesi ve miktarı, deponi gazı içeriği ve miktarı, nihai örtü tabakasının sağlamlığıdır.

Test

1. Aşağıdakilerden hangisi ulusal ve uluslararası mevzuatta tehlikeli atık depolama alanları için kullanılan ifadelerden biridir?

- a) 2. Sınıf depolama alanı
- b) RCRA-Altbaşlık C depolama alanı
- c) RCRA-Altbaşlık D depolama alanı
- d) 3. Sınıf depolama alanı

2. Aşağıdakilerden hangisi depolama alanları için doğrudur?

- a) Evsel atıkların depolandığı alanlar “güvenli (I. Sınıf) depolama alanı” olarak bilinirler.
- b) Tehlikeli atık depolama alanlarında oluşan metan gazının enerjiye dönüştürülmesi yaygın bir uygulamadır.
- c) Yakma fırını külü, asbest gibi bağımsız atık bileşenleri için oluşturulan depolama alanları “Mono-deponi” olarak adlandırılmaktadır.
- d) Tehlikeli atıkların depolandığı alanlar “sıhhi (II. Sınıf) depolama alanı” olarak bilinirler.

3. Tehlikeli atık depolama alanlarına atık kabulüyle ilgili aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

- a) Mevzuata göre atık içerisindeki kirlenici seviyelerinin mg/l cinsinden belirlenebilmesi için eluat testi (TS EN 12457) yapılmalıdır.
- b) Tehlikeli atıkların, tehlikeli atık depolama alanlarına kabul edilebilmesi için herhangi bir sınır değer yoktur. Evsel atık depolama alanına kabul edilmeyen atıklar tehlikeli atık depolama alanına kabul edilebilir.
- c) Tehlikeli atık depolama alanlarına atık kabulü yapılabilmesi için atıkların %50 katı madde içeriğine gelene kadar susuzlaştırılmaları gerekmektedir.
- d) Asbest içerikli atıkların depolama alanlarına kabul edilmesi uygun değildir.

4. Aşağıdakilerden hangisi depolama alanları için yer seçimi yapılırken dikkat edilecek hususlar arasında değildir?

- a) Nihai depolama tesisinin hava ulaşım güvenliğini etkileyip etkilemediği
- b) Bölgede bulunan yeraltı ve yüzeysel su kaynakları ve koruma havzalarının durumu, yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu akış yönleri
- c) Kamu kurumlarına ve idari birimlere uzaklığı
- d) Hâkim rüzgâr yönü ve yağış durumu

5. Killerle ilgili aşağıdaki özelliklerden hangisi değiştirilebilir bir özelliktir?

- a) Yoğunluğu
- b) Tane boyutu
- c) Kompozisyonu
- d) Tabakalı yapıları

6. Aşağıdaki maddelerden hangisi geomembran üretiminde kullanılan hammaddeler arasında yer almaz?

- a) Polimer reçineler
- b) Yağ
- c) Karbon siyahı
- d) Geotekstil

7. Aşağıdaki malzemelerden hangisi depolama alanlarında bariyer görevi görmez?

- a) Geonet
- b) Kil
- c) Geomembran
- d) Kompozit tabakalar

8. Tehlikeli atık depolama alanı taban sistemleriyle ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- a) Tehlikeli Atık nihai depolama tesisi tabanının geçirgenlik değeri $\leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/sn düzeyinde olmalıdır.
- b) Depo tabanının boyuna eğimi en fazla % 1 olabilir.
- c) Jeolojik geçirimsizlik tabakası yapay geçirimsizlik malzemesi ile oluşturulur.
- d) Sızıntı suyu toplama tabakasının iki kat olarak inşa edilmesi gereklidir.

9. Tehlikeli atık depolama alanlarında kullanılan örtü sistemlerinin işlevleriyle ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- a) Kapalı bir depolama alanı hücrelerine sıvı girişini engeller.
- b) Yüzeysel drenajı engeller.
- c) Erozyona ve aşınmaya karşı koyar.
- d) Esnektir; böylelikle örtü sisteminin bütünlüğü bozulmamış olur.

10. Aşağıdaki parametrelerden hangisi depolama alanlarının izlenmesi sürecinde ölçülmez?

- a) Sızdırmaz tabaka üzerindeki sızıntı suyu yükü
- b) Yeraltısuyu kalitesi
- c) Ortam havası kalitesi
- d) Örtü tabakasındaki bitki çeşitliliği