

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA
TABAN GEÇİRİMSİZLİĞİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

İnş.Yük.Müh. Mehmet Hayrullah AKYILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Lütfi SALTABAŞ

AĞUSTOS-2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA
TABAN GEÇİRİMSİZLİĞİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

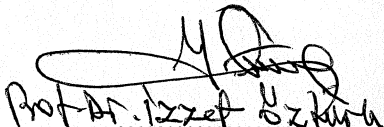
DOKTORA TEZİ

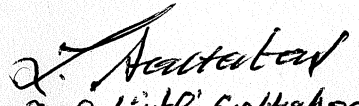
İnş.Yük.Müh. Mehmet Hayrullah AKYILDIZ

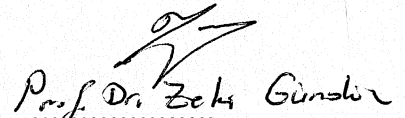
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

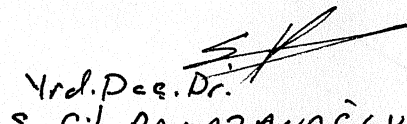
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

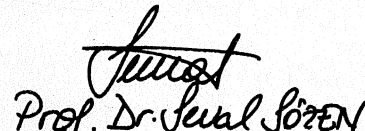
Bu tez 22/08/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. İzzet ÖZKAN
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Hüseyin SAİTOĞLU
Üye


Prof. Dr. Zeki GÜNŞEN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Şefik RAMAZANOĞLU
Üye


Prof. Dr. Servet SÖZEN
Üye

TEŞEKKÜR

Katı atık düzenli depolama alanlarında geçirimsizliğe etki eden parametrelerin araŐtırılmasını konu alan bu çalıŐmayı bana önererek, gerek yüksek lisans gerekse doktora öğrenimim süresince ve uzunca süren doktora tezi maratonumda beni sürekli destekleyen sayın Prof. Dr. Hasan ARMAN'a Őükran ve saygılarımı sunarım.

Bana mesleğimi sevdiren ve yetişmemde emeği geçen başta bölüm başkanım Prof. Lütfi SALTABAŞ'ı ve diğer tüm öğretim elemanlarını saygıyla anar kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Ayrıca tezimi hazırlamamda derin geoteknik bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen sayın Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ'e, evre mühendisliği ile ilgili konularda bana yardımcı olan evre mühendisliği bölüm başkanı sayın Prof. Dr. Recep İLERİ'ye, sayın Doç. Dr. Şefik RAMAZANOĞLU'na, tez savunma jürimde bulunarak eksikliklerimi gidermeme yardımcı olan sayın Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK ve sayın Prof. Dr. Seval SÖZEN hocalarıma ve tüm arkadaşlarım ile aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Tezin Anlam ve Önemi.....	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	3

BÖLÜM 2. KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ VE BİLEŞENLERİ

2.1. Düzenli Depolama Tesislerinin Atık Yönetimindeki Önemi ve sınıflandırılması.....	5
2.1.1. Atık Yönetimi ile İlgili Yaklaşımlar	5
2.1.2. Sürdürülebilir Atık Yönetimi	5
2.1.3. Düzenli Depolama.....	7
2.1.4. Düzenli Depolama Direktifi	7
2.1.5. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY).....	9
2.1.6. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (DDY).....	9
2.1.7. Düzenli Depolama Tesislerinin Sınıflandırılması	10
2.2. Türkiye’de Düzenli Atık Depolama Uygulamalarının Durumu	11
2.2.1. Türkiye’nin AB ile Uyumlu Katı Atık Yönetimi Politikası.....	11
2.3. Düzenli Depolama Tesisi Bileşenleri	16
2.3.1. Taban Kaplaması ve Sızıntı Suyu Drenaj Sistemi	16
2.3.1.1. Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri	16
2.3.1.2. Kilden Geçirimsiz Taban Tabakası Oluşturulması	18

2.3.1.3. Geomembran ve Uygulaması.....	19
2.3.1.4. Geotekstilin İşlevi	20
2.3.1.5. Drenaj Tabakası	21
2.3.1.6. Sızıntı Suyu Drenaj Borularının Yerleştirilmesi.....	22
2.3.1.7. Boru Seçimi Kriterleri	23
2.3.1.8. Geçirimsiz Zeminde Depolama	24
2.3.2. Nihai Örtü Tabakası ve Ara Tabakalar	25
2.3.2.1. Nihai Örtü Tabakası (NÖT).....	25
2.3.2.2. Sahada Atık Depolama Adımları	27
2.3.2.3. Günlük Örtü Teşkili	28
2.3.3. Depo Gazı Toplama ve Tahliye/EnerjiGeri Kazanım Sistemleri..	29
2.3.3.1. Gaz Toplama Sistemleri.....	29
2.4. Gelişmiş Ülkelerde Uygulanan Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri .	32
2.5. Konu ile İlgili Literatür Taraması.....	37

BÖLÜM 3. DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSLERİNDE KULLANILAN SIZDIRMAZ TABAN MALZEMELERİ

3.1. Doğal Kil Malzeme.....	42
3.1.1. Kil ve Kil Minarelinin Tanımı	42
3.1.2. Killerle İlgili Genel Bilgiler	43
3.1.3. Kil Minerallerinin Özellikleri.....	44
3.1.4. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması.....	45
3.1.5. Temel Kil Mineralleri Gruplarının Kökenleri	46
3.1.5.1. Kaolen Grubu Kil Mineralleri.....	46
3.1.5.2. İllit Grubu Kil Mineralleri	47
3.1.5.3. Montmorillonit (Smektit) Grubu Kil Mineralleri	48
3.1.5.4. Karışık Tabakalılar	48
3.1.5.5. Klorit Grubu Kil Mineralleri.....	48
3.1.5.6. Sepiyolit ve Atapuljit Grubu Kil Mineralleri.....	49
3.1.5.7. Glakonit Grubu Kil Mineralleri	50
3.1.6. Kil Minerallerinin Oluşum Ortamları	50
3.1.7. Kil Minerallerinin Şekli ve Genel Yapıları	52
3.1.8. Kil Minerallerinin Mineralojik Yapıları.....	53

3.1.9. Killerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri	56
3.1.9.1. Spesifik Yüzey Alanı	56
3.1.9.2. Elektriksel İletkenlik	57
3.1.9.3. İyon Değişim Kapasitesi	57
3.1.9.4. pH Değeri	57
3.1.9.5. Ağır Metaller	58
3.1.9.6. Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)	58
3.1.9.7. Anyon Değişim Kapasitesi (ADK)	59
3.2. Geosentetikler	62
3.2.1. Geosentetik Türleri ve Gelişimi	62
3.2.1.1. Geosentetiklerin İşlevleri	74
3.2.1.2. Geosentetiklerin Özellikleri	75
3.2.2. Geosentetik Uygulamaları	82
3.2.2.1. Geosentetik Kullanımının Gerekliliği, Teknik Üstünlük, Proje Şartları Uygunluğu Ön Değerlendirmesi	84
3.2.2.2. Geosentetik Seçimi	84
3.2.2.3. Ekonomik Değerlendirme	85
3.2.3. Geosentetiklerin Atık Depolama Tesislerinde Kullanımı	86
3.2.4. Geosentetik Kaplama Sistemlerinde Kayma, Çekme ile Yırtılma Tahkikleri ve Ankraj	87
3.2.5. Atık Depolama Uygulamalarında Geomembran Seçimi	92
3.2.6. Geçirimsizliğe Etki Eden Faktörler	93
3.2.6.1. Sızıntı Sularının İçerdiği Zararlı ve Kimyasal Maddeler ..	94
3.2.6.2. Kilin Özelliği	95
3.2.6.3. Sıkıştırmanın Özelliği	96
3.2.6.4. Nem Oranı	97
3.2.6.5. Porozite	97
3.2.6.6. Geçirimsizlik ile İlgili Kaynaklar	97
3.2.6.7. Geçirimsizlik Üzerine Etkiler	98
3.3. Düzenli Depolama Tesisi Tabanı Tasarımı	99
3.3.1. Depo Tabanı Kaplaması	100
3.3.2. Sızıntı Suyu Toplama ve Biriktirme	103
3.3.3. Sızıntı Suyu Toplama Sistemi Tasarımı	105

3.3.4. Depo Taban Kaplamasından Sızma Tahkiki	106
3.3.5. Sıkıştırılmış Kil Taban Kaplamasından Sızma	107
3.3.6. Geomembran Taban Kaplamasından Sızma	108
3.3.7. Kompozit Taban Kaplamasından Sızma	108

BÖLÜM 4. MATERYAL, METOD VE DENEYSEL ÇALIŞMA PLANI

4.1. Materyal ve Metod.....	112
4.2. Deneysel Çalışma	115
4.2.1. Araştırmanın Amacı	115
4.2.2. Araştırmanın Yöntemi.....	116
4.2.3. Kil Temini, Yerleştirilmesi ve Sıkıştırılması	116
4.2.4. Kilin Üzerine Katı Atık Sızıntı Suyunun Boşaltılması	120
4.2.5. Permeabilite Deneyleri	121

BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

BÖLÜM 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuç	140
6.2. Öneriler	141

KAYNAKLAR	143
-----------------	-----

EKLER.....	151
------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	181
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Depo Taban Alanı
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ATM	: Atık Toplama Merkezi
ADK	: Anyon Değişim Kapasitesi
AOS	: Görünen Gözenek Boyutu (Apperent Opening Size)
CaCl ₂	: Kalsiyum Klorür
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
CL	: Düşük Plastisiteli Kil
ÇOB	: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı
D	: Tane Boyutu
DD	: Düzenli Depolama
DDY	: Düzenli Depolama Yönetmeliği
DDT	: Düzenli Depolama Tesisi
EKY	: Entegre Katı Atık Yönetmeliği
EOS	: Karakteristik Gözenek Boyutu (Efective Opening Size)
EPS	: Genleştirilmiş Polistren
GCL	: Geosentetik Kil Kaplamalar
G _n	: Malzemenin Havadaki Kuru Ağırlığı
GKK	: Geosentetik Kil Kaplama
GS	: Güvenlik Sayıları

Q	: Suyun Debisi
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
I _p	: Plastisite Indisi
İ	: Hidrolik Eğim
K	: Darcy Permeabilite Katsayısı
KAKY	: Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
KCl	: Potasyum Klorür
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
KKA	: Kentsel Katı Atık
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
MGT	: Maddesel Geri Kazanma Tesisi
NaCl	: Sodyum Klorür
NH ₄ Cl	: Amonyum Klorür
NÖT	: Nihai Örtü Tabakası
PA	: Poliyamid/Naylon
PE	: Polietilen
PET	: Poliyester
POA	: Açık Alan Yüzdesi
PP	: Polipropilen
PS	: Polistren
PVC	: Polivinilklorür
SC	: Killi-Kum
TK	: Taban Kaplaması
UV	: Mor Ötesi Işımlar
W _n	: Su Muhtevası
WP	: Plastik Limit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Katı Atık Düzenli Depolama Alanı Sistemi [7]	17
Şekil 2.2. Kil Geçirimsizlik Tabakasının Sıkıştırılması İşlemi.....	19
Şekil 2.3. Geomembran Serilmesi.....	20
Şekil 2.4. Geotekstil Serilmesi	21
Şekil 2.5. Drenaj İçin Filtre Çakılı Serilmesi	21
Şekil 2.6. Drenaj Boruları	22
Şekil 2.7. Yağmur Suyunun Kontrolü için Üst Örtüsü Yapılmış ve Yeşillendirilmiş Alanın Görünümü (Kömürcüoda) [7]	23
Şekil 2.8. Geçirimsiz Zeminde Depolama [7].....	24
Şekil 2.9. Tipik NÖT Detayları [2]	26
Şekil 2.10. DDT Üst Örtüsünün Teşkili (II.Sınıf DDT) [2].....	27
Şekil 2.11. Depo Gazı İçin Pasif Gaz Toplama Sistemi [2].....	29
Şekil 2.12. Gaz Tahliye Bacaları [2]	30
Şekil 2.13. Düşey Gaz Toplama Kuyusu ve Başlığı Detayı [2]	31
Şekil 2.14. Yatay Gaz Toplama Borusu Detayı [2].....	31
Şekil 2.15. Tipik Gaz Yakma Ünitesi [2].....	32
Şekil 2.16. Taban Kaplamaları [15].	33
Şekil 2.17. A.B.D Katı Atık Depo Alanları Kaplama Kriterleri [15]	35
Şekil 2.18. Avrupa Topluluğu'nda Kullanılması Önerilen Kaplama Sistemleri[15].	36
Şekil 3.1. Montmorillonit ve Kaolinit Killerinin Yapısı [34]	55
Şekil 3.2. Geosentetiklerin Gruplandırılması (prEN ISO 10318) [34].	63
Şekil 3.3. Başlıca Geosentetik Türleri [46]	66
Şekil 3.4. Geotekstillerde Tipik Boşluk Boyutu Dağılımı [46]	80
Şekil 3.5. Kentsel Katı Atık Depolama Sahası Örneği [46].....	86
Şekil 3.6. Zemin Tabakası Kayma Tahkikleri [46].....	89
Şekil 3.7. Atık Depolama Şev Kaplamalarında Sürtünme Kuvvetleri [46]	90
Şekil 3.8. Düz Ankraj Tasarımı [46]	91

Şekil 3.9. Hendek Ankraj Tasarımı [46]	92
Şekil 3.10. Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları [61]	94
Şekil 3.11. Bir düzenli depolama atık tesisi tasarımı bileşenleri [2].....	100
Şekil 3.12. Depo tabanı kaplaması örnekleri [2].....	102
Şekil 3.13. Sızıntı suyu toplama sistemleri [2]	105
Şekil 3.14. PVC veya HDPE sızıntı suyu toplama borularında delik çapları ve konumları [2].....	106
Şekil 3.15. DDT Taban Kaplamalarında Kullanılan Üç Ana Geçirmez Taban Türü [2]	107
Şekil 4.1. Örnek Minyatür Saha Düzeneği.....	112
Şekil 4.2. Minyatür Saha Düzeneklerinin Genel Görünümü	113
Şekil 4.3. 6mm Camdan Yapılan Minyatür Saha Düzeneğinin Kırılması	114
Şekil 4.4. Minyatür Saha Düzeneklerinin Laboratuvar Ortamına Taşınması	115
Şekil 4.5. Topaklaşmış Kil Malzemesinin Dövülüp Ufalanması	118
Şekil 4.6. Kil Malzemesinin Minyatür Saha Düzeneğine Yerleştirilip Sıkıştırılması	119
Şekil 4.7. Minyatür Saha Düzeneklerindeki Sıkıştırılmış Kil Malzemesi (Soldan Sağa; 40 cm, 60 cm, 80 cm, 20 cm).....	119
Şekil 4.8. Katı Atık Sızıntı Suyunun Temin Edildiği İSTAÇ A.Ş.'nin Odayeri Düzenli Depolama Alanındaki Katı Atık Sızıntı Suyu Havuzu.....	120
Şekil 4.9. Katı Atık Sızıntı Suyunun Deney Düzeneklerindeki Minyatür Sahalara Dikkatlice Boşaltılması	121
Şekil 4.10 Saf Su ve Katı Atık Sızıntı Suyu ile Yüksek Plastisiteli Kil Üzerinde Yapılan Permeabilite Deney Grafiğinin Bir Arada Gösterilmesi.....	125

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Üye Ülkeler için Belirlenen Düzenli Depolama Direktifi Hedefleri [2] ...	8
Tablo 2.2. Türkiye için AB Katı Atık Direktiflerine Uyum Stratejisi [4].....	13
Tablo 2.3. Türkiye İçin AB Atık Direktifleri'ne Uyumun Zaman Çizelgesi [4]	15
Tablo 2.4. Depolanan Katı Atık Türlerine Göre Tabaka Kalınlıkları [3]	18
Tablo 3.1. Killerin Kristal Yapılarına Göre Sınıflandırılması [34].....	46
Tablo 3.2. Yer Kabuğunda Enfazla Bulunan Minerallerin Ayrışma Ürünleri [27] ...	52
Tablo 3.3. Tipik Geotekstil Ve Geoizgaralar İçin Dayanım Ve Permeabilite Değerleri [46]	83
Tablo 3.4. Geomembranların Yerleştirmede Dayanım Özellikleri İçin Tavsiye Edilen Minimum Değerler [47].....	93
Tablo 3.5. Sızıntı suyu toplama sistemi bileşenleri için tasarım kriterleri [67]	104
Tablo 4.1. Kullanılan Kil Malzemesinin Fiziksel Özellikleri	117
Tablo 4.2. Permeabilite Deneylerinde Kullanılan Yüksek Plastisiteli Kil Malzemesinin Fiziksel Özellikleri	122
Tablo 4.3. Permeabilite Deneylerinde Kullanılan Düşük Plastisiteli (Killi Kum) Malzemenin Fiziksel Özellikleri	122
Tablo 4.4. Yüksek Plastisiteli Killerin Saf Su Kullanılarak Permeabilite Değerlerinin Bulunması	123
Tablo 4.5. Yüksek Plastisiteli Killerin Katı Atık Sızıntı Suyu Kullanılarak Permeabilite Değerlerinin Bulunması	123
Tablo 4.6 Düşük Plastisiteli (Kum-Çakıl Karışımı) Malzemelerin Saf Su Kullanılarak Permeabilite Değerlerinin Bulunması	124
Tablo 5.1. 2008 - Mart Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki İslanma	131
Tablo 5.2. 2008 - Nisan Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki İslanma	132
Tablo 5.3. 2008 - Mayıs Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki İslanma	133

Tablo 5.4. 2008 - Haziran Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma	134
Tablo 5.5. 2008 - Temmuz Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma	135
Tablo 5.6. 2008 - Ağustos Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma	136
Tablo 5.7. 2008 - Eylül Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma	137
Tablo 5.8. 2008 - Ekim Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma	138
Tablo 5.9. 2008 - Kasım Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma	139

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Katı Atık, Katı Atık Düzenli Depolama Alanı, Kil, Geosentetikler, Geçirimsizlik

Son yüzyılın en büyük sorunlarından birisi, artan nüfusa bağlı olarak gelişen tüketim ve üretim sorunudur. Tüketim ve üretim sorunu sonucunda oluşan katı atıklar, çevre sağlığını olumsuz etkilemektedir. Gelişmiş ülkeler; artan çevre kirliliğine çözüm üretmek amacıyla, katı atıkların düzenli olarak depolanması için; depolama alanları inşa ederek, katı atıkların bertarafı için çalışmaktadır. Katı atıkların bertarafında düzenli depolama sistemi bilinen en yaygın metotlardan birisidir. Bu sistem Türkiye’de yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir. Gelişmiş ve gelişmekte olan dünya ülkelerinde; katı atık sorunu her geçen gün bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tehditlerin başında çevre kirliliği gelmektedir. Bir diğer sorun ise; büyük şehirlerin bu katı atıklar ile olan mücadelesi ve yönetimidir.

Katı atıkların düzenli olarak depolandığı alanlarda, çöpten kaynaklanan sızıntılar, yer altı ve yüzey sularına karışarak insan, hayvan ve bitki sağlığına zarar vermektedir. Bu zararların önlenmesi için katı atık depolama alanlarındaki geçirimsizliğin iyi sağlanması gerekir.

Geçirimsizliğin sağlanması, iki materyalin doğru bir teknikle elde edilmesi ve uygulanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu materyallerin ilki ve en önemlisi kil v.b. malzemeler, diğeri ise; geosentetik malzemelerdir.

Çalışmada; geçirimsizliği sağlamak amacı ile kullanılan kil ve geosentetikler tüm detaylarıyla incelenmiştir. Çalışmanın konusu ve amacı kapsamında; canlı sağlığını olumsuz etkileyen sızıntıların engellenerek çevre sağlığı üzerindeki tehditler asgariye indirilmeye çalışılmıştır. Bu konuda kilin gerekli olan tabaka kalınlığı deneyler kapsamında arttırılarak sızıntı oranı tespit edilmiştir.

INVESTIGATION OF PARAMETERS EFFECTING IMPERMEABILITY IN REGULAR SOLID WASTE DISPOSAL SITES

SUMMARY

Key Words: Solid Waste, Solid Waste Landfill Area, Clay, Geosynthetics, Impermeability

One of the biggest problems of last century is the problem of consumption and production which develop as depending on the increasing population. solid wastes created by the problem of consumption and production negatively affect the environmental health. Developed countries work for removal of solid wastes by building storage areas for landfill of solid wastes with the purpose of creating a solution for increasing environmental pollution. landfill system in the removal of solid wastes is one of the known common methods. This system isn't widely used in Turkey. The problem of solid waste poses threats day by day in developed and developing world countries. the leading threat among them is environmental pollution. Another problem is the struggle and method of big cities for solid wastes.

Leaks caused by garbage give harms to the animal and plant health by mixing with groundwater and surface water in solid waste landfill areas. Impermeability in the solid waste landfill areas should be well provided to prevent these harms.

Providing the impermeability is possible by acquiring and applying two materials with a right technique. the first and the most important one of these materials is clay and so forth materials and the other one is geosynthetic materials.

In the study, clay and geosynthetics used for providing the impermeability have been analysed in detail. Within the scope of subject and aim of the study, threats on the environmental health have been tried to minimize by preventing leaks affecting the living health negatively. In this subject, leak rate has been determined by increasing the necessary layer thickness of clay within the scope of experiments.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Tezin Anlam ve Önemi

Katı atık yönetimi; katı atıkların çevre unsurlarına zarar vermeden, fen ve sanat kaidelerini kapsayacak şekilde; mühendislik kurallarına uygun şekilde depolanmasını kapsar [1]. Katı atıkların toplanması, geçici depolanması, geri dönüşüm, yakılması, ve düzenli olarak depolanması bu yönetmelik kapsamında değerlendirilmektedir.

Gelişmiş ülkeler katı atıkla mücadele konusunda ciddi çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar son yirmi yıl içinde giderek artış göstermektedir. Katı atıkla mücadele kavramı, gelişmiş ülkelerin gündem konuları arasında olup önleme ve azaltmaya yönelik çalışmalar ilk sırada yer almaktadır. Katı atık azaltımı kapsamında; tehlikeli maddelerin azaltılmasına yönelik çalışmalar araştırma konularının başında gelmektedir [2,3].

Katı atıkların yeniden kullanımına yönelik çalışmalar daha çok sanayi amaçlı katı atıkları kapsar. Yeniden kullanım ise; aynı alanda üretilmiş olan katı atıkların yeniden farklı bir amaçla kullanılmasını sağlar. Geri dönüşüm kapsamında ise; katı atıkların yeniden kullanılması ve doğaya yönelik zararlarının azaltılması yatmaktadır. Katı atıklarda iyileştirme ise; enerji tasarrufu başta olmak üzere; farklı teknolojiler kullanılarak, toplum ve tabiat yararına yönelik katı atıklardan fayda sağlamayı amaçlar. Bunlar gübre ve enerji olarak karşımıza çıkmaktadır. Katı atıklardan fayda sağlanamaması durumunda ise; katı atıkların imha edilmesi "Gömülmesi, Yakılması" gibi işlemler yer almaktadır. Katı atıkların imha edilmesinde enerji tasarrufu sağlanması ilk öncelik sırasındadır. İmha aşaması katı atıkların bertaraf edilmesinde uygulanan en son yöntemdir.

Katı atık yönetimi prensiplerinin temelinde, önleme ve azaltma ilk sırayı alır. Katı atık imhası ise; en son başvurulan yöntemdir. Katı atıkların depolandığı tesislerin inşaatı ise; en asgari risk ile planlanmalıdır. Yasa ve yönetmeliklerde bu risklerin

oranları belirtilmiştir. Bu oranlara göre, oluşabilecek risklerin oranlarının belirlenmesi ve buna yönelik sonuç beklenmelidir [3].

Dünya ülkelerinin nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak katı atık oranı sürekli olarak değişmekte ve yükselmektedir. Sürekli üreten toplumların meydana getirdiği katı atıklar doğal çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Oluşan katı atıklar mutlaka muhafaza edilmeli ve çevreye yönelik oluşturduğu tehditler asgariye indirilmelidir.

Katı atık oluşumunda, tüketim zinciri en önemli halkadır. Bu halkaya bağlı olarak üretim sistemi devreye girmektedir. Birbirine bağımlı olarak işleyen bu sistem, çevreyi ürettiği ve meydana getirdiği atıklar ile tehdit etmektedir. Üretim ve tüketim faaliyetleri sonucunda; her gün milyonlarca ton atık doğaya terk edilmekte ve doğal hayat tehlikeye girmektedir.

Günümüzde bu kirlenme sorununa çözüm olarak “düzenli atık depolama yöntemi” bütün dünya ülkeleri gibi Türkiye için de bir zorunluluk haline gelmiştir. Düzenli atık depolama yöntemi ile atıkların çevreye zarar vermesi engellenmekte ve insanların yaşam alanlarına olan negatif etkiler bertaraf edilmektedir.

Katı atıkların depolanması ile ilgili olarak; AB (Avrupa Birliği) katı atık düzenli depolama direktifi 1999 yılında kabul edilmiştir. Direktif; düzenli depolama alanlarının yer seçimi, tasarımı, geçirimsizliği, işletilmesi, denetlenmesi ve rehabilitasyonu için çok sıkı yönetmelikler getirmiştir [4].

Düzenli depolama sahalarının inşa edilmesindeki amaç; yer altı sularının ve yüzey sularının kalitesinin korunması, hava kalitesinin korunması, gaz toplama amaçlı sistemler ile enerji geri kazanımı, depolama sona erdiğinde sahanın değerlendirilmesi, depo sahasının etkili ve uzun süreli kullanımüdür.

Geçirimsizliği iyi sağlanmamış bir sahada atıklardan sızan sular, yer altı ve yüzey sularının kirlenmesine ve dolayısıyla insan sağlığına olduğu kadar, bitki örtüsü ve köklerine de zarar vererek, doğal çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı:

Bu çalışmanın amacı; katı atık düzenli depolama alanlarında taban geçirimsizliğine etki eden parametrelerin araştırılması ve taban geçirimsizliğine etki eden parametrelerden en önemlisi olan kilin atık depolama sahalarındaki en uygun tabaka kalınlığının tespit edilmesidir. Belirlenen bu amaca ulaşmak üzere tez kapsamında başlıca aşağıdaki hususların/konuların araştırılması öngörülmüştür:

- Öncelikle atık yönetimi konusu araştırılarak gerek ülkemizde gerekse ABD ve AB ülkelerinde kullanılan yönetmeliklere dikkat çekilmiş ve düzenli depolama tesislerinin atık yönetimindeki önemi vurgulanmıştır.
- Türkiyede uygulanan mevcut atık depolama uygulamaları ve katı atık yönetimi strateji hedefleri incelenmiştir.
- Katı atık düzenli depolama sahaları yapılırken geçirimsizliği önlemek amacıyla kullanılan taban kaplamaları detayları ile incelenmiştir. Ayrıca taban geçirimsizliğini sağlamak amacıyla kullanılan malzemelerden kil ve geosentetikler hakkında genel bilgiler verilerek atık depolama sahalarındaki uygulamalarının nasıl olması gerektiği ifade edilmiştir.
- Katı atık düzenli depolama alanlarının tabanında oluşan katı atık sızıntı suyunun toplanması için yapılan drenaj sistemleri ve katı atıklardan oluşacak depo gazının toplama ve enerji geri kazanım sistemleri hakkında ayrıca atık depolama ve sonlandırma esnasında kullanılan ara ve nihai örtüler ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.
- Gelişmiş ülkelerde uygulanan katı atık düzenli depolama sistemleri incelenerek ülkemizde kullanılan sistemlerin eksiklikleri tespit edilmiştir.
- Katı atık düzenli depolama alanlarında taban geçirimsizliğini sağlamak amacıyla kullanılan kil için gerekli olan en uygun tabaka kalınlığının tespiti amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde CH sınıfı yüksek

plastisiteli killer kullanılmış ve en kötü şartlar dikkate alınarak kilin en uygun tabaka kalınlığı tespit edilmiştir.

- CH sınıfı yüksek plastisiteli kil ile SCsınıfı düşük plastisiteli (killi-Kum) malzemeler üzerinde permeabilite deneyleri yapılmış ve söz konusu geçirimsiz malzemelerin farklı sıvılara (saf su, katı atık sızıntı suyu) maruz kaldıklarında ve farklı sıkıştırma durumunda göstermiş oldukları geçirimsizlik tespit edilmiştir.

BÖLÜM 2. KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ VE BİLEŞENLERİ

2.1. Düzenli Depolama Tesislerinin Atık Yönetimindeki Önemi ve sınıflandırılması

2.1.1. Atık Yönetimi ile İlgili Yaklaşımlar

Atık yönetimindeki iki ana kriter sağlık ve emniyettir. Bu iki unsur, atık yönetiminin halk sağlığı riskini en aza indirecek tarzda yürütülmesini gerektirmektedir. Günümüz toplumunda, emniyetin yanı sıra atık yönetiminin sürdürülebilir olmasıda talep edilmektedir. Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma günümüz ihtiyaçlarının gelecek nesillerin ihtiyaçlarında gözeterek sağlanmasını gerektirir. Bu husus; ekonomik kalkınma, sosyal adalet ve çevrenin korunması arasında etkin bir sinerjiyi gerekli kılar. Dolayısıyla sürdürülebilir atık yönetimi; ekonomik olarak katlanılabilir, sosyal olarak kabul edilebilir ve çevresel olarak da etkin bir yönetim anlayışına karşı gelir. Atık yönetimi ve bertarafı ile ilgili çevresel yaklaşımlar iki esas gruba ayrılabilir: Doğal kaynakların korunması ve çevrenin kirlenmemesi [2].

2.1.2. Sürdürülebilir Atık Yönetimi

Katı atıkların toprağa gömülerek uzaklaştırılmasının etkin bir atık yönetimi anlayışı olamayacağı açıktır. Yer küre enerji bakımından bir açık sistem olmakla birlikte ham ve atık maddeler bakımından kapalı bir sistemdir. Ham madde kaynakları azalmakla birlikte, dünyada mevcut her elementin toplam miktarı sabit kalmaktadır. Aslında bazı faydalı elementlerin atık depolama alanlarındaki konsantrasyonları orijinal ham maddelerine göre daha yüksek olup bu tür atık maddelerinin ileride bir tür cevher gibi kazılıp çıkarılması mümkündür (depolama alanı madenciliği). Atıkların depolama alanlarında tutulmasına, atık bertarafından çok bir tür uzun süreli

depolama olarakta bakılabilir. Ancak böyle bir uygulamanın söz konusu maddelerin yönetimi bakımından en etkin yöntem olup olmadığı sorusunun cevaplanması gerekir. Ham madde kaynaklarının korunması, önce atık üretiminin azaltılmasını sonra atıklardan enerji ve/veya madde geri kazanarak yeniden kullanım yöntemlerinin geliştirilmesini gerektirir. Atıklardan kaynak (madde, enerji) geri kazanımı yenilenemeyen doğal kaynaklardaki azalmayı yavaşlatır ve yenilenebilir kaynakların ikame amacıyla kullanımının azaltılmasına yardımcı olur [2].

Potansiyel veya mevcut kirlenme atık yönetimi ile ilgili çevresel kaygıların başında gelir. Tarihsel olarak, doğal çevre insan faaliyetleri sonucu üretilen her türlü atığın depolandığı bir hazne(depo) olarak ele alınabilir. Atmosfere veya su ortamlarına salınan atıklar seyreltilir; depolama alanlarına boşaltılan atıklar ise yayılır. Düşük emisyon seviyelerinde söz konusu atık atımları doğal biyolojik ve jeokimyasal süreçlerle artırılarak çevresel şartlarda herhangi bir değişiklik olmaksızın tolere edilebilir. Ancak kirlenme salımlarının çevrenin doğal özümleme kapasitesini aştığı durumlarda çevre kalitesinde ciddi bozulmalar gözlenebilir. Doğadan ham madde ihtiyacının temini nasıl sonsuz değilse, çevre de kirlenme emisyonları için sınırsız büyüklükte bir hazne değildir. İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan çevre kirlenmesi, çevre kalitesinin bozulmasına yol açmak suretiyle, kaçınılmaz bir sorun olarak topluma geri döner. Bu yüzden çevre, toplumsal faaliyetlerden etkilenmeyen ayrı, bağımsız ve sınırsız bir ortam olarak düşünülmemeli, aksine küresel sistemin bir parçası olarak dikkatli ve etkin bir biçimde yönetilmelidir [2].

Yeni yapılan atık depolama alanlarında depo gazı üretileceği bilinmektedir. Küresel ölçekte depo gazlarının sera etkisi mevcuttur. Ayrıca, yerel ölçekte yakındaki binaların alt katlarında gaz birikme ve patlama riski vardır. Depo sahasında oluşacak sızıntı sularının da yer altı sularını kirlenme riski bulunmaktadır.

Her türlü insan faaliyetleri sonucu kaçınılmaz olarak atık oluşur. Örneğin Avrupa Birliği ülkelerinde kişi başına kentsel katı atık (KKA) üretimi 430 kg/yıl dır. Türkiye’de ise kişi başına ortalama birim KKA üretimi 380 kg/yıl seviyesindedir. Bu atıkların bir şekilde bir yerlerde arıtılması ve bertarafı mecburiyeti vardır. Atık arıtma ve bertarafında kullanılan her yöntemin belli çevresel etkileri olmakla birlikte atıkların mutlaka toplanıp arıtılarak yönetimi gerekmektedir [2].

Entegre katı atık yönetim (EKY) sistemi, atık akımları, atık toplama ve bertaraf yöntemlerinin çevresel fayda, ekonomik olarak katlanabilirlik ve sosyal kabuledilebilirlik hedeflerine ulaşmak üzere bütüncül bir anlayışla birleştirilmesini hedefler [2].

2.1.3. Düzenli Depolama

Düzenli depolama hiç kimsenin gönüllü olarak tercih etmediği, ancak herkesin ihtiyacı olduğu bir atık yönetim seçeneğidir. Hiçbir entegre atık yönetim seçeneği düzenli depolamasız düşünülemez.

Modern bir düzenli depolama tesisinde uygulanan yapım ve işletme teknolojisi, halk ve çevre sağlığının korunmasını garanti eder. Bu konuda dikkate alınması gerekli hususlar, düzenli depolama tesislerinin uygun tasarımı ile kapanma sonrası izlemenin etkin şekilde sağlanmasıdır. Günümüz modern düzenli depolama tesislerinin, eski vahşi çöp döküm sahalarından tamamen farklı olduğu, tehlikeli sıvı ve katı atıkların kabul edilmediği; gaz ve sızıntı suyunun kontrol sistemlerinin bulunduğu depo tabanının tam geçirimsiz hale getirildiği ve etkin bir yer altı suyu kalitesi izleme sistemi bulunduğu unutulmamalıdır [2].

Düzenli depolama tesisleri, özellikle biyoreaktör olarak tasarlanıp işletilmek suretiyle, metan gazından daha yüksek hızlarla enerji geri kazanılabilmektedir. Yakın gelecekte depo gazından metanla birlikte karbondioksit geri kazanımında planlanmaktadır. Yakma tesisi külleri, parçalanmış lastikler ve endüstriyel arıtma çamurlarının depolandığı tek tür depolama tesislerinden başlamak üzere gelecekte düzenli depolama tesislerinde ürün geri kazanımı düşünülmektedir. Ayrıca, kapatılan düzenli depolama alanlarının park veya spor amaçlı sahalar olarak kullanımı da yaygındır [2].

2.1.4. Düzenli Depolama Direktifi

AB düzenli depolama direktifinin amacı; düzenli depolama sürecinde oluşan emisyonların havaya, toprağa, yüzeysel sulara, yer altı sularına karışmasını ve

dolayısıyla insan sağlığına olumsuz etkilerini önlemek veya azaltmak amacıyla düzenli depolama ihtiyacını en aza indirmektir. Üye ülkeler için belirlenen direktif hedefleri Tablo 2.1’de verilmiştir [2].

Tablo 2.1.Üye Ülkeler için Belirlenen Düzenli Depolama Direktifi Hedefleri [2]

Hedef yıl	Direktif gerekleri
2001	Ulusal yasa ve yönetmelikler direktifle uyumlu olmalı
2001	Tüm yeni düzenli depolama sahaları direktif şartlarıyla uyumlu olmalı
2002	Mevcut depolama sahalarının işletmecileri, depolama sahalarının 2007 yılında uyumlu hale gelmesi için uygulanacak düzenleme planını sunmalı
2009	Direktife tümüyle uylması gereken tarih(direktifle uyumlu olmayan düzenli depolama sahalarının bu yıl itibariyle kapatılması anlamına gelmektedir.)

Direktif atıkların düzenli depolanması için yerleşim, tasarım, izleme ve gözetimle ilgili genel şartları tayin etmektedir. Düzenli depolama sahaları 3 sınıfa ayrılmaktadır:

- Tehlikeli atık depolama tesisleri
- Tehlikeli olmayan atıkları depolama tesisleri
- İnert atık düzenli depolama tesisleri

Direktif; geçiş sürecinde mevcut düzenli depolama sahalarının 2009 yılına kadar direktifte belirtilen şartları karşılamak üzere hazırlanmış düzenleme planına uygun olarak iyileştirilmesini veya direktifte belirtilen kapatma ve gözetim usulüne uygun olarak kapatılmasını ön görmektedir [2].

Direktif; ayrık yerleşimlerde ve adalarda tehlikeli olmayan veya inert atıklar için düzenli depolama sahaları ile ilgili muafiyetler, toplam kapasitesi 15.000 Ton’dan daha az veya yılda 1.000 Ton’dan daha az atık depolanan tesisler içindir. Ayrık

yerleşimlere hizmet veren düzenli depolama tesislerinin muafiyeti sadece o yerleşime hizmet vermek için tahsis edilmiş düzenli depolama tesisleri içindir [2].

2.1.5. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY)

Katı Atıkların Kontrolü yönetmeliği, katı atıkların yönetimi konusunda, idari ve teknik açıdan pek çok hüküm içermektedir. Dolayısıyla Türkiye’de katı atık yönetimine ilişkin bütün işlemlerde yönetmelik hükümleri bağlayıcı niteliktedir. Teknik hükümlerden bazılarının yerine, ancak yeni teknoloji ve daha kuvvetli teknik gerekçe ve hesaplar sonucunda, değişik olanlara uyulabilir. Yönetmelikte katı atıkların düzenli depolanması, kompostlaştırılması ve yakılmasına dair hükümler bulunmaktadır [2].

Yönetmeliğe göre belediyeler, evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların çevreye zarar vermeden bertarafını sağlamak, çevre kirliliğini azaltmak, katı atık depo sahalarından azami istifade etmek ve ekonomiye katkıda bulunmak amacıyla, evsel katı atıklar içindeki değerlendirilebilir katı atıkları sınıflandırarak ayrı toplamak ve bunlarla ilgili tedbirleri almakla yükümlüdürler [2].

2.1.6. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (DDY)

Bu yönetmeliğin amacı, atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sürecinde;

- Oluşabilecek sızıntı sularının ve depo gazlarının toprak, hava, yer altı suları ve yüzeysel suların üzerindeki olumsuz etkilerinin asgari düzeye indirilerek çevre kirliliğinin önlenmesine,
- Atıkların türüne göre uygun depo tabanı teknik tasarımlarının yapılması ve düzenli depolama tesislerinin inşa edilmesine,
- Düzenli depolama tesislerine atık kabulü işlemlerine,
- Düzenli depolama tesislerinin işletilmesi, kapatılması ile kapatma sonrası kontrol ve bakım süreçlerine,

- İşletme, kapatma ve kapatma sonrası bakım süreçlerinde sera etkisi de dahil olmak üzere çevre ve insan sağlığı açısından risk teşkil edebilecek olumsuzlukların önlenmesine,
- Mevcut düzenli depolama tesislerinin ıslahı, kapatılması ve kapatma sonrası bakım süreçlerine

ilişkin teknik ve idari hususlar ile uyulması gereken genel kuralların belirlenmesi olarak ifade edilmektedir [2].

2.1.7. Düzenli Depolama Tesislerinin Sınıflandırılması

Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik çerçevesinde düzenli depolama tesisleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

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

İnert atık: Fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak önemli derecede herhangi bir değişime uğramayan, çözünmeyen, yanmayan, fiziksel veya kimyasal olarak reaksiyona girmeyen, biyolojik bozunmaya uğramayan veya temas ettiği maddeleri çevreye veya insan hayatına zarar verecek şekilde etkilemeyen ve toplam sızıntı kabiliyeti ve ekotoksitesi önemsiz miktarda olan özellikle yüzeysel su ve yeraltı suyu kirliliği tehlikesi yaratmayan atıklardır [3].

2.2. Türkiye’de Düzenli Atık Depolama Uygulamalarının Durumu

2.2.1. Türkiye’nin AB ile Uyumlu Katı Atık Yönetimi Politikası

Mevcut Türk mevzuatları, ilgili AB direktifleriyle büyük oranda uyumlu olmasına karşın T.C.Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB), AB direktiflerine tam uyumu sağlayan taslak yönetmelikler için çalışmalarını sürdürmektedir.

İlgili bakanlık tarafından hazırlanan yönetmelikler çerçevesinde, Büyükşehir Belediyeleri, entegre katı atık yönetim sistemi çalışmalarına başlamıştır. Bu kapsamda, kaynağında ayrı toplanan atığın, toplanması ve bertarafı belli miktarda gerçekleştirilecektir. Hali hazırda Türkiye’de tehlikeli atıklar ile evsel atıkların bertarafı için sınırlı sayıda tesis bulunmaktadır.

Katı atık yönetimi stratejisinin hedefleri şunlardır:

- atık oluşumunu engellemek,
- atığın geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılmasını sağlamak,
- atığın güvenli bertarafı ve çevreyi olumsuz etkileri önlemek üzere gerekli önlemleri alarak düzenli depolamaya öncelik verilmesi olarak sıralanabilir [4].

ÇOB’un, katı atıklarının yönetiminde, merkezi ve yerel yönetim olmak üzere iki kademe de, doğrudan veya dolaylı sorumlulukları vardır. Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, atık yönetiminin önceliklerini ortaya koymuş ve atık oluşumunu minimize etmeye, atığı geri kazanmaya, geri döndürmeye ve uygun bertaraf yöntemlerinin kullanılmasına öncelik vermiştir. Plana göre tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar, atık yağlar, hurda araba lastikleri ve atık piller gibi özel atıkların güvenli bir şekilde toplanması, taşınması, bertaraf edilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir [4].

AB direktifleri ve Türk yönetmelikleri aynı amacı hedefleseler bile aralarında kayda değer farklılıklar bulunmaktadır. Direktifleri aynen uyarlamaktan ziyade, direktiflerin alt kademelere uyarlanması ve yaptırım gücünün etkinliğinin sağlanması gerekir.

Türkiye’de deyaşanan ana problem budur. Düzenli depolama direktifine tamamen uyumlu bir yönetmelikhazırlamanın ötesinde, ilgili kanunlarda değişikliklerin yapılması ve yeni yasaların çıkarılması gerekmektedir. Direktiflerin, ulusal mevzuata uyumu için en az 20 yıl gerekmektedir [4].

Türkiye’deki sistemi daha etkin kılmak ve yönetmeliklerin altyapısını güçlendirmek için kurumsal değişiklikler ve bilimsel destek gerekmektedir. Entegre katı atık yönetiminde başka herhangi bir sorunla karşılaşılmayacağı düşünölmektedir. Bununla birlikte, atık toplama filolarının temini ve yenilenmesi hususları dikkate alınmalıdır. Türkiye’de öncelikle Büyükşehir Belediyeleri’nden başlayarak 2011 yılına kadar düzenli depolama alanlarının kurulması planlanmaktadır. Oluşan organik atığın dörtte biri kompost tesislerine gönderilecektir. Bu tesisler kompost satışından kar sağlayabilecek uygun yerlere kurulacaktır. Tablo 2.2’de AB atık direktiflerine uyum stratejisinin önemli noktalarını ve yapılacak eylemler verilmektedir [4].

Tablo 2.2. Türkiye için AB Katı Atık Direktiflerine Uyum Stratejisi [4]

İhtiyaçlar	Eylemler	Tarih
Sorumlu kişilerle kurumların belirlenmesi ve mevzuatların AB direktiflerine uyumu	Katı atık yönetimi için belediyelere teknik ve finansal destek sağlayacak ulusal bir mükemmeliyet merkezi oluşturmak. Çevre ve Orman Bakanlığı bünyesinde kurumsal yapıyı ve katı atık yönetim politikasının kontrolünü arttırmak.	2006
Biyolojik olarak ayrışabilen atıkların miktarının azaltılması	Atık minimizasyonunu, geri dönüşüm, tekrar kullanmayı teşvik etmek. Geri dönüşüm hedeflerini belirlemek ve halkı dahafazla bilinçlendirmek. Evsel katı atık için ayrı toplama, kompost ve diğer seçenekleri değerlendirmek. Uygun yerlerde 50 adet kompost tesisi kurulması (kompost kullanımı uygun olan yerlerde) ve 10 milyon ton organik atığın geri dönüştürmek.	2025
Düzenli depolama alanlarının sınıflandırılması Yerleşim, inşaa ve işletme ile ilgili standartların uyumunu belirleme	Belediyelerde atık yönetim birimlerinin oluşturmak. Yönetim ve işletmede çalışanlar için eğitim programı geliştirmek. Atık yönetiminde özel sektörü destekleyerek kurumsal bir yapı oluşturmak.	2015
Düzenli depolama izinleri	Çevre ve Orman Bakanlığı ve yerel otoriteler gerekli izni verecek. İzni olmayan tesisler kapatılacak.	2006
Rehabilitasyon ve bakım maliyeti	Rehabilitasyon programı ihtiyaçlarını, düzenli depolama için rehabilitasyon planlarının ana hatlarını geliştirmek.	2008
Ulusa, bölgesel ve yerel atık planının hazırlanması Mevcut düzenli depolama alanları için planlama	Türkiye'nin merkezi idari yapısına göre, öncelikle ulusal, sonra bölgesel ve yerel bir plan hazırlamak. Düzensiz depolama alanlarının iyileştirilmesi için projeler başlatmak.	2007
İzleme ve Kontrol	İşletilen ve kapanmış düzenli depolama sahaları için izleme programlarının geliştirmek.	2015
Bilgilerin duyurulması	İzlenen düzenli depolama alanlarla ilgili bilgilerin hazırlanarak, isteyen kişilerin ulaşabilmesini sağlamak.	2015

AB ile uyumlu evsel katı atık yönetim sisteminin gerektirdiği teknik ve çevresel ihtiyaçlar başlıca iki temel AB direktifi ile düzenlenmektedir:

- Düzenli Depolama Direktifi (AB, 1999)
- Ambalaj Direktifi (AB, 1994)

AB düzenli depolama direktifi, 2010 yılı için 1995 yılında oluşan biyolojik olarak ayrışabilir atıkların %75'inin, 2013 yılı için %50'sinin ve 2020 için %35'inin düzenli depolamaya kabul edilmesini öngörmektedir. Türkiye'nin 2011 yılında %75'lik hedefe ulaşması beklenirken, %50'lik hedefe en erken 2015 yılında ulaşılacağı tahmin edilmektedir [4].

Türkiye için önerilen yaklaşım senaryosunda, ambalaj atıkları geri dönüşüm/geri kazanma hedeflerinin 2020 yılında sağlanması hedeflenmiştir. Önerilen yaklaşım planına göre, ambalaj atıkları direktifi şartlarını sağlayabilmek için atık kumbaraları, atık toplama merkezleri (ATM) ile ikili (ayrı) toplama sistemi ve maddesel geri kazanma tesisleri (MGT) kurulmalıdır. Biyolojik olarak ayrışabilen atıkların düzenli depolama alanları dışına yönlendirilen miktarı ile ilgili şartları sağlamak için, ayrı toplama ve uygun arıtma (kompostlaştırma) ve bertaraf yöntemlerinin (yakma/gazifikasyon) yoğun kullanımı gerekecektir [4].

Yeni atık toplama sistemleri, düzenli depolama sahaları ve arıtma yöntemlerinin değişik bölgelerdeki eylem planları ile ilgili bilgiler Tablo 2.3'te verilmiştir. Tablodaki başlangıç tarihleri, bir taraftan farklı bölgelerdeki ihtiyaç ve kapasitelerdeki değişiklikleri yansıtırken diğer taraftan hedefleri göstermektedir. Geri dönüşüm merkezleri/atık kumbaraları ve geri dönüştürülebilir atık toplama konteynerleri tesisi ile ilgili yatırımlar, iki aşamada gerçekleşecektir. Projenin, ilk sene bölgenin yarısında, ikinci sene ise tamamında hayata geçeceği hedeflenmektedir [4].

Tablo 2.3. Türkiye İçin AB Atık Direktifleri'ne Uyumun Zaman Çizelgesi[4]

Bölge	Tanım	Ayrı toplama/ kompost (kentsel alan)	ATM / MGT / Atık kumbaraları		Termal Dönüşüm (Yakma)	Düzenli Depolama	İnşaat ve Hafriyat atıkları geri dönüşümü/ Biyometan tesisi
			Kentsel alan	Kırsal alan			
1a	İstanbul, İzmir (büyük şehirler)	2010 (%20)	2008/2010	2010 /2015	2013/2017	2008 /2009	2008 / 2011
1b	Diğer büyük şehir belediyeleri	2015 (%30)	2010 /2015	2015 /2020	2022	2011 /2016	2011 / 2016
1c	Diğer belediyeler (orta/küçük)	2015 (%100)	2015 /2020	-	-	2016 /2020	2014 / 2020
2a	Ankara (büyük şehir)	2012 (%20)	2008 /2010	2010 /2015	2018	2008 /2009	2008 / 2011
2b	Antalya/İçel (turistik şehirler)	2012 (%30)	2008 /2010	2010 /2015	2019	2011	2009 / 2011
2c	Diğer büyük şehir belediyeleri	2015 (%20)	2010 /2015	2015 /2020	2019/2020	2010 /2015	2010 / 2015
2d	Diğer belediyeler Karadeniz (orta/küçük)	2015 (%65)	2015 /2020	-	2021 (4 tesis)	2016 /2020	2016 / 2020
2e	Diğer belediyeler (orta/küçük)	2015 (%50)	2010 /2015	2015 /2020	-	2011 /2016	2012 / 2016
3a	Gaziantep (büyük şehir)	2013 (%30)	2008 /2010	2015 /2020	2019	2012	2008 / 2011
3b	Diğer büyük şehir belediyeleri	2014 (%100)	2010 /2015	2015 /2020	-	2011 /2016	2008 / 2011
3c	Diğer belediyeler (orta/küçük)	2020 (%24)	2015 /2020	-	-	2016 /2020	2017 / 2020

Önerilen bölgesel entegre katı atık yönetimi planlaması, Türkiye genelinde yaklaşık 120 merkezi katı atık kompleksi ile AB katı atık direktiflerine uyumu mümkün kılmaktadır. Bu senaryo ile bütün bölgelerde, hane halkın gelirin %1'ini aşmayan bir maliyetle AB direktifleri ile uyumlu entegre bir katı atık yönetim sistemi kurulması mümkün görülmektedir [4].

2.3. Düzenli Depolama Tesisi Bileşenleri

2.3.1. Taban Kaplaması ve Sızıntı Suyu Drenaj Sistemi

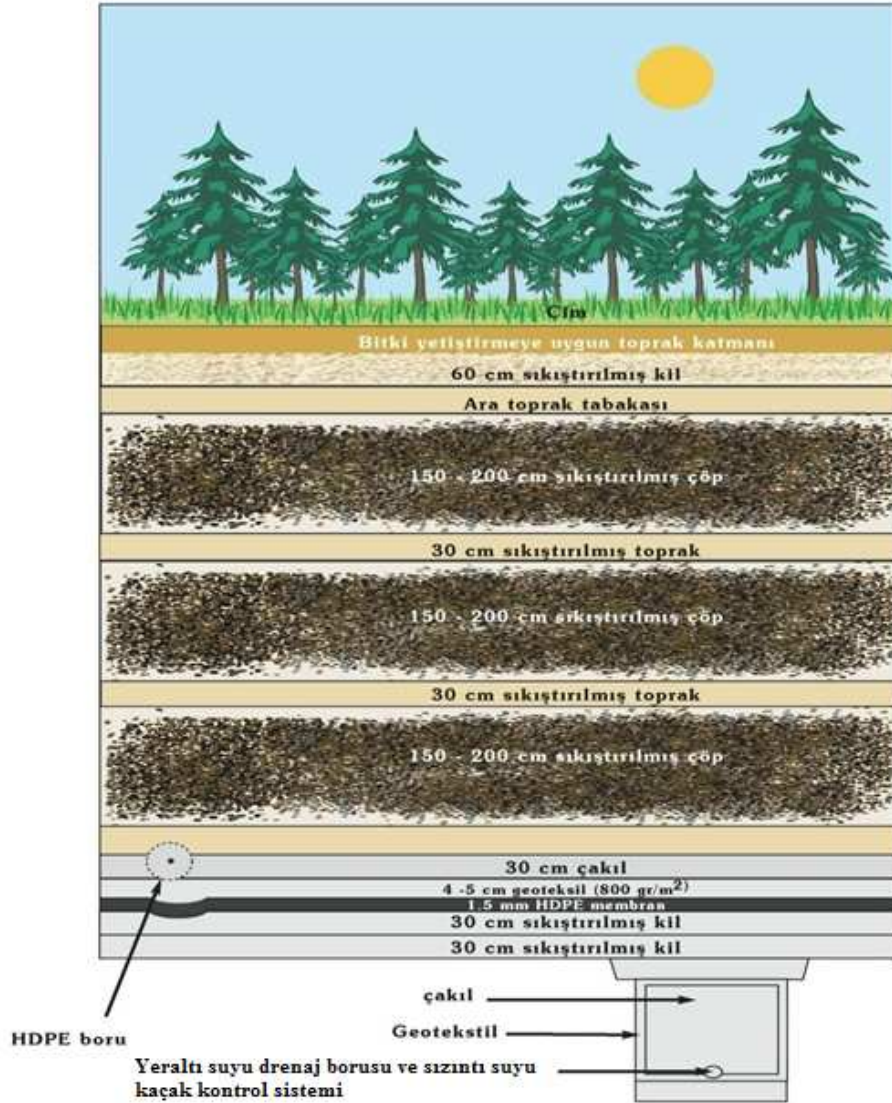
2.3.1.1. Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri

Gelişmiş ülkelerde tüm şehirlerde, kasaba ve köylerde katı atık düzenli depolama sistemleri bulunmaktadır. Çevre bilincinin önemini kavrayan bu ülkeler; katı atıkların gerek zararlarından korunmak, gerekse bu atıkların bazı yönlerinden faydalanmak için hiçbir yatırımdan kaçmamıştır. En gelişmiş teknolojik sistemleri ve makineleri kullanarak gerekli olan tesisleri kurmuşlardır. Örneğin; tüm şehirlerde, kentlerde, kasabalarda ve hatta bazı köylerde katı atık düzenli depolama alanlarının yanı sıra; geri dönüşüm tesisleri, kompost tesisleri, gaz toplama tesisleri, katı atığı yakıtla dönüştürme tesisleri, katı atığı elektrik enerjisine dönüştürme tesisleri vb. kurulmuştur [5,6].

Gelişmiş dünya ülkelerinin kullandığı bu tekniklere rağmen, Türkiye katı atık sistemleri konusunda çok gerilerde kalmıştır. İstanbul-Ümraniye'de (1994) yılında, vahşi depolama alanında gerçekleşen gaz patlaması sonucunda, onlarca insan hayatını kaybetmiştir. Yaşanan bu feci olayın ardından, (1995) yılında, ilk olarak İstanbul ilinde katı atık depolama alanı inşaa edilmiştir [7].

Tipik katı atık düzenli depolama alanlarında taban geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla ile kurulan düzenli depolama alanı şekil 2.1'de verilmiştir. Bu depolama sahasının tabanında 30'ar cm'lik iki tabakadan oluşan sıkıştırılmış kilin üzerinde, 1.5 mm. HDPE membran ve onun üstünde de, 4.5 cm kalınlığında geotekstil malzeme yerleştirilmiştir.

Bu tabakaların en üstüne de sızıntı suyunu toplayan bir drenaj boru sistemi yapılmış, filtre malzemesi olarak 30 cm çakıl örtü kullanılmıştır. Ayrıca sahanın en alt seviyesinde, yer altı sularının toplanması için döşenen drenaj boru sistemi kurulmuştur. Bu düzenek ile katmanlardan sızan katı atık sızıntı suyunun toplanması için kaçak kontrol sistemi oluşturulmuştur.



Şekil 2.1. Katı Atık Düzenli Depolama Alanı Sistemi [7]

Katı atıklar depolandıktan sonra üstü örtülerek, yağmur sularının depolanan katı atıklar ile bulaşması engellenmelidir. Katı atıklardan sızan katı atık sızıntı sularının oluşmaması için 60 cm'lik geçirimsiz tabaka oluşturulmalıdır. Depolama sahasının

üzerine düşen yağmurun kısa sürede sahayı terk edebilmesi için en üste bulunan toprak tabakasının eğimine dikkat edilerek bu eğimin, minimum %3 civarında oluşturulması gerekmektedir [7].

2.3.1.2. Kilden Geçirimsiz Taban Tabakası Oluşturulması

Depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının sistemli bir şekilde kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu önlemler için depolama tabanının sızdırmazlığı geoteknik yönden dizayn edilerek geçirimsizlik sağlanmalıdır. Killi toprakların kolayca bulunması geçirimsizlik tabakası uygulamasının yaygın hale getirilmesinde en önemli yöntemlerden birisidir. Killi toprak kullanılarak taban geçirimsizliğinin sağlanmasında, sıkıştırma metodu, sıkıştırma enerjisi, kilin nem içeriği, kilin toprak büyüklüğü, içerdiği materyaller ve toprak katmaları arasında bir bağ oluşturulmalıdır[6]. Depolanan katı atıkların, türlerine göre tabaka kalınlıkları Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Depolanan Katı Atık Türlerine Göre Tabaka Kalınlıkları [3]

DEPOLANAN KATI ATIK TÜRÜ	KIL SIZDIRMAZLIK KALINLIĞI	HDPE GEOMEMBRAN GEÇİRİMSİZLİK TABAKASI KALINLIĞI
I.Sınıf Düzenli Depolama Tesisleri	≥ 5 m veya eşdeğeri	2 mm
II.Sınıf Düzenli Depolama Tesisleri	≥ 1 m veya eşdeğeri	2.5 mm
III.Sınıf Düzenli Depolama Tesisleri	≥ 1 m veya eşdeğeri	2.5 mm

Olası çatlakların kendi kendine kapatmasında killi toprakların önemi büyüktür. Çünkü killi toprağın oluşan çatlakları kendi kendine kapatma gibi bir özelliği vardır. Taban örtüsünün tüm kalınlığı, delinmenin de zor olmasına fayda sağlar. Kil taban örtüsünün avantajı bu yönde kullanılmaktadır. Geçirimsizliğin tabakası 30 cm kalınlığında aşamalı olarak iki kademeli şekilde sıkıştırılmalıdır. Serilen ilk 30

cm'lik kil tabakası ardından gelen 30 cm'lik kil tabakası ile birleştirilmelidir. Ezici ve çığneyiciler kullanılarak sızıntı suyu yolları oluşumu bu şekilde engellenmelidir. Taban zemini vibratörlü silindirler yardımıyla sıkıştırılarak, olası oturmalar minimize edilmelidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Kil Geçirimsizlik Tabakasının Sıkıştırılması İşlemi

2.3.1.3. Geomembran ve Uygulaması

Geomembran; kimyasal maddelere karşı yüksek direnç gösterdiği için çekme mukavemeti yüksek, geçirgenliği düşük, delinme ve çatlamalara karşı son derece dayanıklı bir yapı malzemesidir. Sızmalara karşı üstün bir koruma oluşturur. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) yaklaşık 2.10 m genişliğinde rulolar halinde, 140-190 m uzunluğunda üretilmektedir. Kalınlıkları 2 ile 8 mm arasında değişmektedir [8].

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre içme ve kullanma havzalarının uzun mesafeli koruma alanında inşa edilecek düzenli depolama sahası tabanında sıkıştırılmış kalınlığı 60 cm kil tabakasının üzerine, kalınlığı 2mm olan yüksek yoğunluklu folye (HDPE) serilir. Serilecek folyenin yoğunluğu 941.965 kg/m^3 olmak zorundadır (Şekil 2.3) [9].

Geomembranların nakliyesi ve sahada depolanması, ankraj hendeklerinin açılması, geomembranın serilmesi ve geomembranların kaynak edilmesi işlemleri de çok önemli detaylardır.



Şekil 2.3. Geomembran Serilmesi

2.3.1.4. Geotekstilin İşlevi

Mükemmel uzama özelliği sayesinde geotekstil; yüksek bölgesel yüklere dayanıklıdır. Gözenek yapıları suyun geçişine müsaade ederken, silt veya kum gibi ince daneli malzemeleri de tutar. Geotekstillerin özel yapısı, filtrelerin tıkanmasını önler ve geomembranın zarar görmesini engeller (Şekil 2.4) [10].



Şekil 2.4. Geotekstil Serilmesi

2.3.1.5. Drenaj Tabakası

Alan Drenaj Sistemi: Alan drenaj sistemleri kum, çakıl, 16/32 kum veya kırmataş malzemelerden oluşur. Bu sistemlerde kullanılan kalker oranı %30'dan küçük olmalıdır (Şekil 2.5) [11].



Şekil 2.5. Drenaj İçin Filtre Çakılı Serilmesi

Boru Drenaj Sistemi: Boru drenaj sistemlerinde sızıntı suyu, borularda toplanır. Boru drenaj sistemlerinde tıkanma durumu söz konusudur ve temizlenmeleri zordur (Şekil 2.5) [11].

Birleşik Drenaj: Birleşik drenaj sistemlerinde ise alan drenajı ve boru drenajı birlikte uygulanır. Birleşik drenaj sistemleri yaygın uygulama alanı bulmaktadır (Şekil 2.5) [11].

2.3.1.6.Sızıntı Suyu Drenaj Borularının Yerleştirilmesi

Sızıntı suyu drenaj borularının yerleştirilmesi sırasında, geçirimsiz hale getirilen taban üzerine drenaj boruları döşenerek, sızıntı suları bir noktada toplanmalıdır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı minimum 100 mm ve minimum eğimi % 1 olmalıdır. Drenaj boruları, münferit borular şeklinde yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkarılmalıdır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Drenaj Boruları

Depo tesisi çıkışında kontrol bacaları bulunmalı ayrıca drenaj boruları çevresine kum ve çakıl filtre yerleştirilmelidir. Bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği, minimum 30 cm düzeyinde olması en idealidir [12,13].

2.3.1.7. Boru Seçimi Kriterleri

Boru seçiminde istenilen birtakım kriterler bulunur. Bu kriterler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır [7]:

- Saha içerisinde kalan kısımlar 1/3 dolu kesit, 2/3 delikli kesite sahip olmalıdır.
- Borular iç basınca değil dış basınca dayanıklı olmalıdır. Boru et kalınlığına dikkat edilmelidir.
- Hammaddesine dikkat edilmelidir (Ör. HDPE PN 10 gibi).
- Depolama sahasında sızıntı suyu miktarını azaltmak için sahaya su girişi kontrol altına alınmalıdır.
- Saha kenarlarına drenaj sistemi yapılmalı ve üst örtü çimlendirilmelidir (Şekil 2.7).



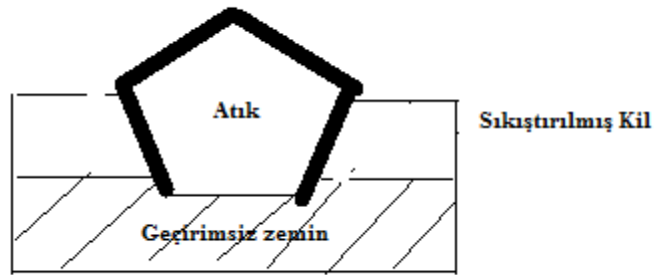
Şekil 2.7. Yağmur Suyunun Kontrolü için Üst Örtüsü Yapılmış ve Yeşillendirilmiş Alanın Görünümü (Kömürcüoda) [7]

2.3.1.8. Geçirimsiz Zeminde Depolama

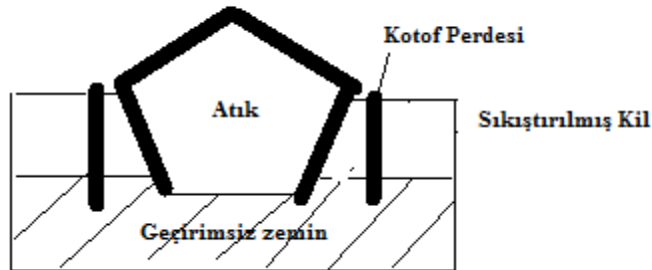
Depolama sahasında yapılan geoteknik etüdüler sonucunda, temel zemininin tamamen veya belli bir derinlikten sonra geçirimsiz olduğu durumlar için tipik kesitler Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.8. Geçirimsiz Zeminde Depolama [7]

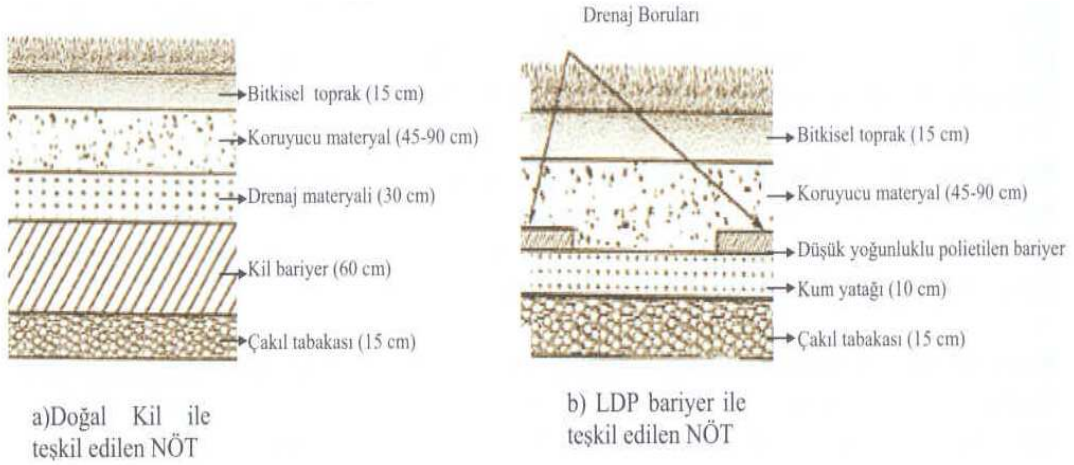
(a) aşama 1 (b) aşama 2 (c) aşama 3

Genel olarak, permeabilite katsayısı 10^{-8} - 10^{-10} cm/sn olan zemin veya kayalar pratik olarak geçirimsiz olarak kabul edilir.

2.3.2. Nihai Örtü Tabakası ve Günlük Örtü Teşkili

2.3.2.1. Nihai Örtü Tabakası (NÖT)

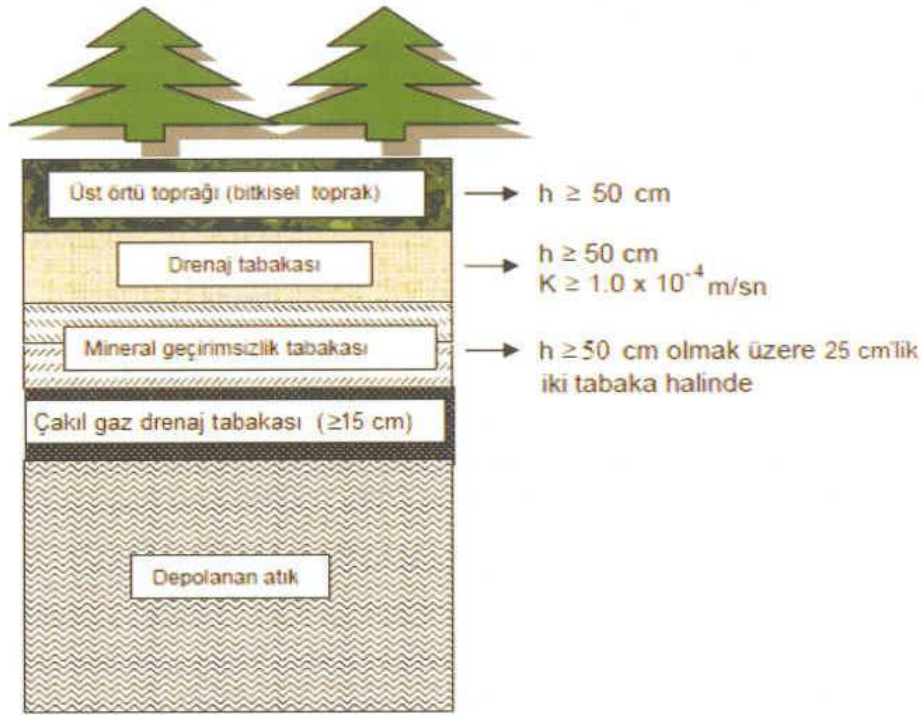
Düzenli depolama alanlarının üzeri, öncelikle yağmur suyu girişini önlemek üzere yönetmeliklere uygun şekilde teşkil edilecek bir nihai örtü tabakası (NÖT) ile kapatılmalıdır. NÖT'ün öncelikli görevi, yağmur suyu girişi sonucu hızlanacak sızıntı suyu oluşumu ile yer altı suyu kirlenmesini önlemektir. Düzenli depolama alanlarında yağmur suyu girişinin tamamen önlenmesi, deponun kuru kalması dolayısı ile atığın biyokimyasal parçalanma sürecini yavaşlatır ve çoğu depolanma alanları büyük ölçüde atık biriktirme tesisi hüviyeti kazanır. Bu yüzden son yıllarda NÖT'ün tam geçimsiz olması yerine, hücre içindeki biyokimyasal ayrışma sürecinin hızlı bir şekilde devamına imkan vermek üzere, en azından kısmi geçirgen olarak teşkili önerilmektedir. Bu husus, bilhassa depo gazından enerji geri kazanım sistemi kurulmuş düzenli depolama tesisleri bakımından özel önem taşır. Tasarım kotuna ulaşılan düzenli depolama tesislerinde, yağış sularının sızmasını en aza indirmek, atıkların çevreye yayılmasını önlemek, oturmaları karşılamak ve tesisin uzun süreli bakımını sağlamak üzere bir NÖT teşkil edilir. Sızdırmaz NÖT en üstten alta doğru genelde, bitkisel toprak (~15 cm), dolgu toprağı (45-90 cm), drenaj tabakası (30 cm), kil bariyer (60 cm) ve gaz kontrolü için çakıl tabakası (15 cm) olmak üzere 5 katmandan oluşur (Şekil 2.9) [2].



Şekil 2.9. Tipik NÖT Detayları [2]

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde ABD çevre koruma ajansı (EPA) tarafından tehlikesiz atık depolama tesisleri için ön görülen asgari nihai örtü tabakası detayı, üstte 15 cm bitkisel toprak ve altında $k \leq 10^{-5}$ cm/sn olan 45 cm kalınlıklı geçirimli topraktan oluşan 2 tabakalı örtü sistemidir.

Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelikte II. sınıf (tehlikesiz) DDT NÖT için ön görülen asgari şartlar aşağıdaki gibidir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. DDT Üst Örtüsünün Teşkili (II.Sınıf DDT) [2]

I.sınıf DDT'de mineral geçirimsizlik tabakası üzerine ayrıca yapay geçirimsizlik tabakasıda yerleştirilmelidir.

2.3.2.2. Sahada Atık Depolama Adımları

Düzenli Depolama (DD) tesislerindeki aktif bir atık hücreğine her gün gelen atıklar, geçirimsiz tabanın ve sızıntı suyu toplama sisteminin üzerine (~ 2 m'lik) katmanlar halinde serilip sıkıştırılmak suretiyle, ön görülen hücre üstü tasarım seviyesine kadar (> 20 m) doldurulur [2].

Alan veya yığın tipi DD hücresi teşkili, yer altı su seviyesinin yüksek veya zeminin kazıya müsait olmadığı yerlerde uygulanır. Kazı veya hendek tekniğı, zemine kazılmış hücre veya hendekler içerisinde atık depolanmasını sağlar. Bu yöntemle kazı zemini genellikle günlük, ara ve nihai örtü toprağı olarak kullanılır. Uygun hacimde yer temini durumunda atık taban geçirimsizliğı sağlanmış derin vadi ve kanyonlarda da depolanabilir. Şev stabilitesi ile sızıntı suyu ve depo gazı kontrolü

vadi /kanyon tipi DD tesislerinde özel önem arz eden, kritik tasarım ve işletme parametreleridir (2).

DD tesisi işletmesi esnasında tabandaki sızıntı suyu toplama sisteminin zarar görmemesi için, işletmeye açılan atık hücresindeki ilk katmanda depolanacak atık içinde ağır ve keskin maddelerin bulunması önemlidir. Söz konusu ilk katman genellikle ilk işletme katmanı olarak isimlendirilir. Söz konusu katmana atık serilmesi esnasında, atık borular üzerine kompaktör tekerleklerinin sızıntı suyu borularına yeterince uzak tutacak bir şekilde özenle seçilmelidir. İlk işletme katmanı bu şekilde oluşturulduktan sonra müteakip katmanlar, bir köşeden itibaren atık dolgu işlemleri ilerletilerek doldurulur. Atık hücrelerinin hangi sıra ve yıllar arasında aktif olacağı DD tesisi projesinde belirtilmelidir. Atık boşaltma ve serme, sıkıştırma işlemlerinin gerçekleştirildiği çalışma alanı yüzü genişliği, aynı anda çalışan araçların her biri başına asgari 4~6 m'den az olmamalıdır. Çalışılan katmana atık serildikçe, kompaktörlerle atık üzerinden geçilerek sıkıştırma yapılır. Sıkıştırma derecesi, serilen atık tabakası kalınlığı ve kompaktörün geçiş sayısına bağlı olarak değişir. Genelde kompaktörün serilen atık tabakası üzerinden 5-6 kez geçmesi yeterlidir. Özel olarak tasarlanmış parçalayıcı ağır çelik tekerlekli kompaktörlerle sıkıştırmada şev eğimleri 1:3 ü aşmamalıdır [2].

2.3.2.3. Günlük Örtü Teşkili

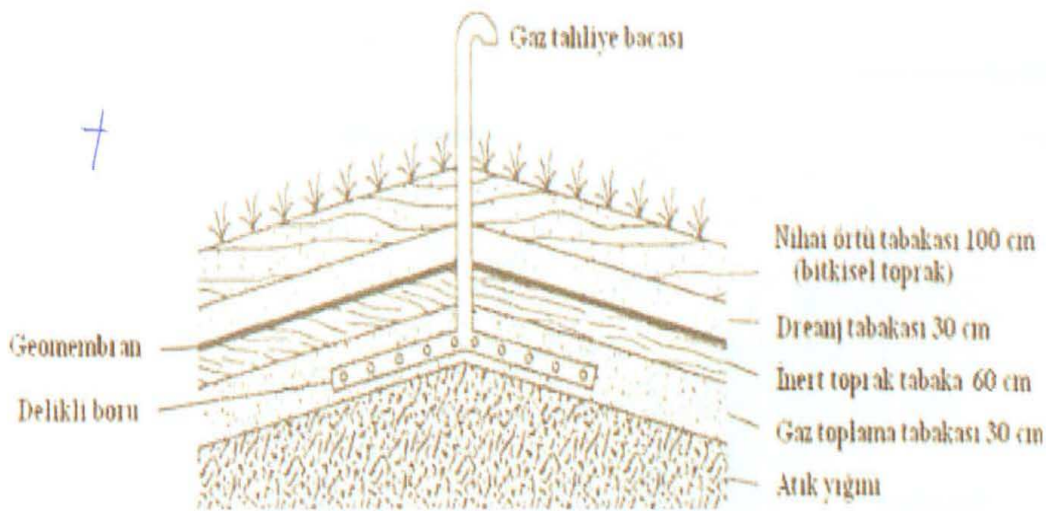
Her iş günü sonunda, depolanan atık katmanı üzeri toprak veya elek üstü (>15 mm) kompost, tekstil, köpük v.b. uygun malzemelerle kapatılır. Günlük örtü hastalık taşıyıcı mikrop ve haşerelerle, kemirgenlerin kontrolü, koku, uçucu madde ve hava kirlenici emisyonların azaltılması ile yangın ve sızıntı suyu oluşumu riskinin düşürülmesi bakımından da önem taşır. Günlük örtünün rahat teşkili bakımından da şev eğimlerinin 1:3 ten daha dik tutulmaması gerekir [2].

2.3.3. Depo Gazı Toplama ve Tahliye/Enerji Geri Kazanım Sistemleri

2.3.3.1. Gaz Toplama Sistemleri

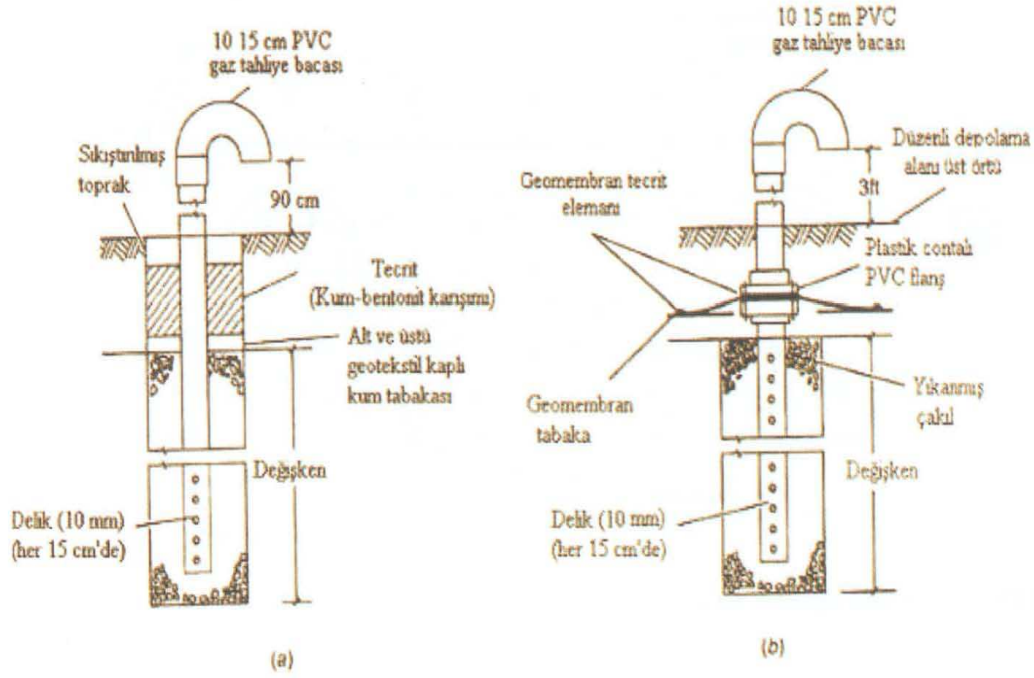
Atık depo sahalarında oluşan depo gazı, basınç etkisi ile geçirimli bölgeleri takip ederek yayılır. Söz konusu gaz yayılımı kontrol edilmediği takdirde, kanalizasyon şebekesi, pompa emme çukurları ve binaların bodrum katları gibi zemin içindeki hacimlerde gaz birikimi ve patlaması sonucu, ölümcül kazalar yaşanabilir. Gaz yayılımını önlemek üzere düzenli depolama tesisleri, tahliye bacaları ve gaz kuyuları ile teçhiz edilmelidir.

Depo gazı emisyonları, başlıca 2 sistemle kontrol edilir: pasif toplama/tahliye ve aktif gaz çekme. Pasif sistemde depo gazı, tahliye kanalları (hendekleri) ile toplanır ve herhangi bir işleme tabi tutulmadan uygun noktalardaki gaz tahliye bacaları veya borularından atmosfere verilir. Pasif gaz tahliye bacaları nihai örtü tabakasının 1~1.5 m altına kadar indirilir yada düşey gaz toplama kuyularına benzer tarzda, dolgu yüksekliğinin üst %75'lik kısmında gaz toplama/tahliye kuyusu tarzında teşkil edilir. Pasif gaz toplama bacaları Şekil 2.11'de belirtildiği üzere basitçe teşkil edilebilir [2].



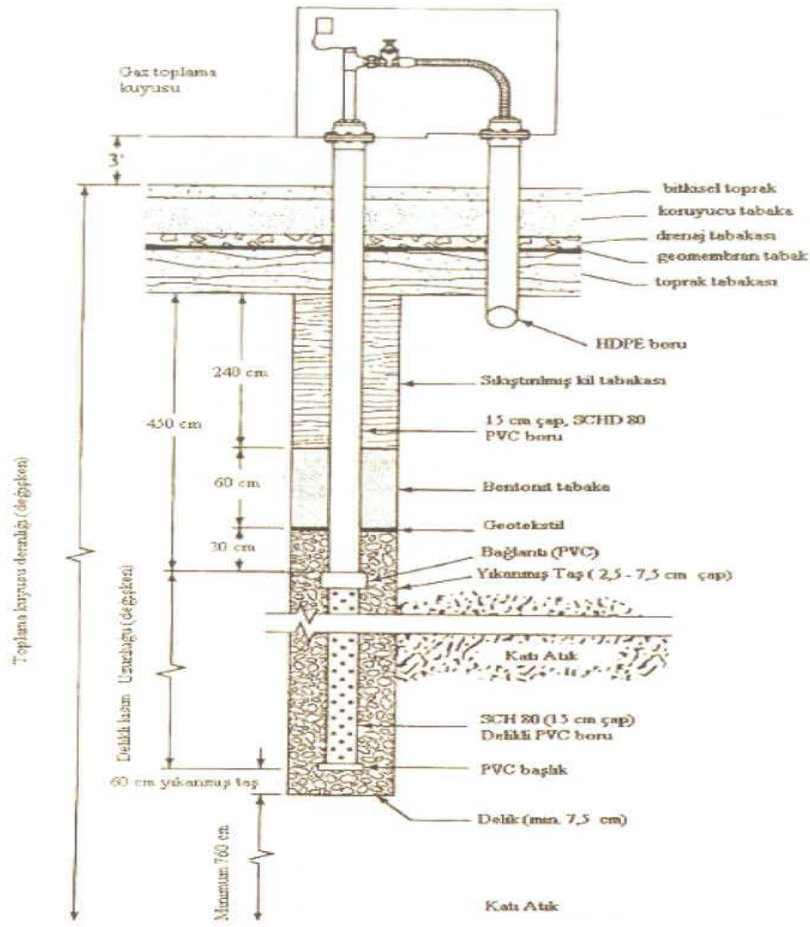
Şekil 2.11. Depo Gazı İçin Pasif Gaz Toplama Sistemi [2]

Aktif gaz toplama/çekme sisteminde, gaz toplama kuyuları bir boru şebekesi ile birbirine bağlanarak, depo gazı merkezi bir fan vasıtasıyla kısmi vakum altında çekilir. Aktif gaz çekme kuyuları düşey veya yatay kuyular halinde teşkil edilebilir (Şekil 2.12).

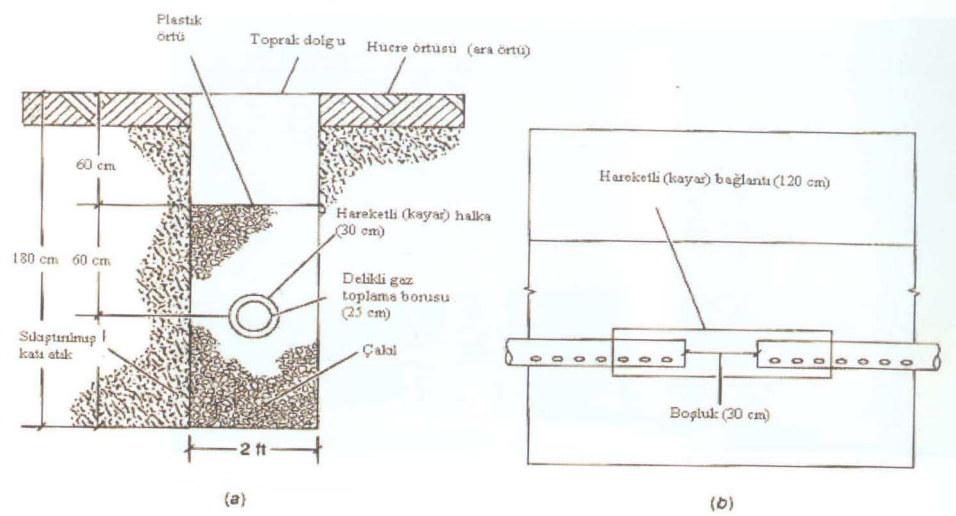


Şekil 2.12. Gaz Tahliye Bacaları [2]

Düşey kuyular, burju veya döner sondaj yöntemiyle açılırlar tipik bir düşey gaz çekme kuyusu Şekil 2.13'te, yatay gaz toplama hendeği Şekil 2.14' te gösterilmiştir.

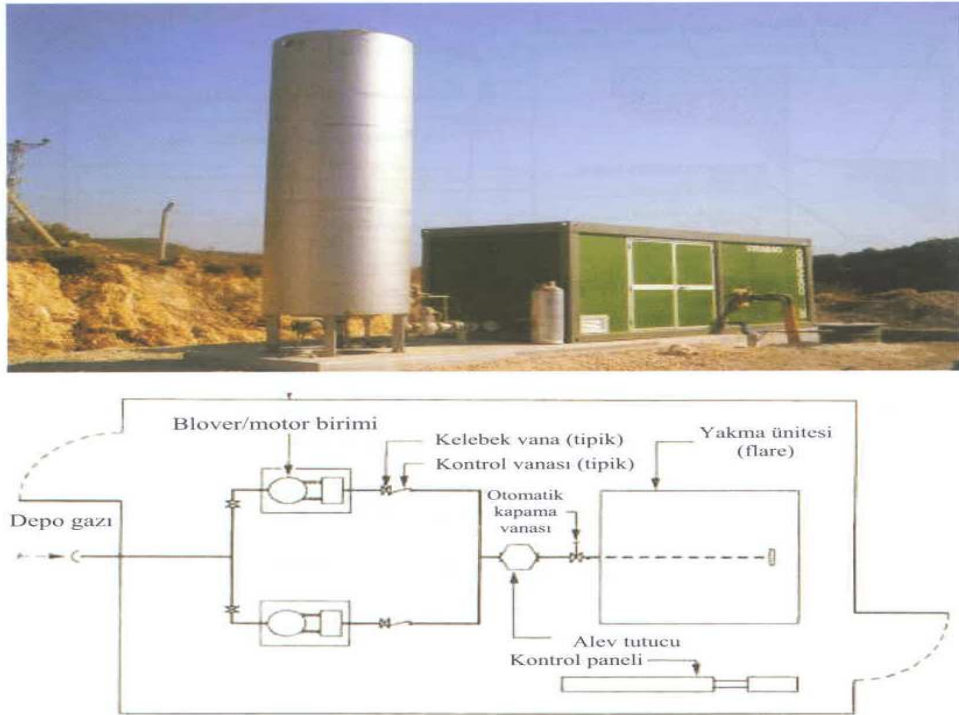


Şekil 2.13. Düşey Gaz Toplama Kuyusu ve Başlığı Detayı [2]



Şekil 2.14. Yatay Gaz Toplama Borusu Detayı [2](a) enkesit (b) yan görünüş

Depo gazı merkezi bir blower (gaz emme körükleri) sistemi ile gaz toplama şebekesine uygulanacak vakum altında emilir. Blower sistemi kapasitesi, çekilecek gaz debisine göre belirlenir. Gaz toplama sistemi hidrolik kayıpları en aza indirmek üzere, uygun çap ve uzunlukta teşkil edilir. Aktif gaz toplama sistemlerinde kullanılan tipik bir blower-gaz yakıcı (flare) istasyonu ve şematik yerleşim planı Şekil 2.15'te görülmektedir.

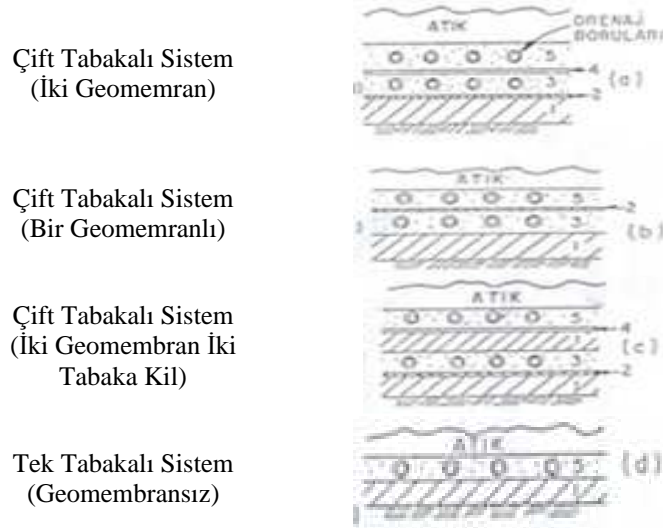


Şekil 2.15. Tipik Gaz Yakma Ünitesi [2]

2.4. Gelişmiş Ülkelerde Uygulanan Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri

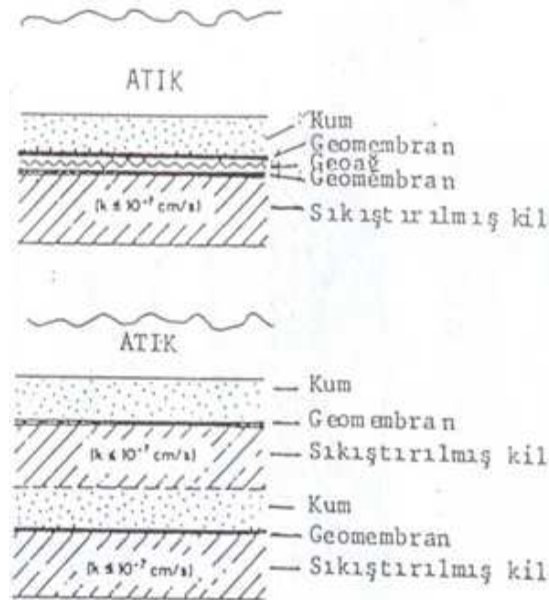
Çevre bilincinin farkına varmayan ve gelişmemiş ülkelerde hala vahşi depolama yapılmaktadır. Bundan dolayı insan sağlığı, hayvan sağlığı ve canlı hayata birçok nimetler sunan ve birçok tehlikelerden koruyan bitki örtüsü, çok ciddi tehlikelerle karşı karşıya kalmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde ise vahşi depolamadan düzenli depolamaya geçiş süresi yaşanmakta ve söz konusu sistemler kullanılmaktadır. Ancak gelişen çevre bilincine bağlı; Kuzey Amerika ve Avrupa'da atık depolama standartları yükseltilmiştir. Şekil 2.16'da sıkıştırılmış kil tabakalarına ilaveten bir

veya iki tabaka geomembranla beraber geoağın kullanıldığı taban kaplama sistemleri görülmektedir [15].



Tabaka	Malzeme
1	Sıkıştırılmış kil
2	Geomembran
3	Sızıntı suyu control tabakası
4	Geomembran (ikinci)
5	Sızıntı suyu toplama tabakası

(a)

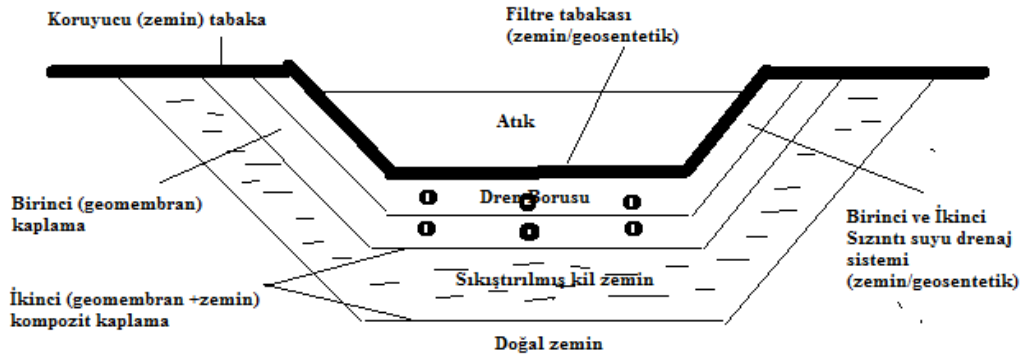


(b)

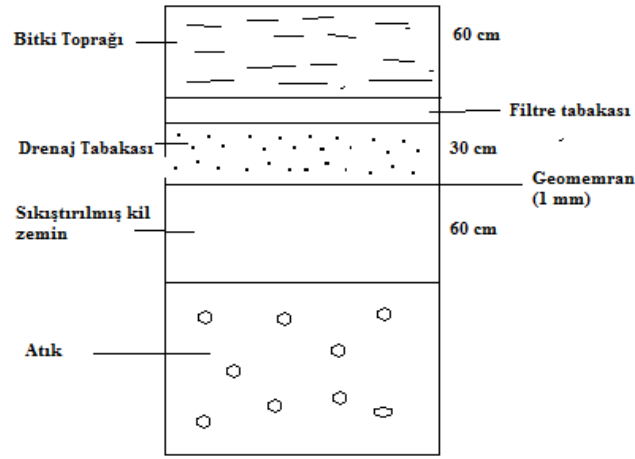
Şekil 2.16. Taban Kaplamaları [15].

(a) Taban kaplama alternatifleri (b) Sıkıştırılmış kil tabakaları içeren kesitler

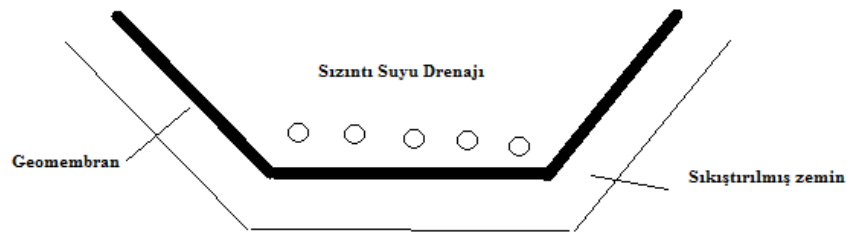
Şekil 1.17’de A.B.D’de, zararlı ve evsel katı atık depolama alanları için taban kaplama kriterleri verilmektedir. Ancak A.B.D’de, pek çok eyalette evsel atıklar ve zararlı atık için mecburi tutulan kriterler benimsenmektedir. Şekil 1.18’de Avrupa Topluluğu ülkelerinde kullanılması önerilen kaplama sistemleri yer almaktadır. Gelişmiş bir örtü sisteminde kağıt endüstrisi artığı gibi yeniden değerlendirilecek hale getirilen ve “geri kazanılmış malzeme” olarak adlandırılacak malzemelerin kullanımı; depolanması ve uzaklaştırılması gereken atık malzeme miktarını azaltması yönünden de yararlıdır [15].



(a)



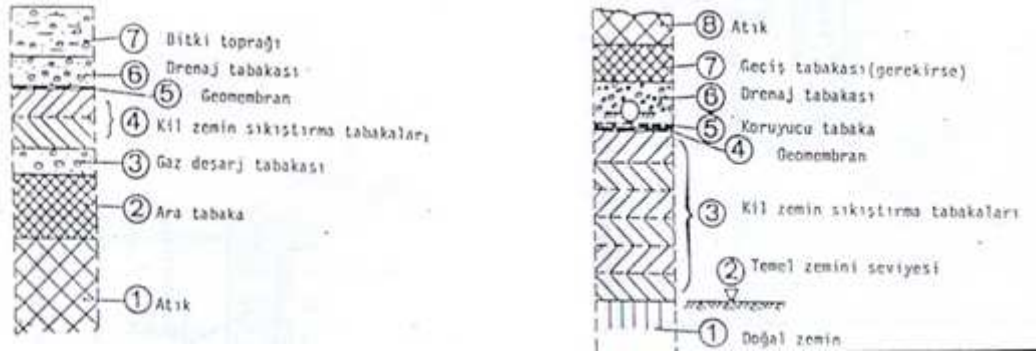
(b)



(c)

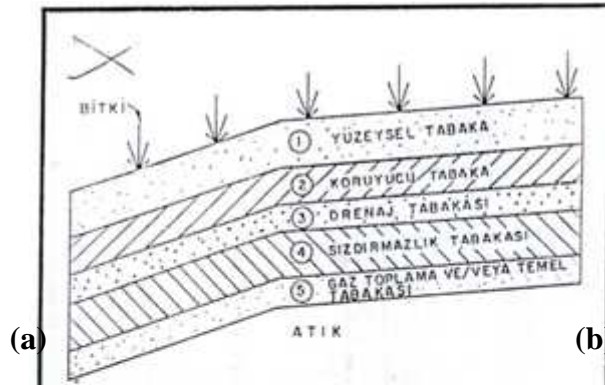
Şekil 2.17. A.B.D Katı Atık Depo Alanları Kaplama Kriterleri [15]

(a) Zararlı atık taban kaplaması (b) Üst örtü sistemi (c) Kentsel atık taban kaplaması



(a)

(b)



(a)

(b)

TABAKA	MALZEME
1	Tarım toprağı; geosentetik erozyon kontrol tabakası, taş
2	Toprak, geri kazanılmış malzeme, taş
3	Kum veya çakıl, geoağ veya geokompozit
4	Sıkıştırılmış kil, geomembran, Geosentetik - kil (bentonit) prefabrike kaplama, geri kazanılmış malzeme
5	Kum veya çakıl, toprak, geoağ veya geotekstil, geri kazanılmış malzeme

(c)

Şekil 2.18. Avrupa Topluluğu'nda Kullanılması Önerilen Kaplama Sistemleri[15]

(a)üst örtü, (b)taban kaplaması, (c) Beş tabakalı kalıcı üst örtü sistemi

2.5. Konu ile İlgili Literatür Taraması

Katı atık sistemlerine ilişkin olarak birçok araştırma yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde literatürde yer alan bu çalışmalara yer verilmiştir.

Sridharan ve Jayadeva (1982), yaptıkları çalışmada yüzeysel kirlenme probleminde en önemli zemin parametresinin permeabilite, katsayısı olduğunu belirlemişlerdir. Bu yazarlara göre; kirleticilerin zemine sızması ancak zeminin permeabilitesine bağlıdır. Bu nedenle atık depo alanlarında yeraltı suyunun kimyasal kirleticiler tarafından kirlenmesini önlemek için permeabilitesi düşük kil malzemedен geçirimsiz tabakalar yapılmalıdır. Killerin permeabilitesi difüze çift tabakanın kalınlığına, iyon valansına, iyonik konsantrasyona ve boşluk sıvısının yapısına bağlıdır. İyon konsantrasyonundaki veya valans değerindeki bir artış ile iyon boyutu ve dielektrik sabitindeki bir azalış ile difüze çift tabaka bastırılır ve permeabilite katsayısı artırılır [16].

Benson vd. (1994), tarafından yapılan çalışmada sıkıştırılmış zemin tabakalarının permeabilitesi üzerinde, zemin bileşimi ile ilgili olarak atterberg limitleri, dane dağılımı, kil yüzdesi, ince ve kaba dane yüzdesinin etkileri ve zemin yapısı ile ilgili olarak kalıp su muhtevası, kompaksiyon enerjisi ve kompaksiyon metodunun etkileri araştırılmıştır. Benson vd. (1994) tarafından yapılan bu çalışmanın laboratuvar sonuçları ise; minimum permeabiliteye (10^{-7} cm/sn), likit limit $>20\%$, plastisite indisi $> 7\%$, ince dane yüzdesi $> 30\%$ ve kil yüzdesi $> 15\%$ olduğunda ulaşılabileceğini ifade etmektedir [17].

Erşan (1996), tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül katkısının zeminin kıvam limitleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla; zemine farklı oranlarda uçucu kül katılarak hazırlanmış numuneler üzerinde, likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Uçucu kül oranı arttıkça zeminin likit limit ve plastik limit değerleri arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşılık plastisite indisi uçucu kül oranındaki artışla azalmıştır [18].

Yıldız vd. (2001)'ne göre; yeterli büyüklükte ve uygun alanlar bulunduğu durumlarda kullanılan düzenli depolama yönteminde, çevreye olan olumsuz etkiler en aza indirilirken, atıkların kontrol altında ayrışarak inert ve kararlı maddelere dönüşümü sağlanmıştır. Yazarlara göre evsel katı atıkların bertarafında en ekonomik ve en basit yöntem düzenli depolamadır [19].

Tuncan vd. (1999), tabii zeolitlerin çöp deponi alanlarında kullanılabileceğini; zeolit, bentonit ve kumlar üzerinde yaptıkları uygulamalar ile kanıtlamışlardır. Geçirimsiz tabaka olarak bentonit-kum, bentonit-kaolinit karışımları ve sadece kaolinit ve illit killilerinin de kullanılabileceği belirtilmektedir. Çalışmada zeolit kullanılmasının amacı, sadece geçirimsiz tabaka oluşturmak değil, yüksek katyon değişim kapasitesinden dolayı sızıntı suyundaki ağır metal ve tehlikeli organikler gibi, kirleticilerin yer altı zeminini ve yer altı suyunu kirlenmesinin önlenmesi amaç edinilmiştir [20].

Yıldız (2000)'a göre katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problem, sızıntı suyudur. Katı atıkların muhtevassından kaynaklanan; çok sayıda kirlenici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu, katı atıkların içinden süzülerek birtakım fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar sonucu oluşmaktadır. Önlem alınmadığı takdirde yer altı ve yer üstü su kaynakları kirlenmektedir. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkisini önlemek için, depo sahasının taban ve tavanı depolama bitirildikten sonra geçirimsiz hale getirilmelidir [21].

Yılmaz (2001)'e göre; tane boyutu ($d < 2.0\mu$) veya minerolojik yapısı açısından tüm killer geçirimsizdir. Killen ayrıca yüksek su emme veya tutma özelliği taşırlar. Dolayısıyla baraj, gölet ve atık projeleri ile sondajlı araştırmalarda önemli yapısal doğal gereçtir. Killi zeminlerin geçirimsizliği 10^{-7} ile 10^{-11} m/s arasında değişirken, kumlu zeminler en az 1000 kez daha yüksek geçirimsizdir ($10^{-5} < K_{um} < 10^{-3}$ m/s.) [22].

Saka (2001), çalışmasında endüstriyel atıkların katı atık düzenli depolama alanı yapımında, geçirimsiz malzeme olarak kullanılabileceğini, yaptığı deneysel çalışmalarla kanıtlamıştır [23].

Yılmaz (2001), yaptığı çalışmada, çöp sızıntı suyu birleşiminde bulunan çeşitli kimyasalların kilin hidrolik iletkenliğine olan etkisini incelemiştir [24].

Yılmaz vd. (2008), katı atık depolama alanlarındaki kil şiltelerinin geçirimsizliklerine NaCl tuzunun etkisi konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada; iki adet düşük plastisiteli (CL sınıfı) ve bir adet yüksek plastisiteli (CH sınıfı) kil kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda; farklı konsantrasyonlardaki NaCl tuz çözeltilerinin üç farklı kilin geçirimsizlik özelliği laboratuvar sonuçlarında elde edilmiştir. Laboratuvar deney sonuçları ise;

- NaCl tuz çözeltileri, düşük plastisiteli (CL) killerin geçirimsizlik özelliklerini kısmen, yüksek plastisiteli (CH) kilin geçirimsizlik özelliklerini ise; önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir.
- CH sınıfı kilin yapısı, çözeltinin konsantrasyonunun artmasıyla bozulmakta ve geçirimsizlik katsayısı yaklaşık 24 kat artış gösterdiği tespit edilmiştir.
- 1M'lık NaCl tuz çözeltisinde, CL1, CL2 ve CH killerinin geçirimsizlik katsayıları sırasıyla $1,761 \cdot 10^{-7}$ cm/sn, $6,224 \cdot 10^{-7}$ cm/sn ve $1,900 \cdot 10^{-7}$ cm/sn olarak tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, yüksek konsantrasyonlardaki çözeltilerde CH sınıfı kilin geçirimsizliği CL sınıfı killer ile yaklaşık aynı olmaktadır. Bu nedenle, bazı özel koşullarda, katı atık depolama alanlarının tasarımında CH sınıfı kil yerine CL sınıfı killerin de kullanılabileceği söylenmektedir (N).

Diğer taraftan CH kilinde ise tüm bu çözeltiler için konsantrasyonun artmasıyla, hidrolik iletkenliğin arttığı saptanmıştır [25].

Koyuncu ve Güney (2001), çalışmalarında katı atık depolama tabanında kaolin ve zeolit karışımının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada kullanılan zeolit ve kaolin karışımı, yüksek katyon değişim kapasitesine ve düşük permabiliteye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle kirliliğin azaltılması ve geçirimsizlik için iyi bir

karışım olduğu düşünülmüştür. Bu karışımın atık depolama tabanlarında geosentetik malzemelere alternatif bir malzeme olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir [26].

Goncaoğlu vd. (2001)'ne göre katı atıkların bertarafı için değişik teknolojiler (yakma, kompost vb.) kullanılsa da, sonuçta bir miktar atığın nihai olarak depolanması gerekliliği belirtilmektedir. Gerek bu şekildeki ve gerekse diğer atıkların nihai bertarafı için düzenli depolama alanları hazırlanmakta ve kullanılmaktadır [19].

Yıldız ve Goncaloğlu (2001)'na yaptığı çalışmaya göre katı atık düzenli depolama sahalarında sızıntı suyunun kontrollü bir şekilde toplanması için, yüksek oranda sızdırmazlığa sahip bir alt tabakanın oluşturulmasına ihtiyaç olduğu gösterilmektedir. Bu amaçla genellikle permeabilitesi 1×10^{-7} cm/sn veya daha küçük olan hidrolik iletkenliğe sahip sızdırmazlar kullanılmaktadır [27].

Akbulut (2002)'a göre atık depolarının geoteknik yönden değerlendirilmesinde; doğal ve sentetik şilte sistemlerinin dizaynı önemli yer tutmaktadır. Yazara göre; katı atık depolama alanlarında geçirimsizliği sağlamak için önceleri doğal kil şilteler kullanılırken; günümüzde üniform geçirimsiz bölgeler oluşturmak için sentetik ve doğal malzemelerin karışımından oluşan kompozit şilte sistemleri kullanılmaktadır. Modern atık depoları tipik bölümler (hücreler) halinde yapılmaktadır. Başlangıçta depo çalışma alanı proje derinliğine kadar kazılır ve depo altı geçirimsiz şilteler çöp suyu drenajını sağlayacak şekilde düzenlenir. Günümüzde modern atık depolarında kullanılan şilteler, çöp suyunu uzaklaştırmaktadır. Bu şilteler atık deposunun daha güvenilir ve daha uzun süreli kullanımına imkan sağlamaktadır [28].

Güney vd. (2003), farklı pH seviyelerinde, değişik ağır metal içerikli sular kullanılarak, çöp depolama alanında, bentonit/zeolit karışımının kullanılıp kullanılmayacağı araştırmıştır. Bu amaçla yapılan deneyler sonucunda, bu karışımın ağır metal tutma kapasitesinin yüksek olduğunu ve çöp depolama alanı alt tabakası olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Çalışmada karışımların permeabilite katsayısı 10^{-8} cm/sn mertebesinde bulunmuş olup, yazında verilen standartlara uygunluğu kanıtlanmıştır [26].

Yılmaz ve Eskişar (2003)'e göre geosentetik kil kaplamalar (GCL) geotekstil veya geomembran kullanılarak oluşturulan bir hidrolik bariyer olup; "Na Bentonit Kili" veya "Ca Bentonit Kili" nin iki geotekstil veya geomembran tabakası arasına çok ince malzeme halinde yerleştirilip, kimyasal yapıştırıcılar ile yapıştırma, iğneleme veya dikme yöntemleri ile oluşturulacağı belirtilmektedir. GCL'nin ana avantajları arasında; sınırlı kalınlığı, altındaki zemin veya atık malzeme üzerindeki farklı oturmaları azaltması, kolay yerleştirilmesi ve düşük maliyeti gibi hususlar yer almaktadır. Geosentetik kil kaplamalar 10^{-8} - 10^{-10} cm/sn hidrolik iletkenliğe sahiptir [29].

Show vd. (2003) çalışmasında, evsel katı atıkların yakılması ile elde edilen uçucu kül ve çimento katkısının kil zeminin permeabilitesi üzerine etkisini araştırmıştır. Katkısız zemine ait permeabilite değeri 1.97×10^{-7} cm/sn dir. Bu değer deney sonuçları ile karşılaştırıldığında evsel atık uçucu külün drenaj özelliklerini artırıcı role sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca evsel atık uçucu kül çimentoya oranla daha fazla permeabilite değerini düşürmektedir [30].

Sarıkavaklı, (2003), tarafından yapılan çalışmada; bor işletmelerinde cevher zenginleştirilmesi sonucunda oluşan, atık sularının depolanmasına uygun malzeme seçimi için tabii toprak, doğal bentonit ve bentonit içerikli geotekstil kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, tabii toprağın son derece yetersiz olduğu gözlemlenmiş, ancak doğal bentonit ve bentonit içerikli geotekstil tabakalarında 9 ay boyunca herhangi bir sızıntı olmadığı belirlenmiştir [31].

Mollamahmutoğlu (2004), yaptığı çalışmada; termik santral taban külünün, bentonit ve zeolit ile birlikte, katı atık depolama sahası taban malzemesi olarak kullanılabilceğini kanıtlamıştır. Yazında özellikle taban külüne ait en düşük permabilite değerinin 1×10^{-5} cm/sn olduğunu tesbit etmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında permabilite değeri daha da düşürülerek aynı zamanda taban külü, %30 oranla bentonitle karıştırıldığında $8,1 \times 10^{-8}$ cm/sn'lik bir geçirimsizlik değerine ulaşılmıştır. Yine %30 bentonit katkılı zeolit karışımında $1,2 \times 10^{-7}$ cm/sn'lik permeabilite değerine ulaşılmıştır [32].

BÖLÜM 3. DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSLERİNDE KULLANILAN SIZDIRMAZ TABAN MALZEMELERİ

3.1. Doğal Kil Malzeme

Depolama alanlarının geçirimsiz tabaka için kullanılan malzemeleri arasında; kil, granüler filter malzemesi, geotekstil ve kil karışımı, kil ve geotekstil/geonet karışımı, kil membrane karışımı, geomembran ve granüler filter malzemesi karışımı, geotekstil ve geomembran karışımı, geomembran ve geonet karışımı olarak sıralanmaktadır.

Kil minerallerinin, büyük bir kısmının kristal kafesleri iki yapısal birimden oluşmakta olduğu belirtilmiştir. İlki; birbirine yakın sıralanmış iki oksijen ya da hidroksil tabakasından bu iki tabakanın arasında octahedral koordinasyonlu bir alüminyum, demir ya da magnezyum içeren yapıdan oluşmaktadır [33].

3.1.1. Kil ve Kil Minarelinin Tanımı

Kilin tanımı ilk defa 1546 yılında Agricola tarafından yapılmıştır. Her ne kadar plastiklik, tane boyu ve pişirilince sertleşmeyi içeren esaslar çoğunlukla sabit kalmışsa da, bu tanım o zamandan bu yana bir çok kez değiştirilmiştir.

1963 yılına kadar yapılan tarihsel tanımların geniş şekilleri, bazı araştırmacılarca kaleme alınmıştır. Kil tanımı; kil bileşenlerinin önemini vurgulamaktadır. Bazı yazarlar bir çok neden arasında, kil minerali kil karakteristiğinde olmayan bir çok aksesuar mineral içerebileceğinden dolayı “kilde oluşan herhangi bir mineral” olarak kil mineralini tanımlamanın uygunsuzluğuna işaret etmiştir [32].

Kil mineralinin önceki tanımları basitçe kil minerallerini tabakalı silikatlerle (phyllosilicate) özdeşleşmiştir. Böylece geçerli bir neden olmaksızın bu terimin kullanılması kabul edilmiştir. Ancak kil minerali tanımı kil bileşeni anlamında

kullanıldığı zaman yararlı olmaktadır. Kil mineralleriyle, tabakalı silikatlerin aynı anlamda kullanılması yaklaşımı, bütün kilin özelliklerinin kilin bileşenlerinin özellikleriyle ilişkilerini göz önünde bulundurulduğunda başarısız olmaktadır [31].

Bazı yazarlar kil bileşenlerinin tane boyutu gerekliliğini mineralojiyle birleştiren kavramsal probleme ilave bir karışıklık olarak değinmektedir.“Mineral” terimi tane boyutunu kapsamayan tam bir tanıma sahip olduğundan dolayı, bundan bir mineral grubunun tanımı tane boyutu esas alınarak, yapılamaz sonucu ortaya çıkmaktadır [31].

Kil; doğal olarak oluşmuş, başlıca ince daneli minerallerden meydana gelen, yeterli miktarda su katılınca genellikle plastikleşen ve kuruma veya pişmeyle sertleşebilen malzemedir. Her ne kadar kil genellikle tabakalı silikatleri kapsasa da, plastiklik veren ve kurutulup veya pişirildiği zaman sertleşen diğer malzemeleri de içerebilir. Kildeki ortak fazlar, plastiklik yapmayan materyaller ve organik maddeler içerebilir. Kilin “doğal oluşum” zorunluluğu, sentetik olanları kapsam dışı tutar. Mineralin standart tanımı esas alındığında, killer başlıca inorganik materyaller olup, çok miktarda organik madde içeren turba, bataklık çamuru ve bazı topraklar kapsam dışında tutulur. Organik fazlar gibi ortak fazlar kilde bulunabilir.“Kil minerali” tanımı, tabakalı silikat grubu mineraller ile killere plastiklik veren kuruma veya pişmeyle sertleşen mineraller için kullanılmaktadır [31].

3.1.2. Killerle İlgili Genel Bilgiler

Kayıtlı tarihin başlangıcından beri kendilerine ait üstün kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, insanoğluna çok yönlü yararlı bir malzeme olan killer, doğada yaygın olarak bulunan ve önemli endüstri kollarının ana hammaddesini oluşturmaktadır. Endüstri malzemesi olmalarının yanı sıra, çeşitli mühendislik uygulamalarında temel zemini, yapı malzemesi veya yer üstü ve yeraltı kazılarında sorunlar yaratabilen bir malzeme olarak da, mühendislerin karşısına çıkmaktadır.

Fizikokimyasal özellikleriyle de ilgi çeken killer, ayrıca ziraat açısından da büyük önem taşımakta ve tarım sektörünün temel taşı oluşturmaktadır [34].

Plastiklik; killerin önemli özelliklerinden biridir. Herhangi bir doğrultuda malzemenin baskı altında bırakılmadan geçirdiği geçici deformasyon miktarı plastiklik olarak tanımlanmaktadır [35].

Çok plastik olan killere şişen kil (flat clay-özlü kil) adı verilir. Düşük derecede plastik olan killere ise zayıf kil (lean clay-özsüz kil) adı verilir. Killerin plastikliğini etkileyen faktörler; kil minerallerinin tipi, dane boyutu, tane şekli, organik madde ve çözünmüş tuz içeriği, iyon adsorpsiyonu, kil dışı minerallerin miktarı ve tipi, killerin kuru (dry strength) ve ham (green strength) dayanımları olarak sıralanabilir [35].

Plastiklik ve ham dayanım birbirlerine yakın kavramlardır. Kuru dayanım mevcut ince dane oranına, tanelerin şekline, kil fraksiyonunun hidrasyon derecesine, mamul üretim metoduna ve kurutma oranına bağlıdır.

Renk; pek çok kil için üniform renk gerekli bir özelliktir. Ürünün rengi oksidasyon ve demir minerallerinin dane boyutuna, fırınlanma sıcaklığına, vitrifikasyon derecesine (bu alümina oranına, kireç ve kil minerallerindeki magnezyaya ve yakma işlemi sırasındaki fırında bulunan gazın bileşimine) bağlı olarak değişir. Killerin pek çoğu, Prekambrien'den Holoosen'e kadar olan zaman aralığında oluşmuş kayaçlardan meydana gelir. Bunlar; buzul kil, toprak, alüvyon, lösler, şeyi, şist ve sleytlerdir. Çeşitli kil gruplarını içeren bazı ateş killeri ve kaolenler yapısal kil ürünlerinin imalinde kullanılmaktadır [35].

3.1.3. Kil Minerallerinin Özellikleri

Kil minerallerinin özellikleri; yüzey alanı, yüzey yükü, katyon değiştirme kapasitesi, su ile etkileşmesi, organik bileşiklerle etkileşmesi, plastisite, tiksotropi vb. gibi mineralojik, kimyasal ve fiziksel özellikler ile doğrudan veya dolaylı olarak ilgilidir. Katyon değişimi üç bakımdan önemlidir. Tabaka yükünü nötr yaparlar, fiziksel etkileri vardır (örneğin bir çok kil mineralinin endüstriyel özellikleri ve X ışını verileri, katyon sayısı ve mineral yapısı ile değişebilir). Kimyasal etkileri vardır. Kil mineralleri yer aldığı bir çok tepkimeyi yönlendirirler. Kil boyutunda mineraller içeren kil minerallerinin bir çok özelliği kil mineraline bağlı su ile ilgilidir [32].

3.1.4. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

Kil mineralleri bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık sanayi mineralleri arasında yer almaktadır. Pek çok çalışmacı tarafından killerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri esas alınarak sınıflama türleri geliştirilmiştir. Fakat hala kesin bir sınıflandırma mümkün değildir. Killerin sınıflandırılmasına geçmeden önce bilinmesi gereken bazı önemli özellikler vardır. Bu özellikler şöyle sıralanabilir;

Temel yapı elementleri: Kil mineralleri bir kaç istisna dışında, fillosilikatlerden olup mikalar gibi devamlı tabaka yapısındadır. Killerin iki ayrı tipte tabakanın ardışıklı olarak tekrarlanmasından meydana gelmiş karakteristik bir yapıları vardır. Bunlar; genellikle sürekli tabakalardan oluşan tetrahedral (dört köşeli) ve oktahedral (sekiz köşeli) tabakalı sulu alüminyum silikatlerdir. Oktahedral yapıdaki tabakalar kenarlarda her biri Al^{+3} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} katyonlarının etrafında yer alan oksijen ve hidroksit iyonlarının kompozisyonlarıdır. Tetrahedral tabakalarda köşelerde olmak üzere etken olarak Si^{+4} daha az miktarda Al^{+3} ve nadiren de Fe^{+3} katyonları bulunmaktadır. Alüminyum katyonları oktaederin merkezinde ise oktahedral merkezlerin sadece üçte ikisi doludur. Buna dioktahedral adı verilmektedir. Magnezyum katyonları merkezde ise tüm oktaeder merkezleri doludur; buna da trioktahedral adı verilmektedir.

Temel tabaka tipleri: En basit fillosilikat kil minerali yapısı, tek alüminyum oktaeder tabakası ve 1:1 yapısındaki tek silikat tetrahedral katmanlarının birleşimidir. 2:1 tabaka yapısındaki 2 tetrahedral ve 1 oktahedral tabakaları içeren başka ana tabaka türleri de vardır. Üç tabaka ya dioktahedral ya da trioktahedral olabilir. Bu bireysel katmanlar ya nötrdür veya ara tabakalardaki boşluktaki katyonlarca dengelenen negatif yükleri taşırlar. Katyon yükü her iki tabakadaki katyonların bileşimince kontrol edilir [34].

Kil mineralleri aşağıdaki kriterlere göre sınıflandırılır [34].

1. Tabaka tipleri,

2. Ara malzemelerin türü,
3. Tabaka yükleri.
4. Oktahedral tabakadaki katyon içerikleri.

Killer; kimyasal özelliklerine göre çeşitli sınıflara ayrılmıştır. Killer; silikat minerali olup, özelliklerine göre de çeşitli sınıflara ayrılırlar. Bu özelliklerin başında kristal yapıları gelmektedir. Kristal yapılarına göre killerin sınıflama Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Killerin Kristal Yapılarına Göre Sınıflandırılması [34]

TABAKA	GRUP	CİNS
2 TABAKALI OLANLAR	Kaolinit Grubu – Eş boyutlu olanlar – Bir yönde uzanmış olanlar	Kaolinit, Dikit Halloysit
3 TABAKALI OLANLAR	Smektit Grubu İllit Grubu Vermikülit Grubu	Montmorillonit, Bediellit, İllit Vermikülit
4 TABAKALI OLANLAR	Klorit Grubu	Klorit
ZİNCİR YAPISI OLANLAR	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit Atapulgit Paligorskit

3.1.5. Temel Kil Mineralleri Gruplarının Kökenleri

3.1.5.1. Kaolen Grubu Kil Mineralleri

Bu grubun ana kayaçları feldspat ve feldspatoid mineralleri bakımından zengin granit, diyorit, nefelin, gnays vb. olarak sıralanabilir. Genelde pek çok kayaç eğer fiziksel ve kimyasal şartlar hazırlanmış ise kaolenit grubu, kil mineralleri yapmak için ayrışabilir. Kaolen grubu mineraller, hidrotermal çözeltilerden otojenik mineraller olarak da oluşabilir. Bu grubun oluşabilmesi için gerekli ana jeokimyasal ve fiziksel şartlar aşağıda sıralanmıştır [34]:

Hümit ve tropikal ortam: Yeterli suyun bulunduğu bir ortamdır. Bu su Na, K, Ca, Mg iyonlarını ortamdan uzaklaştırırken Al ve Fe iyonlarını ortamda bırakır.

Geçirgen kayaçların varlığı: Bu kayaçlar ortamı drene etmeye müsaade ederler, bu da ayrışmayı hızlandırır. Aynı zamanda alkalilerin hareketliliğini de artırır.

Bir eğimin varlığı: Hareketli iyonların tahliyesine izin verir.

3.1.5.2. İllit Grubu Kil Mineralleri

İllit grubu kil mineralleri pek çok farklı yolla oluşabilir [34];

- Bir çözültiden, bir çökelti olarak otojenik olarak oluşabilir.
- Detritik bir mineral olarak mika veya feldspatların ayrışması ile oluşabilir.
- Deniz suyunda veya diyajenez esnasında simektitlerden oluşabilir.

İllit grubu için gerekli şartlar;

- Ortamdaki alkalilerin bir kısmını uzaklaştıran fakat K^+ iyonlarını bırakan bir sıcaklık ve hümid iklim. Özellikle Mg^+ iyonları bu grup için uygun iyonlar değildir.
- Aynı zamanda tropikal iklim de bu grup kil mineralleri için uygun iklim değildir.
- Drenaj tam olarak iyi olmalıdır, fakat çok aşırı olmamalıdır.
- K iyonlarının stabilitesi için ortamın pH'ı 7'den büyük olmalıdır.
- Eğim ortalama olmalıdır.

3.1.5.3. Montmorillonit (Smektit) Grubu Kil Mineralleri

Montmorillonit çok çeşitli ortamlarda (denizsel, karasal v.s.) oluşabilir. Mg^+ , Ca^+ , Al^+ , Si^+ içeren kayaların hepsi ana kayaç olabilir. Fakat bazik ve nötr magmatik kayalar en idealidir.

Montmorillonit (Smektit)'in oluşması için gerekli şartlar [34]:

- Kuru ve çöl iklim (arid): Bu iklimde alkalilerin yıkanması ile ortamdan uzaklaştırılması. Ana kayaç olarak volkanik killer ve kayalar (bazalt ve volkanik cam) sayılabilir.
- pH 7'den büyük olmalıdır ve yüksek silis içermelidir.

3.1.5.4. Karışık Tabakalılar

Karışık tabakalılar çok geniş ortamlarda oluşabilirler. Başlıcaları, detritik ve diyajenetiktirler. Bunların oluşumu için gerekli şartlar ise [34];

- Ana kayaç bazik ve nötr bileşiminde olmalıdır (andezit, bazalt, andezitik ve bazaltik tüfler vb.).
- İklim kuru ve arid olmalı,
- pH tam olarak bazik olmalıdır şeklinde sıralanabilir.

3.1.5.5. Klorit Grubu Kil Mineralleri

Kloritler çok sınırlı şartlarda oluşur. Bu şartlar aşağıda açıklanmıştır.

Detritik mineral olarak yıkanmanın yoğun olmadığı bölgelerde Mg^+ ve Fe^+ iyonları korunabilir. Biotit, amfibol, piroksen, olivine vb. mafik minerallerce zengin bir ana kaya gereklidir.

Ana kayaçtan koparılan kırıntıların (minerallerin) sulara tuz, kristaloid veya kolloid olarak çözülmesi ve bu çözünen minerallerin sedimanter havzalarda çökmesi ile otojenik mineraller oluşur. Otojenik mineraller, ya çökme işleminden kısa bir süre sonra ya da çökel henüz konsolide olmamış durumda iken veya gömülme ve diajenez esnasında, çökeller içerisinde oluşabilir. Otojenik mineraller; çimento olarak veya çimento olarak etki etmeyen, gözenek boşluklarında kristallenmiş yeni mineraller olarak oluşurlar; ya da orijinal kırıntılı minerallerin veya kayaç kırıntılarının yerini alarak şekillenirler[36,37].

Otojenik mineraller başlıca kuvars ve diğer silika mineralleri, feldispat, mika ve kil, glokonit ve kamozi ve diğer mineralleri içerir. Kumtaşları (detritik veya otojenik kökenli); ana mineralleri oluşturan taneler, matriks ve çimento olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Ayrıca orijinal minerallerin yerini almış mineraller ve gözenek boşlukları bulunabilir. Bu bileşenlerden çimento ve orijinal minerallerin yerlerini almış olan mineraller (kimyasal prosesler ile oluştukları için) otojenik minerallerdir. Bazı ana mineral tanelerin, matriksin veya çimentonun yerini alan otojenik (yeni kristalleşen) mineraller çoğu kumtaşının gözeneklerinde bulunabilir. Fiziksel prosesler ile oluşmuş, ana mineraller ve matriks ise detritik minerallerdir. Kumtaşlarında, kum (0.0625-2 mm) ve iri silt (0.0625-0.031) boyu arasındaki taneler kumtaşlarının ana minerallerini oluşturur. Kumtaşları keza çeşitli miktarlarda matriks (0.03 mm'den küçük malzemeler) ve çimento içerebilir[37].

3.1.5.6. Sepiyolit ve Atapuljit Grubu Kil Mineralleri

Bu killer diğer killerden farklıdır. Çünkü bunlar zincir yapılarına sahiptirler. Sınırlı bölgelerde kumtaşları ve detritik veya otojenik olarak oluşur.

Gereken şartlar ise [34];

- Karasal veya hidrotermal ortam
- Çok büyük miktarlarda Mg^{+} iyonunun varlığı
- pH 8'den büyük (çok alkali) olmalıdır şeklinde sıralanabilir.

3.1.5.7. Glaukonit Grubu Kil Mineralleri

Montmorillonit, Fe^+ ve Mg^+ iyonlarının oktahedral tabakada Al^+ lerin yerini almasıyla ve sonuç olarak K iyonunun katılmasıyla glaukonite dönüşebilir.

Gereken şartlar ise [34];

- Çok çalkantılı bir su
- Tuzlu oksidasyon ortamı
- Çoğu glaukonitler denizlerde, bazıları karasal ortam olarak sıralanabilir.

3.1.6. Kil Minerallerinin Oluşum Ortamları

Kil minerallerinin alüminyum silikatlarının değişimi sonucunda, ayrışma ve düşük ısı sıcak su işlemleri ile oluşurlar. Bu bilgi; jeolojik ilişkilerden edinilmiştir. Fakat; değişim işlemlerinin ayrıntıları belirsizdir.

Kil mineralleri aynı zamanda yavaş gelişen tepkimeler ile, killeri meydana getiren elementlerin, oksitleri veya bu elementlerin çözeltileri ile ancak yüksek ısıda elde edilebilecek koşullar altında oluşur. Normal ısıda asit çözeltilerinin kaolinit, bazik çözeltilerinin de montmorillonitin oluşumunu sağladığı, bu nemli iklimlerinin yamaçlarında, yaygın bitki tabakasının toprak çözeltilerini asitleştirdiği ve kationların yıkanarak taşındığı ortamlardaki toprakların ana mineralidir. Montmorillonit ise; az nemli iklimlerdeki toprak çözeltilerinin hafif alkalın ve kationların daha yavaş uzaklaştığı ortamların karakteristik mineralidir [31].

Bu genellemeler doğru gibi görünse de, bazı jeologlar bu fikre karşı çıkmaktadır. Çünkü killerin büyük bir kısmı, kendilerinden evvelki tortulların ürünleri ve genellikle kendi buldukları yerde oluşmamış olmalıdır. K^+ un illitin oluşması için gerekli olduğu fikri, uzun zamandan beri potasyum gübresi kullanılan topraklarda illitin oluşması ile destek bulmuştur. Ayrıca bu montmorillonitin kısmen illite dönüşebileceğini de KCl ve KOH içeren çözeltilerinin kaynatılmaları ile

kanıtlanmıştır. İllit aynı zamanda çöllerdeki alkali toprakların ve K^+ içeren sokulum kayaçları oluşan toprakların ana mineralidir.

Kil mineralleri genellikle 5 ortamda oluşur. Bu ortamlar;

- Ayrışma ortamı
- Sedimentasyon ortamı
- Gömülme ortamı
- Diyajenez ortamı
- Hidrotermal alterasyon ortamı

Ayrışma Ortamı: Yüzey veya yüzeye yakın kayaçlarda hava, su ve canlılar tarafından yapılan parçalanma, ufalanma, ayrılma, çözünme, çürüme gibi değişikliklerin tümüne ayrışma ya da bozunma adı verilir. Ayrışma; mekanik veya kimyasal olabilir [38].

Mekanik ayrışma, kayaçların kimyasal bileşimlerinin değişmeden ufak parçalara ayrılmasıdır. Mekanik ayrışma genişleme-büzülme, donma-çözünme ve organizmaların işlevleri ile meydana gelir. Kimyasal ayrışma ise bir mineralin düşük sıcaklık, düşük basınç, su ve atmosferik gazları içeren yüzey şartları altında dengesi bozulduğunda meydana gelir. Kimyasal ayrışma ilerlerken, mineralin bileşenleri yeryüzü şartlarında denge halinde olan mineral ve bileşikleri oluşturmak için tekrar birleşirler (Tablo 3.2).

Diyajenez Ortamı: Tortular ilk çökme yerlerinde su ile hemen hemen doymuş (%80-90 H_2O) çamur veya kırıntı malzeme yığını halinde bulunur. Bu nedenle bu malzemenin elemanları ayrıktır. Topluca bakıldığında ise; plastik bir özellik gösterirler. Bu tortuların, bir takım fiziko-kimyasal olaylar sonucunda, sağlam kayaç haline dönüşmeleri olayına, diyajenez adı verilir. Diyajenez sonunda sertleşen kayaçların en önemli özelliklerinden biri sertlikleri, diğeri ise; kırıntı veya otijen mineraller içermesidir [38,39].

Tablo 3.2. Yer Kabuğunda Enfazla Bulunan Minerallerin Ayrışma Ürünleri [27]

ORIJINAL MINERAL	ANA KATI ÜRÜN	DIĞER ÜRÜNLER
Feldspat	Kil Minerali	+ İyonlar. SiO ₂
Ferromagnezyan minerali (Biyotit mika) içerikli)	Kil Minerali	+ İyonlar. SiO ₂ Fe oksitler
Muskovit mika	Kil Minerali	+ İyonlar, SiO ₂
Kuvars	Kuvars Taneleri	
Kalsit		İyonlar

Hidrotermal Alterasyon Ortamı: Sıcak sular ve jeotermal sistemlerdeki kayaçlar arasındaki birbirlerini etkileme, ikincil minerallerin oluşmasını sağlar. Bu minerallerin kimliği ve çokluğu, hüküm süren fiziksel ve kimyasal şartlara bağlıdır. Hidrotermal yataklarda oluşan minerallerin çoğu; aktif jeotermal sistemlerdekilerin aynısıdır. Meydana gelen hidrotermal alterasyonun tarzı ve yoğunluğu, rezervuar kayaçların kendilerini bulduğu yeni çevreyi yansıtır. Bu yüzden bir volkanik ve jeotermal çevrenin arasındaki büyük farklılıktan dolayı, volkanik kayaçlar çok kolay alterasyona uğrar. Fakat düşük dereceli metamorfik kayaçlar 200° C'de alkali klorit sularıyla hemen hemen nötr pH'de zayıfça reaksiyona girer [34].

3.1.7. Kil Minerallerinin Şekli ve Genel Yapıları

Kil parçacıkları levha şeklinde olup bazıları mikaya benzer ve hegzagonaldir. Bazıları da düzensiz levha şeklindedir. Tüm hallerde yatay eksenleri düşey eksenlerden uzundur. Her kil parçacığı şekli ne olursa olsun, levha şeklinde ve çok sayıda kristal ünitelerden meydana gelmiştir[31,32,33-34].

Bu kristal üniteleri kolloidin tipine bağlı olarak değişik derecelerde birbirine bağlanmıştır. Bazı kil minerallerinde (bentonit gibi) bu üniteler arasındaki mesafeler ıslanma ve şişme ile genişler. Diğer bazı killerde (kaolinit gibi) ise üniteler birbirine daha sıkı bağlanarak çok az genişleme gösterir.

Kil parçacıkları; tanelerinin küçüklüğü nedeniyle çok büyük bir spesifik yüzeye sahiptir. Kil parçacıkları her bir parçacığı oluşturan levha şeklindeki kristal üniteleri arasında da iç yüzeylere sahiptir. Yani kil fraksiyonunun büyük yüzey alanı sadece parçacıkların küçük oluşundan değil, aynı zamanda sahip oldukları iç yüzeylerden kaynaklanmaktadır.

Her bir kil parçacığı izomorfus yer değiştirmeden dolayı, negatif elektrikle yüklü olduğu için elektriksiz olarak aktiftir. Negatif elektrik yükleri nedeniyle, kil parçacıkları pozitif elektrikle yüklü katyonları kendine çeker ve bağlar. Böylece çift tabaka meydana gelir. Bir ortamda kil kolloidi hareket ettiği zaman ona bağlı binlerce katyon da birlikte hareket eder. Kil parçacıkları etrafında fazla miktarda su adsorbe edilmiştir. Bu suyun bir kısmı kil parçacıklarına bağlı bulunan katyonların hidrasyonu sonucunda tutulmaktadır. Bir değerlikli katyonlar iki değerlikli katyonlara nazaran daha fazla hidrate olurlar. Ayrıca kil parçacıkları etrafında su tuttıkları gibi kristalleri oluşturan levhalar da su tutar.

3.1.8. Kil Minerallerinin Mineralojik Yapıları

Kristal özelliklerine göre, genel olarak dört grup kil mineralleri bulunur [34]:

- Kaolinit kil minerali
- Montmorillonit kil minerali
- İllit kil minerali
- Klorit kil minerali

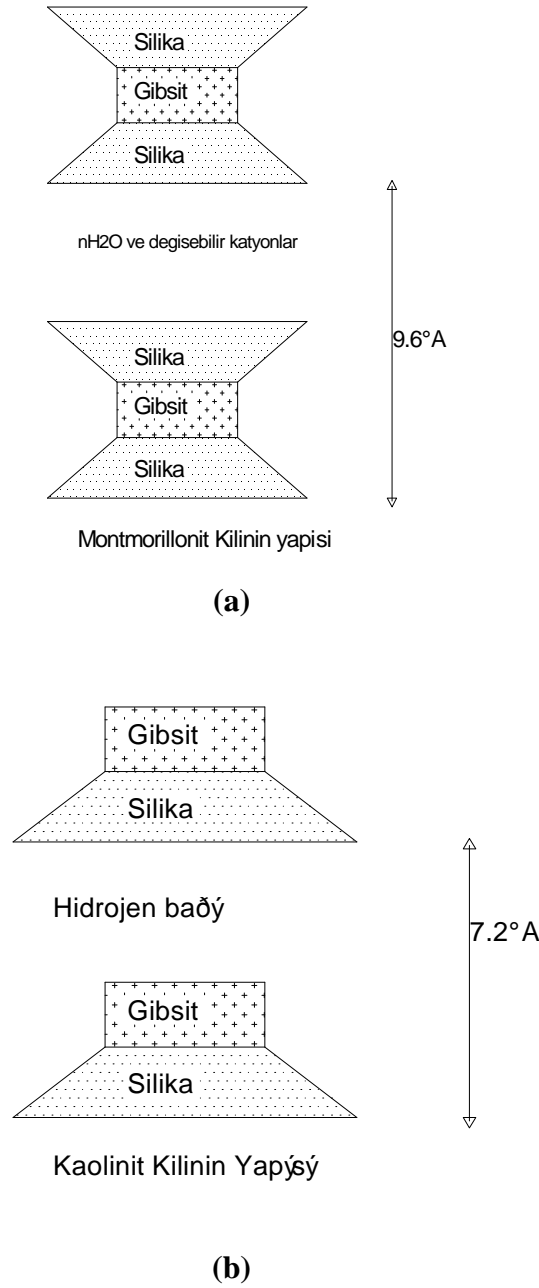
Kaolinit grubu içine pek çok kil minerali girer. Çoğu zeminde bulunur. Bu minerallerin kristalleri levha şeklindedir ve düz kristal üniteleri oluşturur. Kristal üniteleri bir gibsit ve bir silika tabakasının üst üste gelmesiyle meydana gelir. Her bir tabaka 7.2°A kalınlığındadır. Her bir tabakanın yanal boyutları 1000°A-20000°A ve kalınlığı 100°A-1000°A arasındadır. Bu nedenle bunlara 1:1 kristal tipinde olan killeri adı verilir.

Kristali oluşturan üniteler birbirine oksijen hidroksit bağı ile sıkıca bağlanmıştır. Bu yüzden kil ıslandığı zaman kristal üniteleri arasındaki mesafe genişlemez. Kristal üniteleri arasına su moleküllerinin ve kationlarının girmesi çok güçtür. Bu sebeple kaolinitin efektif yüzeyi sadece dış yüzeylerdir. Bunun sonucu olarak kaolinitin kation değişim kapasitesi, diğer kil mineralleri gruplarından daha düşüktür. Diğer silikat kil minerallerinin aksine, kaolinitin plastiklik, kohezyon, büzülme ve şişme özellikleri çok zayıftır. Kaolinit ıslandığı zaman orta derecede bir plastisiteye sahip olurken, diğer kil minerallerinden daha büyük içsel sürtünmeye sahiptir. Özgül yüzeyleri $10 \text{ m}^2/\text{gr}$ civarındadır [34].

Montmorillonit grubu da birçok mineral içerir. Bu grupta montmorillonitten başka saponit hektorit, nontronit gibi mineraller de vardır. Montmorillonit kristali alt ve üstten iki silika tabakası ile kuşatılmış bir gipsit tabakasından ibaret kristal ünitelerinin üst üste gelmesiyle oluşur. Silis ve gipsit tabakaları oksijen atomuyla birbirine bağlanmıştır. Montmorillonit kristalleri 2:1 tipindedir. Yani iki silika tabakası ve bir gipsit tabakasından oluşan ünitelerden meydana gelmiştir.

Kristal üniteleri birbirine su ve kationlar ile bağlanmıştır ve kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebilir. Montmorillonit kristallerinin çapları 0.01.2 mikron arasında değişir. Kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebildiğinden kationlar ve su molekülleri üniteler arasına girebilir. Böylece montmorillonit miktarı yüksek olan killer ihtiva ettikleri değişebilir. Kationlar; tabiatına bağlı olarak önemli miktarda şişme veya büzülme gösterebilirler. Montmorillonit kil kristalinin dış yüzeylerine ek olarak geniş bir iç yüzey mevcuttur (Şekil 3.1). Bu iç yüzeyler de negatif elektrikle yüklüdür. Bu yüzden montmorillonit kili yüksek bir kation değişim kapasitesine sahiptir. Bu kapasite kaolinitin 10.12 mislidir [34].

Suyun kristal üniteleri arasına girmesiyle montmorillonit kristalleri büyük oranda genişler ve şişerler. Montmorillonit yaprakları suyla sarılmış olup ıslandıkları zaman yüksek plastisiteye ve düşük içsel sürtünmeye sahiptir. Kurdukları zaman çok miktarda büzülme ve çatlama meydana gelir. Bu gruptaki killerin özgül yüzeyleri $800 \text{ m}^2/\text{gr}$ civarındadır [34].



Şekil 3.1. Montmorillonit ve Kaolinit Killerinin Yapısı [34]

(a) yapı görünüş 1 (b) yapı görünüş 2

İllit grubu, toprakla en fazla önem taşıyan kil minerali grubudur. Kristal yapısı 2:1 tipindedir. Genel yapısı bakımından montmorillonit kiline benzer. Bununla beraber taneciklerin çapı nispeten daha büyüktür. Silis tabakasındaki silisin %15'i

alüminyumla yer değiştirir. Açıkta kalan valanslar ise geniş ölçüde potasyum iyonları tarafından doldurulmuştur. Potasyum atomlarının kristal üniteleri arasında yer aldığı ve üniteleri birbirine bağladığı kabul edilmektedir. Bu sebeple de kristal üniteleri arasındaki mesafeler fazla genişleme göstermez. Bunun sonucu olarak hidrasyon, kation adsorpsiyonu, şişme, büzülme ve plastiklik gibi özellikler belirgin değildir. Bu özellikleri kaolinit ile montmorillonit arasındadır. İllit kilinin şişme özelliği montmorillonit kilinden az, içsel sürtünmesi ise fazladır. Özgül yüzeyleri 80 m²/gr civarındadır [34].

Kloritler, kristalin şistler, hidrotermal taşlar ve çok sayıda silikatların aberasyonundan meydana gelmektedir. Aktüel sedmanlar, toprak ve sedimanter kayalar içerisinde bulunur. Bazı sedimanların başlıca kompozisyonlarını kloritler oluşturur. Klorit taneleri dört katlı (2:1:1) yapısal tabakaya sahiptir. Kloritlerin kristal yapısını mika ve brusit tabakaları meydana getirir [34].

3.1.9. Killerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri

3.1.9.1. Spesifik Yüzey Alanı

Kil danelerinin spesifik yüzey alanı dane davranışına etki eden en önemli özelliklerden biridir. Bunun nedeni ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Flokülasyon, dispersiyon ve iyon değişimi spesifik yüzey olayına bağlıdır.
- Spesifik yüzey alanı, kil mineralinin dane çapına ve şekline bağlıdır.
- Çift tabaka kalınlığı kil tanesinin yüzey alanına direkt olarak bağlıdır.
- Çift tabaka kalınlığı yüzey alanı arttıkça artmaktadır [40].

3.1.9.2. Elektriksel İletkenlik

Kil-su sisteminin elektriksel iletkenliği, ortamın elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Kil-su sisteminin elektriksel iletkenliği, karışımındaki iyonların tipi ve sayısı ile ilgilidir. Tane konsantrasyonu artarsa, kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve kolloidal tanelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini arttırmaktadır. Bir tanede elektriksel yükün değeri doğrudan o tanenin yüzey alanı ile ilgilidir. Bu nedenle o tanenin davranışına etki eden elektriksel kuvvetlerin kitle kuvvetlerine göre değeri de, tanelerin birim kütlesine düşen yüzey alanı ile ilgilidir. Tane birim kütlesine gelen yüzey alanı, tanelerin davranışına etki eden elektriksel yükün mertebesini göstermektedir [40].

3.1.9.3. İyon Değişim Kapasitesi

Fazla özgül yüzeye sahip kil mineralleri, humik maddelerin yüzeyleri üzerindeki ve katyon halindeki iyonları adsorbe edebilir. İyon adsorbsiyonu dönüşümlüdür; yani adsorbe edilmiş diğer iyonlarla eşit miktarlarda yer değiştirir. Örneğin, $6K^+$ ile $3Ca^{+2}$ veya $2Al^{+3}$, $2NO_2$ ile SO_4 ' ün yer değiştirmesidir. Değişim, katı ve sıvı fazlar arasındadır. Yani ortamda su mevcut olmalıdır.

Değişebilir iyonlar, sınırlı bir periyot içerisinde, örneğin katyonlar için 1 N amonyum asetat veya 0.2 N $BaCl_2$, anyonlar için 1 N amonyum oksalat gibi olağan ayıraçlar tarafından değiştirilebilen iyonlardır. Değişemeyen iyonlar ise minerallerin kafesi içinde hapsedilmiş veya organik bileşiklerde kimyasal olarak bağlanmış ve sınırlı bir periyot içinde alışımlı ayıraçlarla salıverilmeyen iyonlardır. Bazı iyonlar bu ikisi arasında bir karaktere sahiptir. K^+ iyonları düzlemsel yüzeyler üzerindeki daha kolay değişebilen iyonlardan daha kuvvetli, fakat ara katman pozisyonlarındaki iyonlardan daha zayıf bir şekilde tutulurlar [41].

3.1.9.4. pH Değeri

Karışımın yüksek pH değeri kil danelerini dispers yapmakta ve kil daneleri yüzeyindeki negatif yükü arttırmaktadır. Dolayısıyla daneler arasındaki itmeyi

arttırmaktadır. pH değeri, ortamda H^+ veya OH^- iyonlarının bulunma derecesini ifade etmektedir. pH değişimi zemin/su karışımını önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük pH değeri, toprakta flokülasyonu ve gevşek zemini ifade etmektedir, yüksek pH değeri ise dispersiyonu ve sıkı zemini belirtir [40].

pH değeri kil danelerinin adsorbsiyon karakterlerini etkiler. Asit durumunda adsorbsiyon artar. Kil danelerinin köşeleri pozitif yüklerle yüklenir. pH değerinin düşük olması kil dane yüzeyinin elektriksel potansiyelini azaltmaktadır. Yani negatif yüzeyleri nötralize etmektedir, zeminin pH değeri metal miktarlarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH değeri, genellikle kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için 6.8 arasında olmalıdır [40].

3.1.9.5. Ağır Metaller

Metaller, zemin içindeki kil minerallerinin yüzeylerine katyon değişim kapasitesi ile adsorbe olur. Metaller genellikle killere ve organiklere sıkıca bağlıdır. Metal ile kil arasındaki işlemler; metal tipi, zemin tipi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraktaki metal konsantrasyonunun ilerlemesi rahatlıkla gözlenebilir. Toprak pirinin ayarlanması ile düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklarda metallerin toprak içinde ilerlemesi durdurulabilir [40].

3.1.9.6. Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Katyon Değişim Kapasitesi (KDK), izomorfus yer değiştirme kapasitesinin bir ölçüsüdür. İzomorfus yer değiştirme olayı kristal yapıda herhangi bir değişiklik olmadan iyonların yerlerine eşit veya farklı değerli başka iyonlara bırakmasıdır. Zeminde alüminyumun çok olduğu bir yerde, bir silikon atomunun yerini bir alüminyum atomunun alması örneğinde olduğu gibi, böyle bir durumda Si^{+4} , Al^{+3} olduğu için bu değişimle her değişim için bir dengelenmemiş elektrik yükü ortaya çıkar. Böylece iyonlar eş boyutlu olmadıkları için kristal yapıda şekil bozulması olur. Bunun bir sonucunda, kristal yapının büyümesi engellenmektedir. Kaolinit kilinde bu tip değişimler az olup kaolinit kil daneciğinin elektriksel yükü göz önüne alınırsa

yaklaşık her 400 silikon iyonundan birisinin bir alüminyum iyonu tarafından tutulduğu söylenebilir [42].

İzomorfus'un yer değiştirmesinde kil danelerine negatif yük sağlanır. Bu dengesizliği önlemek için ortamdaki katyonlar, kil danelerinin kenarlarına ve bloklar arasına girmektedir. Bu katyonlar; birçok durumda yerlerini bir başka katyona da bırakabilmektedir. Yük dengesizliğini giderebilmek için gerekli katyon miktarına katyon değişim kapasitesi adı verilir. Katyon değişim kapasitesi spesifik yüzey alanının artması ile artmaktadır. Katyon değişim hızı kil mineraline, katyonlarına ve anyonlarına bağlıdır [41].

Killerde katyon değişiminin nedenleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

- Silika-alümina birimlerinin kenarlarındaki kırık bağlar, katyonlarla dengelenmiş olan doyurulmamış yükler oluşturur. Tanecik boyutu küçüldükçe kırık bağ sayısı ve buna bağlı olarak da katyon değişim kapasitesi artar. Kaolinit kilinde kırık bağlar katyon değişiminin en önemli nedenidir. Montmorillonit kilinde ise katyon değişiminin %20'si kırık bağlardan, %80'i örgü içi yer değiştirmelerden ileri gelir.
- Örgü içi yer değiştirme ile örgü içinde dengelenmemiş yükler oluşur ve yüklerin çoğu, adsorblanmış katyonlarla dengelenmiştir.
- Açıktaki hidroksillerin hidrojeni değişebilir katyonlarla yer değiştirebilir. Bu etki de Kaolinit kilinde önemlidir [43].

3.1.9.7. Anyon Değişim Kapasitesi (ADK)

Kil minerallerinde, hidroksitler ve organik maddeler üzerinde pozitif yükler bulunmakla birlikte, negatif yükler çok daha fazla sayıda olduğundan anyon değişim kapasitesi, katyon değişim kapasitesine göre daha azdır. Bu nedenle anyonların yer aldığı değişim reaksiyonları, katyonların yer aldığı değişim reaksiyonlarından daha az önemlidir. Kil mineralleri, düşük pH'da kırılmış kenarlar üzerindeki Al-OH gruplarından OH⁻ iyonları dissosiyasyon olarak değişebilir hale geçer.

Yine H^+ iyonları bu kesimlere eklenir. Topraktaki katı maddeler, toplam hacmin yaklaşık %50 sini ve kalan %50yi ise toprak suyu ile toprak havası oluşturur[44].

Tabakalı silikatlı kil minerallerince içeren negatif yükün temel kaynağı, bu minerallerde yeralan Si^{+4} veya Al^{+3} katyonlarından birisinin, daha düşük değerlikli bir katyonla değiştirilmesinden oluşur. Minerallerde bu biçimde bir katyonun değiştirilmesi "izomorfik değişim" olarak anılır ve bu çeşit değişim başat olarak 2:1 tipi silikatlı kil minerallerinde olagelir ve 1:1 tipi kil minerallerinde bu biçim değişim çok az gözlenir. Kil minerallerinde izomorfik değişim, binlerce yıl önce minerallerin oluşumları sırasında gerçekleşmiş olduğundan, bu mineraller günümüzdeki çevresel koşullarca fazlasıyla etkilenmez.

İzomorfik değişimle oluşmuş bulunan negatif yük, kil minerallerinin yüzeylerinde düzenli bir dağılım gösterir ve sürekli negatif yük olarak anılır. Bu yük toprak çözeltisinin pH'nca etkilenemez veya değiştirilemez[44].

Kil minerallerinde negatif yükün bir diğer kaynağı, tabakalı silikat minerallerinin "kırık köşeleridir".

Tetrahedral ve oktahedral tabakalarının kenarlarında açıkta bulunan sırasıyla Si-OH ve Al-OH grupları yer alır. Bu kırık köşelerde negatif ve pozitif yükün miktarı, toprak çözeltisinin pH'na bağlıdır. Kırık köşelerde oluşan yük "pH-bağımlı" yük olarak anılır. Asit toprak koşullarında (düşük pH), kil minerallerinin kırık kenarlarında açıkta bulunan Si-OH ve Al-OH gruplarının OH- iyonlarının yerlerinden ayrılarak, ortamda bulunan fazla miktardaki H^+ iyonu tarafından nötrleştirilmesi nedeniyle, kırık kenarlarda pozitif yük (Si^{+} ; Al^{+}) bulunur veya oluşur. Toprak çözeltisinin pH'sı yükseltirse, ortamda bulunan H^+ iyonlarının bir bölümü nötrleştirilir ve minerallerin kırık kenarlarında negatif yük oluşumu artar. Toprak çözeltisinde pH'nın > 7 'nin yukarısına çıkarılması, kırık kenarlarda açıkta bulunan Si-OH ve Al-OH gruplarında yeralan OH köklerindeki H'in hemen hemen hepsinin ayrılarak iyonize olması ($Si-O^-$; $Al-O^-$) ile sonuçlanır ve bu süreç, kırık kenarlarda maksimum düzeyde negatif yük oluşmasını sağlar[44].

2:1 tipi killerde negatif yükün yalnız yaklaşık % 5-10 kadarı pH-bağımlı yük iken, 1:1 tipi kil minerallerinde pH-bağımlı negatif yük miktarı, toplam negatif yükün % 50 veya daha fazlasıdır.

Topraklarda pH-bağımlı negatif yükün bir diğer kaynağı, humus veya toprak organik maddesinin bileşiminde yer alan karmaşık organik moleküllerdir. Bu kaynaktan oluşan negatif yük, karboksilik asitte ($-\text{COOH} \leftrightarrow -\text{COO}^- + \text{H}^+$) ve fenolik ($-\text{C}_6\text{H}_4\text{OH} \leftrightarrow -\text{C}_6\text{H}_4\text{O}^- + \text{H}^+$) gruplarda bulunan H^+ iyonunun dissosiyasyonunun sonucunda oluşur. Toprakta pH yükseldikçe, bu H^+ iyonlarının bir bölümü nötrleştirilir ve böylece yukarıda sözü edilen büyük organik moleküllerin yüzeylerinde negatif yük (H^+ 'in ayrılması ve nötrleştirilmesi ile) oluşumu da artar.

Bazlarla doygunluk, toprakların önemli özelliklerinden biri olup, bu, genellikle bir toprağın yıkanma ve ayrışma düzeyini yansıtır. Baz saturasyonu ya da doygunluğu, bir toprakta bulunan Ca, Mg, Na ve K gibi bazik katyonların, toprağın KDK içindeki % si olarak tanımlanır[44].

Genel bir kural olarak arid bölgelerde normal işlenmemiş toprakların baz doygunluğunun düzeyi, nemli bölge topraklarına göre daha yüksektir. Her zaman gerçek olmamakla birlikte, özellikle yağışlı bölgelerde kireç kayaları ve bazik kayalar üzerinde oluşmuş toprakların baz doygunluğu düzeyi, kum taşları ya da asit kayalar üzerinde oluşmuş topraklara göre daha yüksektir. Baz doygunluğu, kuşkusuz toprak pH'sı ve toprak verimliliğinin düzeyi ile ilgilidir. Organik ve mineral bileşimi bilinen bir toprakta, baz doygunluğunun artışı ile o toprağın pH'sı ve verimliliği de artar.

Toprak çözeltisinde bulunan anyonlar da kil minerallerinin ve organik maddenin yüzeylerinde yer alan pozitif yüklü noktalarca absorbe olma ya da tutulma durumu ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, toprakların ADK'de vardır[44].

3.2. Geosentetikler

3.2.1. Geosentetik Türleri ve Gelişimi

Geoteknik, ulaşım ve gittikçe artan bir şekilde çevre geotekniği uygulamalarında, zemin veya zemin içinde bir sistemin performansını iyileştirme amacıyla sentetik polimerlerden üretilen plastik malzemeler zemin yerine; zeminle beraber kullanılmaktadır. Çok farklı görünüm ve özellikleri olan bu tür ürünlerin tümü şimdilerde “yer kabuğu” anlamına gelen “geo” ve “sentetik” kelimelerinden harmanlanan “geosentetik” (geosynthetic) jenerik ismi ile anılmaktadır. Geosentetikler ile ilgili terimler ve tanımları veren prEN ISO 10318 no’lu “Taslak Avrupa Standardına” göre geosentetik tanımı, ürünün içerebileceği doğal ve sentetik polimerleri ve diğer malzemeleri de kapsayacak şekilde aşağıdaki gibi verilmektedir [45].

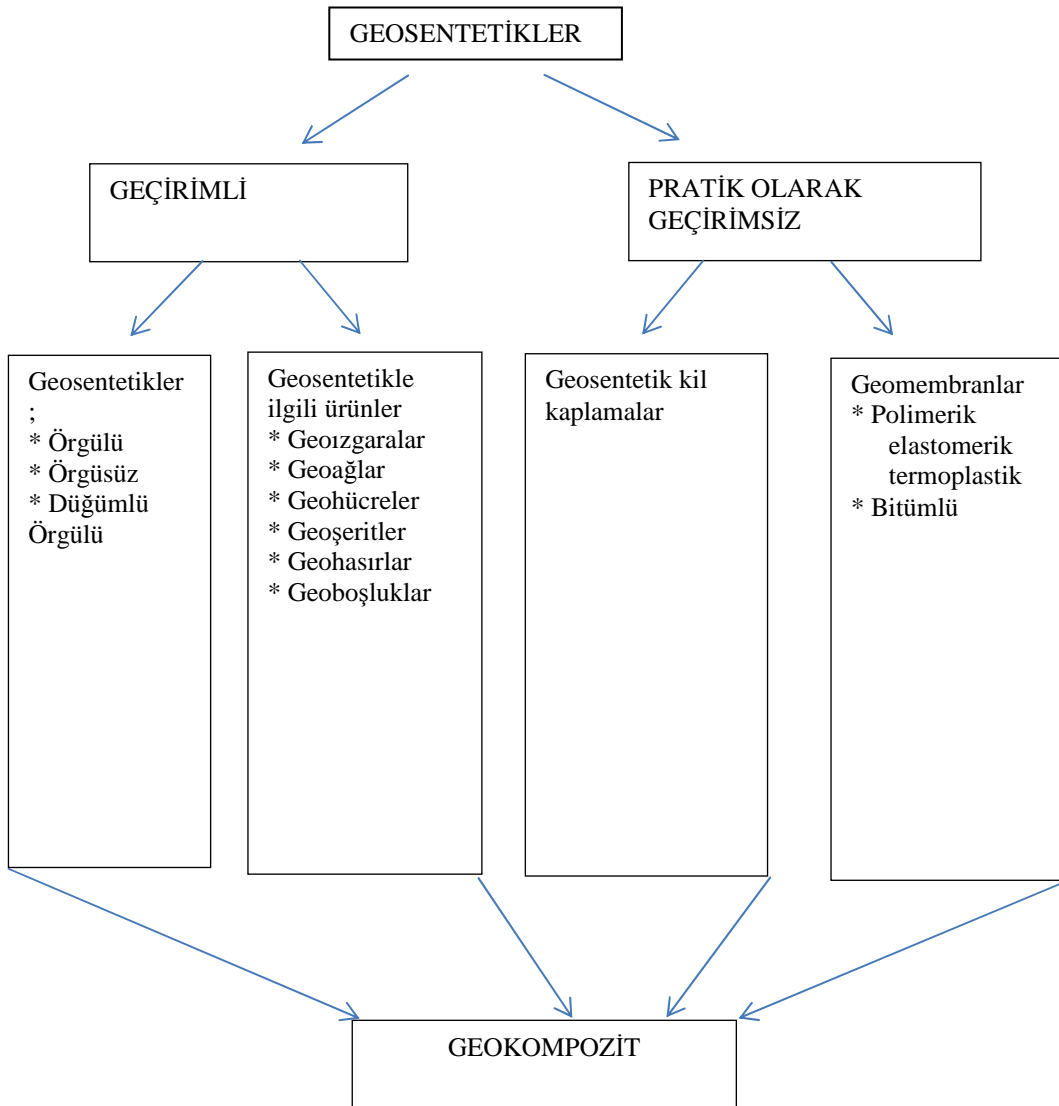
“Geosentetik, geoteknik ve inşaat mühendisliği uygulamalarında zemin veya diğer malzemelerle temas halinde kullanılan, en az bir bileşeni doğal veya sentetik bir polimerden imal edilmiş tabaka, şerit veya üç boyutlu bir yapı içeren ürünleri tanımlayan jenerik bir terimdir” [46].

Geosentetiklerin polimer bileşenlerinin hemen hemen tamamının hammaddesi termoplastik grubuna giren polimerlerdir. En yaygın kullanılanlar; polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC), poliyester (PET), poliyamid / naylon (PA), polistren (PS), klorlanmış polietilen (CPE) ve klorosulfonatlanmış polietilen (CSPE)’dir [46].

Geosentetiklerin yapımı sırasında genellikle polimerlere renk, plastiklik ve akışkanlık gibi özellik kazandırıcı veya hava etkisine (ultraviyole/morötesi/UV ışınları, ısı, oksijen, nem, havada taşınan kimyasal ve biyolojik etkenler), hidrolik etkiye (su ve su buharının yarattığı moleküler bozulma) ve biyolojik etkenlere (bakteri, yosun, mantar gibi mikro organizmalar; kemirgenler, böcekler gibi makro-organizmalar) karşı koruyucu katkı maddeleri de ilave edilir. Karbon siyahı (carbon

black) ve UV koruyucuları hava etkilerine karşı en yaygın kullanılan katkı maddeleridir [47].

EN ISO 10318 taslağına göre geosentetikler Şekil 3.2’de görüldüğü gibi gruplandırılmaktadır [46].



Şekil 3.2. Geosentetiklerin Gruplandırılması (prEN ISO 10318) [34].

Başlıca geosentetik türleri geçirgen olan geotekstil (geotextile) ve pratik olarak geçirimsiz olan geomembrandır (geomembrane). “Geotekstille ilgili ürünler” (geotextile-related products) olarak adlandırılan geçirimli ürünler altında geozgara (geogrid), geoağ (geonet), geohücre (geocell), geoşerit (geostrip), geohasır (geomat)

ve geoboşluk (geospacer/spacer core) yer almaktadır. Geomembranlar, polimerik (termoplastik ve elastomerik) ve bitümlü olabilmektedir. Kil (bentonit) içeren geosentetik kil kaplamalar da (geosynthetic clay liner) geçirimsiz ürünlerdir. Birden fazla geosentetik kullanılarak imal edilen türler geokompozit (geocomposite) olarak adlandırılmaktadır. IGS (İnternational Geosynthetics Society) bir sınıflandırma vermemekte, yukarıdakilere ilaveten geoşilte (geomattress), geoköpük (geofom), geokalıp (geofom), geoçubuk (geobar) gibi diğer bazı türler de tanımlamaktadır [46,48].

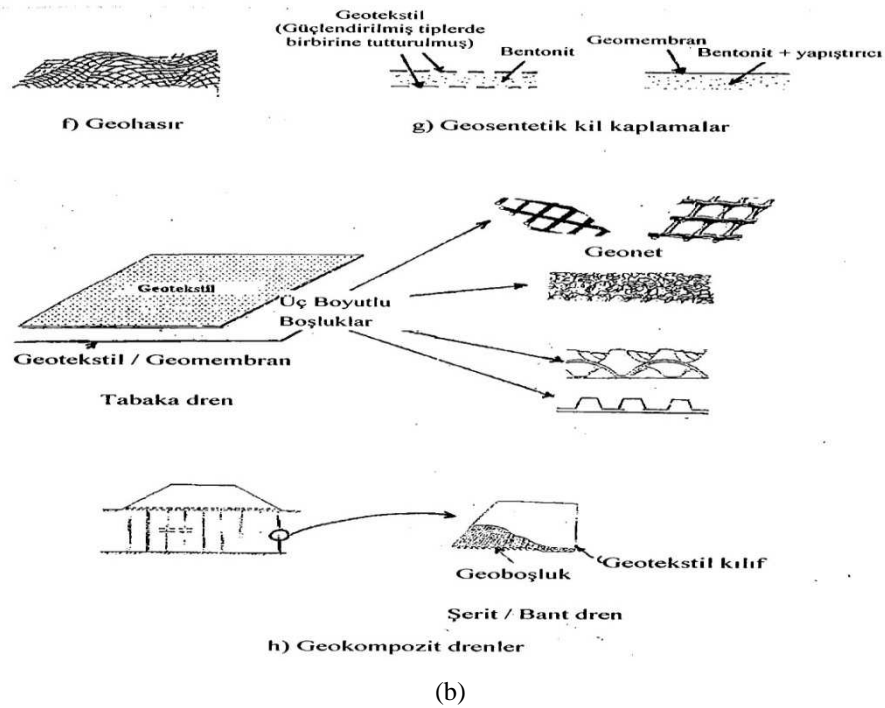
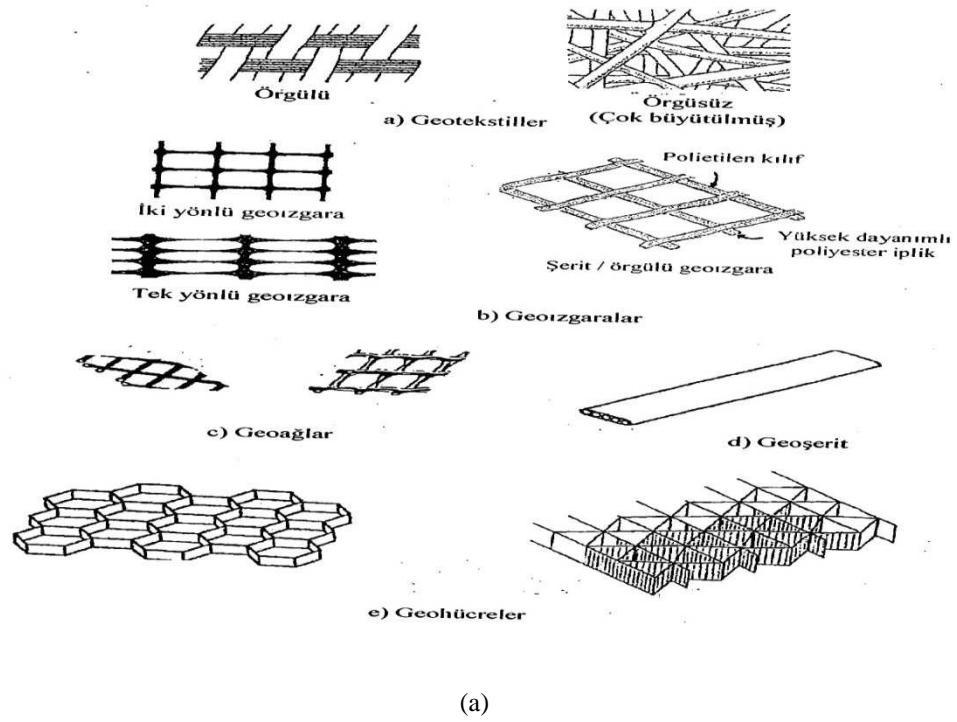
Geotekstiller esnek ve tekstil ürünü görünümünde malzemeler olup geosentetiklerin ilk ve miktar bazında halen de en fazla kullanılan türüdür. Bu nedenle geotekstil terimi uzun süre, konvensiyonel geotekstiller ve artık “geotekstille ilgili ürünler” denen, geomembran hariç tüm diğer sentetik ürünleri kapsayan bir terim olarak kullanılmıştır. Geotekstiller önceleri dokuma (fabric), mühendislik dokuması/endüstriyel dokuma (engineering/industrial fabric), filtre dokuması/kumaşı (filter fabric/cloth) olarak da adlandırılmışlardır. İlk türleri sentetik elyaflardan geleneksel dokuma yöntemleri ile üretilen “örgülü” veya “dokunmuş” (woven) tip geotekstillerdir. Yuvarlak kesitli tek veya çok elyaftan (monofilament-multifilament) örülen türleri yanında şerit (tape) veya ince tabakaların (film) uzunlamasına kesilmesi ile elde edilen elyaflardan örülenleri de bulunmaktadır. Tipik kalınlıkları 0.4-0.8 mm'dir. 1960'tan sonra tekstil sanayisinde daha ucuz olan “örgüsüz” (nonwoven) imal yöntemlerinin geliştirilmesine paralel olarak gelişen örgüsüz geotekstil üretimi bir dönüm noktası olmuştur [46,49].

Günümüzde geotekstil pazar payı yaklaşık % 70 olan örgüsüz tipler, elyafların birleştirilme yöntemlerine bağlı olarak kendi içinde üçe ayrılır [46]. Bunlar;

1. En yaygın olan, elyafların özel iğnelerle birbirine dolandırıldığı mekanik/iğneleme bağlamalı (mechanically bonded/needle punched) veya keçe tipi,
2. Elyafların çakışma noktalarında ısı ve basınç altında birleştirildiği ısıllı bağlamalı (heatbonded) tip,

3. En az yaygın olan, liflere akrilik bir reçine püskürtülerek veya emdirilerek kimyasal bağlamalı (chemical or resin bonded) tiptir.

Keçe tipi sıklıkla 0.4-0.5mm kalınlıktadır. Isıl bağlamalılar keçelerden daha ince ve daha az esnektir. Dokuma endüstrisinden uyarlanan başka bir yöntemle üretilen “düğümlü örgü” (knitted) türü geotekstiler yaygın değildir. Şekil 3.3’de örgülü ve örgüsüz geotekstil türlerinden örnekler verilmektedir. Geotekstillerin yapımında esas olarak polipropilen kullanılmakla beraber poliyester de kullanılmaktadır [46].



Şekil 3.3. Başlıca Geosentetik Türleri[46]

(a) geosentetik türleri, (b)diğer türler

Temel olarak iki tip geotekstil yapısı vardır. Bunlar; örgülü geotekstiller ve örgüsüz geotekstillerdir. Bunların dışında mekanik, ısı ve kimyasal birleştirme gibi özel işlemler görmüş geotekstiller de mevcuttur [50].

Geotekstillerin 100'den fazla özel uygulama alanı bulunmaktadır, ama genelde geotekstiller aşağıda belirtilen altı fonksiyonu göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır.

- Ayırma
 - Filtrasyon
 - Drenaj
 - Güçlendirme
 - Koruma
 - Yalıtım (Asfalt takviye tabakalarının yapımında bitüm emdirilerek)
- [51].

Geoizgaralar açıklıkları granüler zeminle kenetlenen büyüklükte (genelde 1.10 cm) olan ve zemin güçlendirmesi (soil reinforcement) amacıyla kullanılan geosentetiklerdir (Şekil 3.3a-b).

Daha yaygın türü, üzerinde zımbalama (punching) ile muntazam delikler açılan polimer (polietilen ve polipropilen) tabakaların tek yönlü ızgaralar (unaxial grid) için tek yönde, iki yönlü ızgaralarda (biaxial grid) her iki yönde çekilerek/gerdirilerek (drawing) imal edilenidir. Gerdirme işlemi, ızgaraya gerdirildiği yönde çekme dayanımı kazandırmaktadır. Daha esnek olan şerit veya örgülü ızgara (strip/woven) olarak adlandırılan ızgaralar ise çakışma noktalarında örme (knitting) veya ısı kaynak (heat welding) ile birleştirilen yüksek dayanımlı poliyester iplik şeritlerden kare açıklıklı olarak teşkil edilen, akabinde genellikle PE, PVC veya bitümlle kaplananlardır [46].

Günümüzde zemin güçlendirme yöntemi olarak kullanılan geoizgaraların en önemli özelliği, delik olarak adlandırılan, zemini içinden geçmesine izin verecek kadar genişlikte, enlemesine ve boylamasına olan şeritler arasındaki

boşluklardır. Geoizgaraların birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bu kullanım alanları şöyle sıralanabilir [46];

- Kaplamasız yollarda agreganın altında,
- Geçici inşaat alanlarının ya da sürşarj dolguların altında,
- Tren yolu inşaatlarında balast tabakası altında,
- Toprak dolguların ve dolgu barajların güçlendirilmesinde,
- Şev yenilmeleri ve heyelanların onarılmasında,
- Yumuşak zeminlerin ve karstik alanların üzerinde esas donatı olarak,
- Kazık temellerin başlıkları arasında donatı olarak,
- Bataklık ve tundra üzerinde kaplama olarak,
- İstinat duvarı yüzey panelleri için plak ankraj olarak,
- Kaplamalarda asfalt donatısı olarak,
- Ayrık beton bölgelerinin ve ayrık kaya bölgelerinin güçlendirilmesinde,
- Geotekstillerin ve geomembranların arasında ara malzeme olarak vb.

Geoağlar görünüşte geoizgaralara benzeyen ürünler olup 60-90 derece açı ile kesişen, yaklaşık yuvarlak kesitli, birbirine paralel iki polimer çubuk setinden oluşur (Şekil 3.3a-b) [46].

Açıklıklar yaklaşık 6.25 mm (veya daha fazla) olabilir. Düşük seviyede güçlendirme işlevi olmakla birlikte esas olarak drenaj amaçlı geokompozitlerde sıvı veya buhar geçişi için boşluk veya hacim yaratmakta, yani geoboşluk yerine kullanılmakta ve genellikle polietilenden imal edilmektedir [47].

Geoağlar ilk olarak Dr. B. Mercer tarafından İngiltere’de geliştirilmişlerdir. İlk çevresel uygulaması 1984 yılında Hopewell, Virginia’da tehlikeli likit atık toplama merkezindeki sızmaların tespit edilmesi için kullanılmıştır. Geoağlar grid malzemelere benzemektedir ve geoizgaraların altına uygulanabilmektedir. Buradaki kullanımı alanı ayırma amaçlı olmamakla birlikte, bu özelliği de sağlamaktadır. Geoizgaraların donatı olarak kullanıldığı durumlarda, geoağlar düzlemsel drenajı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Geoağların burada donatı amacıyla

kullanılmamaları onların zayıf malzemeler oldukları anlamına gelmez. Belirli bir dayanıma sahip olmalarına karşın genellikle drenaj amaçlı kullanılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken geoağların geotekstil, geomembran yada başka bir malzemenin alt veya üst yüzeyinde kullanılarak, zeminin boşluklara girip, malzemenin drenaj özelliğini kaybetmesini önlemekte olduklarıdır. Kullanım alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [46];

- İstinat duvarlarının arkasında su drenajı amacıyla,
- Kaya şevlerinden ve zemin şevlerinden sızan suyun drenajı amacıyla,
- Spor sahalarının altında su drenajı amacıyla,
- Dönüştürülebilir zeminlerde su drenajı amacıyla,
- Bina temellerinin altında su drenajı amacıyla,
- Toprak dolguların altında alt drenaj amacıyla,
- Otoyolların altında kirli su drenajı amacıyla,
- Sürüş dolguların altında drenaj örtülerinde [47].

Geohücreler, geotekstil şeritleri, geozgara veya geomembrandan yapılmış üç boyutlu, petek şeklinde açılan ve içine toprak, kum, kaya ve beton doldurulan ürünlerdir (Şekil 3.3a-b) [46].

1980’de Fransa’da şev yüzeylerini yağmur suyu erozyonuna karşı koruma amacıyla geliştirilen 0.2 m derinlikte, geotekstil şeritlerinden imal edilen ilk tipleri, 1982’de yumuşak zemin üstünde inşa edilen dolguların (embankment) altında arazide geozgara ile teşkil edilen 0.5 veya 1 m yükseklikteki geohücreler takip etmiştir [46].

Geohücreler, şev, kanal ya da zemin stabilizasyonunda gerekli olan bariyer ve koruma elemanı olarak kullanılmaktadır [53].

Geoşeritler (Şekil 3.3a-d), esas olarak yüksek dayanımlı şeritlerdir ve ilk türleri polietilen koruyucu kılıf içinde poliyester elyaflardan imal edilmiştir [46].

Geohasır, bitki/çimen köklerinin su akımının yarattığı erozyona direncini uzun süreli arttırma amacı ile serilen üç boyutlu, geçirgen, çok elyaflı, sıklıkla 1cm'den daha kalın polimer ürünlerdir [46].

Geoköpük terimi ilk kez 1992'de kullanılmış olduğundan tanımı üzerinde hala bazı karışıklıklar mevcuttur. Çok basit olarak geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan her türlü köpük malzemenin genel adıdır [46].

Ancak, Horvath'a (1995) göre ; geoköpüğün en doğru tanımı, kapalı ve içi gaz dolu muhtelif hücrelerin oluşumu ile sonuçlanan ve genişletme yolu ile elde edilen bir malzeme olduğudur. Hücre duvarları katı ancak gazlara karşı geçirgendir. Geoköpük artık dünya genelinde geotekstil, geomembran v.b. gibi bir geosentetik ürün kabul edilmektedir. Pek çok geoköpük malzemesi polimerik (plastik) veya camsı köpük esaslıdır. Polistiren köpük kapsamında iki çeşit ürün mevcuttur.

- EPS (genleştirilmiş polistiren). En çok kullanılan malzemedir.
- XPS (sıkıştırılmış polistiren) [53].

Yumuşak ve zayıf zeminlerin üzerinde yapılan dolguların içinde, donma-çözünme etkisinin çok etkili olduğu yerlerde yolların, hava alanı kaplamalarının ve demiryollarının altlarında v.b. alanlarda geoköpük kullanılır [50].

Geomembranlar pratik olarak su ve buhar geçirmeyen geosentetiklerdir. Termoplastiklerden üretilenler, PVC, CSPE, HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen - high density polyethylene) ve VLDPE (çok düşük yoğunluklu polietilen - very low density polyethylene) gibi polimerlerden çeşitli yöntemlerle ince, esnek tabakalar halinde imal edilirler. HDPE ve VLDPE membranların yüzeyleri sürtünmeyi arttırmak amacıyla özel yöntemlerle pürüzlendirilir. Özellikle zararlı atık depolanması gibi çevre korumasına yönelik uygulamalarda bütün dünyada getirilen yasalar zorunlu geomembran kullanımını sürekli arttırmıştır [54].

ASTM, geomembranı "geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte

asfalt,polimer ve bunların karışımından mamul sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlamaktadır [46].

1938 yılında Goodyear, doğal kauçuğu sülfürle işleyerek, termoset polimer olan sentetik kauçuğu elde etmiştir. Günümüzde, değişik türdeki sentetik kauçuk malzemeler önemli bir endüstri ürünü haline gelmiştir. Orijinal geomembran kauçuktan üretilmiş olup, içilebilir su havuzlarında kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Bütil kauçuk olan bu ürün, yaklaşık % 2 izopren katkılı kopolimer izobütileden oluşmaktaydı. Bütil kauçuk oldukça geçirimsizdir ve esas olarak iç lastik ve içsiz lastik kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. 1980’den itibaren endüstri termoset polimer kullanımından termoplastik polimer kullanımına geçmiştir. Bu malzemeler ısıtıldıkları zaman yumuşak ve esnek hale gelmekte ama içsel özelliklerinde bir değişme olmamakta, soğudukları zaman eski orijinal özelliklerine dönmektedirler [47].

Geomembranlar esas olarak geçirimsizliğin sağlanmasında kullanılmaktadır. Saha uygulamalarında geçirimsizliğin sağlanması yine geomembranlar sayesinde olmaktadır. Geomembranların kullanım alanları;

- Sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak,
- Radyoaktif ve tehlikeli sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak,
- Yeraltı depolama tankları için ikincil kaplama malzemesi olarak,
- Tuzlu su çözeltileri için kaplama malzemesi olarak,
- Su kanalları için kaplama malzemesi olarak,
- İçilebilir su için ve su depoları için kaplama malzemesi olarak,
- Katı atık sahaları için kaplama malzemesi olarak,
- Zonlu dolgu barajların içindeki sızmayı engellemek için,
- Tünellerin içinde geçirimsizliği sağlamak için ,
- Kaya dolgu barajların ve kargir barajların geçirimsizliğinin sağlanmasında,
- Batordaların içinde sızdırmazlığın kontrolünde,
- Binaların altında buhara karşı bariyer olarak,
- Şişen zeminlerin ve dona hassas zeminlerin kontrolünde,

- Otoyolların altında ve yanında oluşabilecek zararlı sıvı atıkların tutulmasında,
- Asfalt üst kaplamaların altında sızdırmazlığı sağlayan tabaka olarak,
- Geçici sürüşarjlar için kaplama yapısı olarak şeklinde sıralanabilir [46,47].

Geosentetik kil kaplamalar ise tipik olarak iki geotekstil arasında ince bir kuru bentonit tabakası içeren ürünlerdir. Bentonit ıslanınca sızdırmaz bir tabaka teşkil eder. Alt ve üstteki geotekstil dikiş veya iğneleme yöntemi ile birbirine tutturulur. Geomembrana yapıştırılmış bentonit tabakası şeklinde de geosentetik kil kaplama vardır (Şekil 3.3b-g) [46].

Geosentetik kil kaplamalar ilk olarak (1988) yılında ABD’de inşa edilen bir katı atık toplama merkezinde kullanılmıştır. Kullanılan bu ürün iki geotekstil tabakası arasındaki bentonit kili karışımından oluşmaktadır. Geosentetik kil kaplamalar “kil şilteler”, “bentonit şilteler”, “bentonit hasırlar” ve “prefabrike bentonit kil şilteler” olarak da adlandırılmaktadırlar. Geosentetik kil kaplamalar, suya ve diğer likit malzemelere karşı hidrolik bariyer olarak kullanılmaktadırlar. Hidrolik bariyer olarak, sıkıştırılmış kil tabakaları yerine, geosentetik kil kaplamalar kullanılabilir [50].

Geosentetik kil kaplamaların kullanım alanları, diğer geosentetik malzemelerle karşılaştırıldığında belki de en hızlı büyüyenlerdendir. 1995 yılında Kuzey Amerika da yaklaşık olarak 50 milyon m² geosentetik kil kaplama kullanılmıştır [47]. Geosentetik kil kaplamaların ana avantajları arasında; sınırlı kalınlığı, altındaki zemin veya atık malzeme üzerindeki farklı oturumları azaltması, kolay yerleştirilmesi ve düşük maliyeti gibi hususlar yer almaktadır [29].

Geosentetik kil kaplamaların kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir.

- Dolgularda, geomembranların altında ilk kaplama tabakası olarak,
- Dolgularda, geomembranların altında ikincil kaplama tabakası olarak,

- Dolgularda, geomembranların altında ve kil tabakalarının üzerinde (üç bileşenli),
- Düşey saplama perdelerinde, geomembranla bitişik olarak,
- Geomembranların üzerinde, kaba agregalara karşı koruma tabakası olarak,
- Yüzey sularına bent oluşturulmasında ve kanalların kaplanmasında,
- Su havuzlarında, geomembranların altında kompozit kaplama olarak,
- Yer altı depolarında ikincil kaplama tabakası olarak [46,47].

Geokompozitler geotekstil, geoağ, geoizgara, geomembran, geoboşluk ve diğer, hatta doğal malzemelerin değişik kombinasyonları olarak geliştirilmiştir. Bir bakıma geohücreler, geosentetik kil kaplamalar da geokompozit olarak düşünülebilir. En bilinen geokompozitler geotekstil, geomembran ve geoboşluklardan prefabrike veya arazide teşkil edilerek üretilen drenaj geokompozitleridir. Şekil 3.3a-a'da iki geotekstil veya geotekstil-geomembran arasında, geonet veya farklı üç boyutlu yapıda geoboşluklar olabilen tabaka drenaj (sheet/fin dram) görülmektedir. Şekilde yumuşak killerin konsolidasyon oturmasını hızlandırmada kullanılan kum drenlere alternatif olan şerit/bant drenajda verilmektedir. Tipik şerit drenler polietilenden yapılmış oluklu veya başka geometride geoboşluğu saran geotekstil kılıf şeklinde olup kesit boyutları yaklaşık 100 mm'ye 4mm'dir ve özel makinelerle hızla ve büyük derinliklere yerleştirilebilirler [46].

Gelişen geosentetik ürün yelpazesine paralel olarak, terminoloji de gelişmekte ve çeşitli ülke, kurum, araştırmacılar arasında farklılıklar olabilmektedir [49].

Öncü geosentetik uygulamaları olarak örgülü geotekstillerin kullanımı görülmektedir. Hollanda'da 1953'te 2000'e yakın kişinin öldüğü, deniz seviyesinden alçak arazilerin deniz taşkınlarına maruz kaldığı afeti takiben yapılan kıyı koruması çalışmaları kapsamında 1957'de naylon (poliyamid) dokumalarla yapılan kum torbaları kullanılmıştır. Çalışmaların Delta Projesi olarak adlandırılan ve pek çok teknik yayına konu olan aşamasında 1970 ortaları ve 1980 ortaları arasında 1 milyon m² den fazla geotekstilden yararlanılmıştır [49].

Yazında ilk geotekstil uygulaması olarak Florida'da (ABD) bir kıyı erozyon koruması projesinde örgülü tip bir geotekstilin zemin ve riprap (taşdolgu) arasında 1958'de kullanımı yer almaktadır. Örgüsüz geotekstillerin inşaat mühendisliğinde ilk kullanımı ise 1966'da Amerika'da asfalt yollarda tamir/takviye tabakası altında kullanımı ile olmuştur [49].

Halen de miktar bazında 1,400 milyon m² ile bütün dünyada bir yılda kullanılan geosentetiğin %75'ini geotekstillere teşkil etmektedir. Fiyat bazında ise geomembranın pazar payı en yüksektir. 1998 itibariyle sadece Kuzey Amerika'da 600'den fazla çeşit geosentetik ürün vardır [55].

3.2.1.1. Geosentetiklerin İşlevleri

Gerek prEN ISO10318, gerekse IGS, geosentetiklerin önceleri düşünülen altı işlevine "erozyon kontrolü" işlevini eklemiştir:

Ayırma: Geosentetiğin iki farklı zeminin/malzemenin karışmasını, sıklıkla ince daneli (killi) zeminle drenaj tabakası veya yol yapımında agrega olarak kullanılan granüler zeminin karışmasını önlemesi.

Filtrasyon: Filtre olarak kullanılan geotekstillerin bir tarafından öbür tarafına suyun geçmesine izin verirken küçük zemin danelerinin büyük ölçüde sürüklenmesini ve taşınmasını önleyerek örneğin; drenaj agregasının veya drenaj borusunun tıkanmamasını sağlamaktadır.

Drenaj: Geosentetiğin (genelde kalın örgüsüz geotekstil veya drenaj geokompoziti) kendi düzleminden su veya buhar geçişini sağlaması.

Güçlendirme: Çekme dayanımı ve çekme modülü yüksek geosentetiklerin zemini çekme gerilmelerine ve deformasyonlara dirençli hale getirmesi.

Sızdırmazlık: Geçirimsiz geosentetiklerin (geomembran, geosentetik kil kaplama, polimer karışımı/bitüm emdirilerek veya püskürtülerek geçirimsiz hale getirilen geotekstillere) sıvı/buhar geçişini önlemesi.

Koruma: Geosentetiğin bir tabaka veya yüzeye mekanik zarar verilmesini önlemesi (sıklıkla örgüsüz geotekstillere geomembranı delinmeye karşı koruması).

Erozyon (zeminden danelerin sökülüp taşınması) Kontrolü: Geosentetiğin rüzgar, yağmur, su akımı, dalga gibi etkenlerle şev yüzeylerinde, nehir/göl/deniz kıyılarında ve nehir/deniz tabanlarında erozyonun önlenmesi amacıyla kullanılması.

Pek çok uygulamada geosentetiğin öne çıkan bir işlevi olmakla beraber geosentetik bir veya daha fazla ikincil işlevi de aynı anda yerine getirebilir. Örneğin hemen hemen bütün uygulamalarda geosentetiğin ayırma işlevi vardır [46,48].

3.2.1.2. Geosentetiklerin Özellikleri

Piyasada çok farklı ve çok sayıda geosentetik ürün olduğu ve piyasaya devamlı yeni ürünler sunulduğu için geosentetiklerin fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri geniş bir yelpaze sergiler. Bununla beraber geoteknik uygulamaların çoğunda bir geosentetiğin uygunluğunu değerlendirmek için gerekli başlıca özellikleri aşağıda sıralanmıştır [46].

Genel Özellikler : Çoğunlukla ürün broşürlerinde verilir.Genel özellikleri;

- Geosentetik tipi ve imal yöntemi (örneğin örgüsüz, ısı bağlamalı geotekstil),
- Polimer tipi/yoğunluk (örneğin yüksek yoğunluklu polietilen),
- Kalınlık,
- Birim alan kütlesi (g/m^2) ticari sunum rulo uzunluğu,
- Genişliği
- Ağırlığı, broşürlerde sunulan bilgilerdir [46].

Geosentetiklerin mekanik özellikleri :

- Çekme dayanımı,
- Çekme dayanımı-deformasyon davranımı/çekme modülü,
- Kopma yükünde (en büyük yükte) uzama,
- Uzun vade çekme dayanımı (çekmede sünme/krip davranımı),
- Yırtılma (tear),
- Delinme (puncture),
- Patlama (burst),
- Darbe (impact) ve aşınmaya (abrasion) karşı dayanım,
- Zemin-geosentetik veya farklı geosentetikler arasında kayma dayanımı/ sürtünme (interface shear strength/ friction)
- Basınç dayanımı, olarak sıralanabilir [46,56-58].

Geosentetiklerin hidrolik özellikleri;

- Geotekstiklerin görünen/karakteristik gözenek boyutu (apparent/effective opening size, AOS/EOS),
- Porozite (örgüsüz geotekstiller için),
- Açık alan yüzdesi (percentage open area, POA- örgülü geotekstiller için),
- Geotekstilin düzlemine dik yönde geçirgenliği-permeabilite/ permitivite (permittivity),
- Kalın geotekstil ve drenaj geokompozitlerinin kendi düzlemi içinde geçirgenliği- transmissivite (transmissivity), olarak sıralanabilir [10,46].

Hava, Çevredeki Kimyasal ve Biyolojik Etkenlerin Yarattığı Bozunmaya Karşı Dayanım :

- Hava etkisi: Mor ötesi ışınlar (UV), ısı, oksijen, nem
- Kimyasal bozulma: Oksidasyon, hidroliz (su/su buharı etkisiyle moleküler kırılma ile bozulma)

- Biyolojik bozulma: Mikro organizmalar (bakteri, mantar, yosun), makro organizmalar (kemirgenler, böcekler)

Geosentetiklerin tip, imal yöntemi, kalınlık, ana madde olan polimer türü/yoğunluğu, ağırlık gibi genel özellikleri diğer özelliklerine ışık tuttuğu için önemlidir.Örneğin PE ve CSPE membranlar kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Çok düşük yoğunluklu polietilen (VLDPE), yüksek yoğunluklu polietilene (HDPE) nazaran çok daha esnektir ve bu nedenle katı atık depolama sahalarında büyük oturma, büyük farklı oturma beklenildiğinden üst kaplama sistemi içinde kullanılan bir malzemedir [46].

HDPE ise daha yüksek dayanımı nedeniyle, taban kaplamasında kullanılır. HDPE'nin, PVC' ye nazaran daha düşük sürtünme açısı vardır. PP, PET ve PA'ya nazaran daha yüksek sünme sergiler. Geotekstillerin mekanik ve hidrolik özellikleri imalatta elyafların birleştirilme yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genel olarak örgülü geotekstiller keçe tipi örgüsüzlere nazaran kopmaya ve uzamaya, deformasyona daha dayanımlıdır ve oldukça üniform gözenek boyutları vardır. Keçe tipi örgüsüzler ise düşük ve orta dayanım, kopmada yüksek uzama ve kıvrıntılı bir gözenek yapısından dolayı farklı filtrasyon performansı sergilerler [46].

Örgülü geotekstillerde çözgü/imalat doğrultusundaki çekme dayanımı atkı/imalat doğrultusuna dik yöndekinden yüksektir ve uygulamada geotekstilden güçlendirme işlevi de bekleniyorsa bu husus göz önüne alınmalıdır. Geotekstillerin çekme dayanımı birim alan kütlesi, ağırlığı ile doğru orantılıdır. Geosentetiklerin kalınlıkları belirli bir basınç altında ölçülür.Keçe tipi örgüsüz geotekstillerin kalınlığı ve geçirgenliği basınçla çok azalır [46].

Geoteknik ve benzeri uygulamalarda sıklıkla çok geniş alanlara geosentetik serilir. Ticari sunumu rulolar halinde olan geosentetikler üretildiği yerde, ama çoğunlukla yapım sırasında arazide bindirme, dikiş, zımbalama, geomembranlar çeşitli kaynak yöntemleri; ızgaralar plastik contalar kullanılarak eklenir ve istenilen boyuta getirilir. Kullanılabilecek kaynak türü geomembranın imal edildiği polimere bağlıdır. Rulo boyut ve ağırlıkları nakliye, serme sırasındaki taşıma işlemleri,

birleştirmelerdeki malzeme kaybı ve birleştirmelerin yapım hızını etkilemesi açısından önemlidir. Buna ek olarak birleştirme yerleri dayanım ve sızdırmazlık açısından potansiyel zayıflık noktalarıdır ve kalite kontrolleri gerektirir. Örneğin geomembran kaynaklarının sürekliliği basınçlı hava, köpük ve elektrik akımı verilerek kontrol edilir. Geosentetiğin eklemelere dik yönde gerilme veya su sürüklenme kuvvetine (kanallarda su akımı yönünde tesir eden kuvvet) maruz kalmayacak şekilde yerleştirilmesi gerekir. Bu nedenlerle uygun boyut seçerek birleştirme mesafelerinin azaltılması, birleştirme yönünün doğru seçilmesi, kaliteli olduğu için mümkünse fabrikada ekleme alternatiflerinin değerlendirilmesi yararlıdır [46].

Mekanik özellikler ile esas olarak geosentetiklerin çekme dayanımı, konsantrasyon yüklerine karşı direncin göstergesi olan yırtılma, delinme, patlama ve darbe dayanımı kastedilmektedir. Çekme davranımı, donatı denilen ve güçlendirme amacıyla kullanılan geosentetiklerin (örgülü geotekstil, şerit, ızgara) en öne çıkan özelliğidir. Çekme deneyinde, dikdörtgen bir örneğe bir yönde artan çekme kuvveti uygulanarak kopmaya kadar uzamalar ölçülür. Çekme gerilmesi-deformasyon (birim uzama, %) eğrilerinde düşey eksen, kesit alanından bağımsız ifade edebilmek için çekme kuvvetini örnek genişliğine bölerek bulunan kN/m cinsinden değerdir ve çekme dayanımı geosentetiklerde bu birimle ifade edilir [46].

Aynı eğrilerden kopmada en büyük yükte uzama ve çekme modülü [(kN/m) — genelde belirli bir birim uzama değerine karşılık gelen sekant modülü olarak] bulunur. Sünme, kısa vade kopma yükünden daha düşük bir sabit çekme yükünde uzamanın devam etmesi ve belli bir yükte ve zamanda “sünme kopmasının” oluşmasıdır. Güçlendirme uygulamalarında donatı olarak kullanılan geosentetiğin çekme dayanımının yüksek, kopmada uzama değerinin düşük, diğer bir deyişle çekme modülünün yüksek olmasının, az sünme sergilemesinin istenmesinin yanında, zeminle donatı arasında yeterli “arayüzey kayma dayanımı/sürtünme” olması gereklidir [46].

Arayüzey kayma dayanımı ile kastedilen geosentetik donatı ve zemin arasında (veya farklı geosentetikler arasında) kaymaya dayanım veya kenetlenmedir.

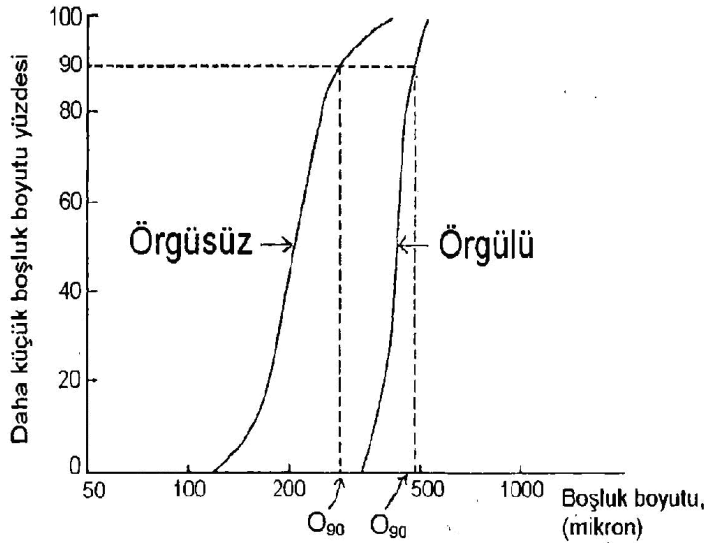
Açıklıklar/delikler nedeniyle geozgaralarda zemin, donatı etkileşim mekanizmaları daha karmaşıktır [46].

Zemin güçlendirmesi uygulamaların da zemin kütlesinin donatı üzerinden kayması ve donatının zeminden sıyrılma tahkiki yanında atık sahaları şev kaplamalarında herhangi bir yüzey boyunca kayma tahkiki, şev üstünde teşkil edilen geomembran ankaraj sistemi hesaplarında da arayüzey kayma dayanımı parametrelerinin bilinmesi gerekir. Sünme ve arayüzey kayma dayanımı ile ilgili daha kapsamlı bilgilere güçlendirme uygulamalarında yer verilmiştir [46].

Tüm uygulamalarda geosentetiğin esas işlevini yerine getirebilmesi açısından yerleştirilirken maruz kalacağı kuvvetler (örneğin köşeli, iri agrega, ağaç kökleri içeren çıkıntılı satha serme, üstüne kaya parçası vs yerleştirme, agrega sıkıştırma/kompaksiyon işlemi sırasında, rüzgar, su/ su akımı etkileri, ısı farkları nedeni ile oluşan kuvvetler) altında yırtılmayacak, delinmeyecek kadar mekanik dayanımına haiz olması şarttır. Zaten pek çok uygulamada zarar görme açısından en zorlayıcı durum yerleştirme sırasındadır [46].

Çekme dayanımı, dar mesnetli çekme dayanımı (çene genişliğinin numune genişliğinden az olduğu deney), yırtılma dayanımı, delinme dayanımı, statik zımbalama, patlamaya karşı dayanım ve bir çeşit darbe dayanımı deneyi olan dinamik delinmeye karşı direnç (konik delici düşürme deneyi) pek çok uygulamada yerleştirme sırasında dayanım açısından gösterge kabul edilir ve bazı şartnameler bunlar için minimum kabul edilebilir değerler verir. Önemli projelerde bu sınırların arazide deneme kesitleri ile tesbiti önerilmektedir. Aşınmaya karşı dayanım ile (örneğin kaya kaplama ile yapılan kıyı erozyon önlemlerinde dalga etkisi ile yerinden oynayan kayaların geotekstil üzerinde yarattığı “tekrarlı sürtünme” sonucunda oluşabilecek aşınma kastedilir ve arazideki şartları benzeştiren deneylerle saptanır. Basınç dayanımı kendi düzleminde sıvı/gaz akımı sağlamak için kullanılan drenaj geokompozitlerinin basınç altında sıkışarak ezilmesi ve geçirgenliğinin azalmasının belirlenmesine yöneliktir [46].

Hidrolik özellikler geotekstil ve drenaj geokompozitleri için geçerlidir. Geotekstilin içerdiği gözeneklerin boyut dağılımı, zeminler için verilen yarı logaritmik dane çapı dağılımı/gradasyon eğrilerine benzer şekilde, gözenek (boşluk) boyutunu logaritmik yatay ekseninde, o boyut veya daha küçük gözeneklerin yüzdesini düşey ekseninde veren eğriler olarak çizilir (Şekil 3.4) [46].



Şekil 3.4. Geotekstillerde Tipik Boşluk Boyutu Dağılımı [46]

Bu eğride, belirli bir "x" yüzdesine, örneğin % 50'ye karşılık gelen gözenek boyutu 0.50 ile gösterilir. Örneğin $0.50=160$ mikron ise bu, geotekstilin içerdiği gözeneklerinin %50'sinin 160 mikron veya daha küçük olduğu anlamına gelir. Örgülü geotekstillerde genelde gözenekler daha büyüktür ve daha dar bir aralıkta/daha üniform dağılım gösterir. Görünen/ karakteristik gözenek boyutu (AOS), veya EOS, kullanılan deney yöntemine bağlı olarak bu eğrilerde %90 veya %95 'e karşılık gelen, 0.90 veya 0.95 olarak gösterilen gözenek boyutudur. AOS pratik olarak geotekstilin içerdiği en büyük sürekli boşluk çapı olarak düşünülebilir ve geotekstilin filtrasyon davranımını belirleyici bir parametredir. Önceleri örgülü geotekstillerde mikroskopla gözenek boyutunun ölçülmesi ile bulunan AOS değeri tayini için, örgüsüz geotekstiller üretilmeye başladıktan sonra farklı ülkelerin/ kurumların benimsediği farklı yöntemler (kuru eleme, ıslak eleme, suya tekrarlı daldırma) geliştirilmiştir. Farklı yöntemlerle bulunan AOS değerlerini birbirinden ayırmak için,

örneğin ASTM'nin (ABD) cam küreciklerin denenen geotekstilden kuru elenmesi yöntemi ile bulunan ve %95'e karşılık gelen gözenek boyutu 0.95, yaklaşık olarak %90'a karşılık geldiği düşünülen Almanya'da Hanover Üniversitesi'nde bulunan Franzius Institute'un, kumun geotekstilden ıslak elenmesi yöntemi ile bulunan değer DW, Afnor 38017 (Fransız standartları) kumu geotekstil eleklerle suya tekrarlı batırma yöntemi ile bulunan ve %95'e karşı gelen değer $0f$ sembolleri ile gösterilir. Delft Hidrolik Laboratuvarı'nın (Hollanda) kuru kum eleme yöntemi ile de 0.90 bulunur. İngiliz Standartlarında (BS) 100 g cam kürecik 5 dakika elenirken ASTM'de bu değerler 50 g ve 10 dakikadır. Bu yöntemler tamamen aynı AOS değerlerini vermediği gibi aralarında güvenilir ve tutarlı korelasyonlar da yoktur. Geotekstillerde tipik boşluk boyutuna ilişkin dağılım aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. [46].

Tipik AOS değerleri örgülüler için 150-600 mikron, örgüsüzler için 50-350 mikron mertebesindedir [46].

Geotekstillerin filtrasyon amacı ile kullanımında içerdiği boşlukların boyutu kadar miktarı da tasarımda gereklidir. Kalın olan keçe tipi geotekstillerde bu, zeminlerde olduğu gibi boşluk hacminin toplam hacme oranı olan porozite ile ifade edilir ve granüler zeminlerde yaklaşık %30-50 aralığında olan porozite değerleri geotekstiller için %50-90'dır. Örgülü geotekstillerde boşluk miktarı, açık alan yüzdesi (boşlukların alanının toplam alana oranı) olarak verilir [46].

Geosentetiklerin imal edildiği polimerlerin gerek şantiyede bekletilme ve serilmesi, gerekse kullanımları sırasında, özellikle kimyasal atık depolama uygulamalarında maruz kalabileceği hava, güneş ışığı (UV), mikro organizma ve kimyasal madde etkileri ile özelliklerini kabul edilemez seviyede yitirmemesi gerekir. Bunlar arasında belirli bir süre UV ışınlarına maruz kalan geosentetikte yüzde olarak çekme dayanımı kaybı en sık kullanılan bir dayanım kriteridir [46].

Yukarıda konu edilen geosentetik özelliklerinin ölçülmesi amacıyla farklı kurum ve ülkelerde geliştirilen deney yöntemleri ile ilgili kapsamlı bilgiler verilmiştir. Tablo

3.3’de geotekstil ve geoizgaraların mekanik ve hidrolik özellikleri için tipik değerler verilmiştir.

3.2.2. Geosentetik Uygulamaları

Geosentetik uygulamaları 1970’ lerde ivme kazanmış, devamlı artan çeşitlilikte ürünler nedeniyle uygulama sayısı ve kapsamı günümüzde de genişlemektedir. Geosentetikler başlangıçta, bazen de geosentetiklerle ilk olarak ürün kataloglarının kısıtlı sunumu ile tanışan geoteknik mühendislerince her yerde deva şeklinde algılanmıştır [46].

Artık geosentetiklerin mekanik, hidrolik ve geoteknik kavramlara dayandırılarak, inşaat mühendisliği uygulamaların da kullanılan bütün malzemeler gibi kısa ve uzun vade özellikleri, çevreye etkisi saptanarak kullanılması gerekliliği bilinmektedir. Pek çok uygulama için tecrübe ve araştırmaya dayanan kriterlerin, şartnamelerin ve yerleştirme, uygulama yöntemlerinin, zemin mekaniğinde kullanılan klasik yaklaşımlara benzer analitik ampirik tasarım metodlarının geosentetik özelliklerini ölçme tekniklerinin geliştirilmiş olması, geoteknik mühendislerine teknik ve ekonomik açıdan başarılı uygulamalara imza atması için yeterli zemin hazırlamıştır. Bir uygulamada geosentetik kullanılan çözüm alternatifinin değerlendirilmesi ve geosentetik seçimi için gerekli aşamalar Tablo 3.3’te sıralanmıştır [46].

Tablo 3.3. Tipik Geotekstil Ve Geozgaralar İçin Dayanım Ve Permeabilite Değerleri[46]

Geotekstil Türü	Ağırlık ³ (g/m ³)	Çekme Dayanımı ⁴ (kN/m)	Kopmada Uzama ⁴ (%)	%10 Uzamada Sekant Modülü ⁴ (kN/m)	Dar Mesnetli Çekme Dayanımı ⁵ (N)	Delinme Dayanımı ⁶ (N)	Patlama Dayanımı ⁷ (kPa)	Yırtılma Dayanımı ⁸ (N)	Eşdeğer Darcy Permeabilitesi ⁹ (m/s)
Örgülü									
Tek filamanlı-Polipropilen	120-120	16-70	20-40	70-260	700-2300	320-700	2700-4800	200-440	$10^{-4} - 10^{-2}$
Uzunluğuna kesilmiş film	50-170	12-45	20-40	50-260	320-1600	80-600	1400-4800	200-1600	$10^{-4} - 10^{-3}$
Çentilmiş(Fibrilated)şerit ve çok filamanlı – polipropilen	240-760	35-210	15-40	175-700	700-2600	700-1100	4100-10400	440-1800	$10^{-4} - 10^{-3}$
Çok Filamanlı – poliyester	140-710	25-350*	10-30	175-1050	700-9000*	200-1400	3400-10400*	360-2300	$10^{-4} - 10^{-3}$
Örgüsüz									
Kesintisiz filaman-ıslı bağlamalı	50-240	4-35	30-100	18-90	180-1800	80-440	550-3500	120-900	$10^{-4} - 10^{-2}$
Mekanik bağlamalı/keçe(ince)	70-240	4-18	40-150	2-25	180-110	200-550	1000-2700	120-700	$10^{-4} - 10^{-2}$
Mekanik bağlamalı/keçe(kalın)	240-850	8-35	40-150	9-55	700-2300	440-110	2000-6900	320-900	$10^{-4} - 10^{-2}$
Geozgara									
Polipropilen	140-240	8-35	10-20	90-230					>10
Yüksek yoğunluklu polietilen	240-710	8-90	10-20	55-70					>10
Poliyester	240-710	35-140	5-15	350-2600					>10
<p>1. Data pek çok kaynaktan , bazan tahmini hesapla bulunan ortalama değer. Verilen aralığın dışında değerlere haiz ürünler olabilir.Farklı deneylerde minimum ve maksimum değerler arasında bir ilişki olduğu sonucu çıkarılmamalıdır.</p> <p>2. Her iki yönde</p> <p>3. Metod I.1.84, Ek B, FHWA geotextile Engineering Manual</p> <p>4. Geniş Enli Numune, ASTM D-4595</p> <p>5. ASTM D-4632</p> <p>6. ASTM D-4833</p> <p>7. ASTM D-3786</p> <p>8. ASTM D-4533</p> <p>9. ASTM D-4491</p> <p>*Ölçme aletinin kısıtlaması ile sınırlanan değer</p>									

3.2.2.1. Geosentetik Kullanımının Gerekliliği, Teknik Üstünlük, Proje Şartları Uygunluğu Ön Değerlendirmesi

Geleneksel yöntemlerle uygulama zorluğu, hatta imkansızlığı, tatminkar olmayan performans veya tasarımda, uygulamada karşılaşılan sorunlar geosentetikli alternatif çözümü gündeme getirebilir. Kil kaplama uygulaması mümkün olmayan çok dik bir şevin geomembran ile kaplanması, drenaj çeperlerinde zeminin yuğrulması ile permeabilitenin düşmesi sorunu olan düşey kum drenaj yerine geosentetik şerit drenaj kullanımı ile sistem performansında iyileştirme, sık tamir gerektiren yol kesitlerinde asfalt tamir tabakaları altında geosentetik kullanarak tamir tabakasının/proje ömrünün uzatılması, yumuşak zemin üzerine geotekstil koyarak agrega/dolgu malzemesini yağışlı mevsimlerde de serebilme ve yapım hızını artırma gibi muhtemel teknik üstünlükler alternatif çözüme yönelme gerekçeleri olabilir. Geosentetikli çözümün verilen proje şartlarında uygulanabilirliği veya gerekliliği kaynaklar araştırılarak, geçmiş tecrübeden yararlanılarak tesbit edilir. Örneğin pek çok yol uygulamasında sert taban zemini durumunda geosentetik kullanımı gereksizdir [46].

3.2.2.2. Geosentetik Seçimi

Geosentetik seçiminde Giroud, Arman ve Bell tarafından hazırlanan aşamalar popüler olarak uygulama alanı bulmaktadır. Buna göre geosentetik seçimi aşamaları;

- Uygulamanın performansı açısından geosentetiğin hangi işlev veya işlevlerinin geçerli olduğunun belirlenmesi,
- Belirlenen işlevlere ilişkin geosentetik özelliklerinin belirlenmesi (örneğin geotekstil “filtrasyon” işlevi görmek üzere kullanılıyorsa permeabilitesi ve gözenek açıklığı- AOS, tıkanma kontrolü için örgüsüz geotekstiller için porozite, örgülüler için açık yüzey oranı değerlerinin bilinmesi gerekir).
- Belirlenen özellikler için geosentetiğin haiz olması gereken değerlerin, varsa mevcut bir tasarım metoduna dayandırarak veya o projeye has bir metod geliştirerek tesbiti (örneğin mevcut filtre kriterlerini kullanarak

gerekli permeabilite, AOS vs değerleri saptanır). Çok değişkenli uygulamalarda (örneğin kalıcı yol üst yapısında geosentetik kullanımı) pratik bir analitik tasarım yöntemi mevcut olmayabilir. Bu durumda ampirik bulguları ve yaygın uygulamalar için uzun kullanım tecrübesi sonucu ortaya konan yol gösterici şartnamelerden yararlanılabilir.

- Yerleştirme yöntemi ve yerleştirme sırasında hasara dayanım açısından gerekli mekanik dayanım değerlerinin belirlenmesi. Bu aşamada ürünü imal eden firmanın tecrübesi ve şartnameler yararlıdır.
- Geosentetiğin uygulamada maruz kalacağı güneş ışığı, kimyasallar, organizmalar ve sürtünme ile aşınma gibi çevresel etkenlerin belirlenmesi ve bunlara karşı dayanımı belirleyen özelliklerin, varsa sınır değerlerin dökümü. Örneğin belirli tür kimyasallara dayanım açısından kullanılacak geosentetiğin belirli bir polimerden imal edilmiş olması tasrih edilebilir. Ürün güneş ışınlarına maruz kalacaksa UV koruyucu katkı maddesi içermesi şart koşulabilir ve verilen bir süre güneşte kaldığında mekanik dayanım kaybının kabul edilebilir sınırı belirlenebilir.
- Geosentetiğin; i) beklenen işlevini yerine getirmesi, ii) yerleştirme sırasında dayanımı, iii) proje ömrü boyunca dayanımı açısından gerekli özelliklerini sıralayan şartnamelerin hazırlanması.
- Gerekli özellikleri sağlayan farklı ürünler arasından fiyat, boyut, tedarik süresi ve devamlılığı, daha önceki kullanım tecrübesi, şantiyede malzemenin muhafaza şartları vs gibi maliyet ve yapım süresini etkileyen faktörleri göz önüne alarak spesifik bir ürün seçimi şeklinde sıralanabilir [46].

3.2.2.3. Ekonomik Değerlendirme

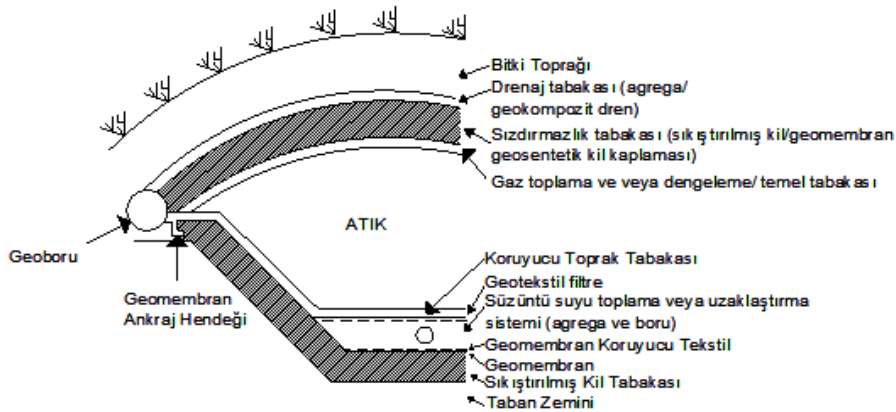
Geleneksel ve geosentetikli çözüm alternatiflerinin ekonomik karşılaştırılmasında hem “ilk yatırım maliyeti” hem de (geosentetik kullanılması ile proje ömrünün uzaması ve değişen bakım maliyetlerini göz önüne alan) “proje ömrü boyunca maliyet” hesaplarına başvurulmalı, geosentetik kullanımının toplam maliyet içindeki payı, yapım hızı ve varsa kuruşlandırılmayan dolaylı yararlar göz önüne alınmalıdır.

Geosentetik yerleştirilmesi için gerekiyorsa özel ekipman temini masrafları da doğal olarak hesaplara dahil edilir [46].

3.2.3. Geosentetiklerin Atık Depolama Tesislerinde Kullanımı

Çevre ile ilgili yasal düzenlemeler su, hava, toprağın kirlenmeden korunması için zararlı ve zararsız katı atık, örneğin kentsel atık depolama sahalarının taban, yan ve üstlerinde sızdırmaz kaplamaların teşkilini, süzüntü suyunun tabanda toplanarak uzaklaştırmasını öngörür. Ayrıca atıktaki oluşan gazların (en fazla karbon dioksit ve metan) atmosfere atılması, bazen de değerlendirilmesi, metan gazının yatay yönde yayılarak bitki örtüsüne zarar vermemesi, yakındaki binalara sızmaması için de önlem alınması gerekir [47].

Geomembranlar ve diğer bazı geosentetikler bu tür çevre geoteknolojisi uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te bir katı atık sahası kesiti verilmektedir. Atık sahaları tabanında ve yan şevlerinde sıkıştırılmış kil kaplama veya geomembran veya şekilde olduğu gibi her ikisi beraber de kullanılabilir [46].



Şekil 3.5. Kentsel Katı Atık Depolama Sahası Örneği [46]

Geomembran özellikle dik şevlerde kil kaplama yapımının zorluğu nedeniyle daha uygun bir seçim olabilir. PVC geomembranlar genelde daha ucuz ve birleştirme kaynaklarının yapımı daha kolay olmasına rağmen yönetmelikler kimyasal etkenlere dayanım açısından tabanda kullanılacak geomembranın sıklıkla 60-80 mil kalınlıkta

HDPE (1 mil = 1/1000 inç olduğundan yaklaşık 1.5-2 mm) olmasını şart koşmaktadır. Türkiye’de de “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nde 1994’te yapılan değişiklikle kil kaplama ile beraber 2 mm kalınlıkta HDPE membran kullanılması öngörülmektedir [46].

Dolum sonunda atık sahasının üstünün kapatılmasında geornembran içeren bir sistem seçilmişse, beklenen büyük oturma ve büyük farklı oturmalar, bazan da altında gaz birikmesi olasılığı nedeniyle HDPE yerine daha esnek olan VLDPE tercih edilir. Üst örtüde granüler drenaj tabakası yerine drenaj geokompozitleri: kil kaplamalar yerine geosentetik kil kaplamalar, güçlendirme amaçlı geozgara kullanımı, geomembranları koruma amaçlı geotekstil kullanımı gibi uygulamalar yanında zararlı atık sahalarından kirliliğin yayılmasını önlemek üzere yapılan bentonit bulamaçlı bariyer duvarlarda geomembran konulan sistemler vardır [46,47-59].

3.2.4. Geosentetik Kaplama Sistemlerinde Kayma, Çekme ile Yırtılma Tahkikleri ve Ankraj

Atık depolama şevlerinde teşkil edilen geosentetik kaplama sistemlerinde., kanal kaplamalarında zemin - geosentetik veya farklı geosentetik arayüzeylerinde yetersiz sürtünme nedeniyle oluşabilecek kaymaların tahkiki, kaplama elemanlarının üst ve alt yüzünde farklı sürtünme değerleri nedeniyle elemanda oluşabilecek çekme kuvvetinin hesaplanması ve yerleştirilen geosentetiklerin kaymaması için şev tepesinde teşkil edilen ankrajların tasarımı gereklidir [46].

Geosentetik (genellikle geomembran) kaplamanın yapım makineleri, rüzgar gibi mekanik etkenler, ısı, ultraviyole ışınları v.b.’den korunması amacıyla üzerine genellikle kum- çakıl bir toprak, zemin tabakası serilir. Koerner; üniform kalınlıkta zemin tabakasının geomembran üzerinde kayma tahkiki için Şekil 3.7’de gösterildiği gibi basit bir sonsuz şev analizi vermektedir [47].

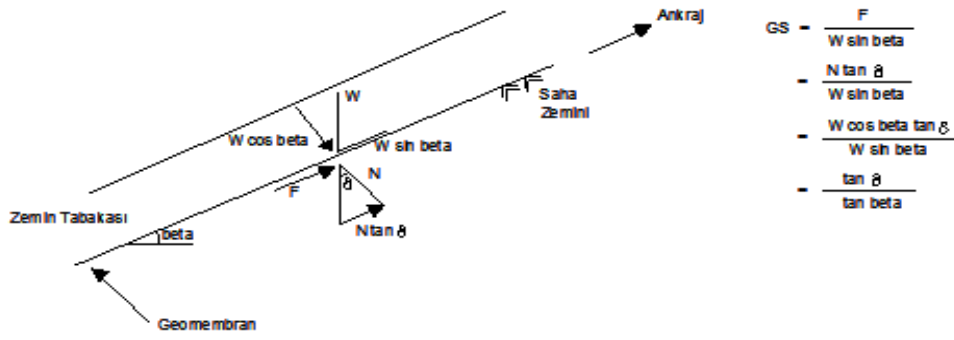
Koruyucu zemin tabakasına etki edebilecek su akımı kuvvetinin göz önüne alınmadığı analize göre geornembran zemin arayüzey sürtünme açısından (θ) daha dik şevlerde kayma kaçınılmazdır. Stabilitiyi arttırmak için koruyucu zemin tabakası

kalınlığı topuğa doğru arttırıldığında Şekil 3.6'da verilen kama analizi kullanılabilir [47].

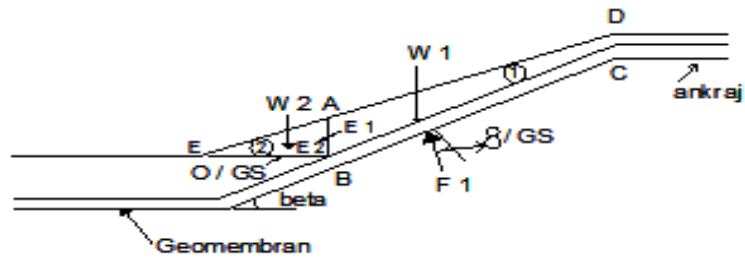
Kaymaya meyilli ABCD aktif zemin kaması ve kaymaya direnen ABE sabit topuk kamasına etki eden kuvvetler yönü ve değeri bilinen W^1 ve W^2 kama ağırlıkları; sadece yönü bilinen F^1 ve F^2 reaksiyon kuvvetleri; şev yüzeyine paralel etkidiği varsayılan ve denge için birbirine eşit olması gereken E^1 ve E^2 kuvvetleridir. Grafik çözümünde, δ ve θ açılarına aynı deneme güvenlik sayıları (GS) uygulanarak her iki kama için bir dizi kapalı kuvvet poligonu çizilir ve E^1 ve E^2 değerleri bulunur. $E^1 = E^2$ sonucunu veren GS değeri, zemin tabakasının geomembran üzerinde kaymaya karşı bilinmeyen GS değeri olarak alınır [49].

Giroud ve Beech (1989), çalışmalarında üniform kalınlıkta granüler zemin tabakasının geomembran üzerinden veya kaplama sistemi içinde başka bir arayüzey boyunca kayması yukarıda verilen iki parçalı kama metodu ile benzerlik taşıyan bir metodla analiz etmişlerdir (Şekil 3.6) [49].

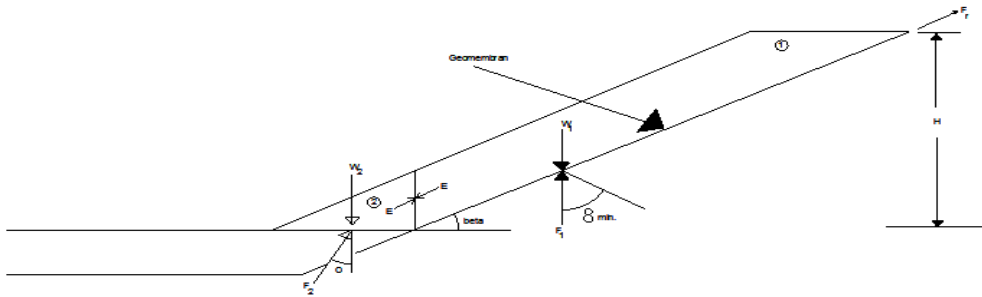
Analize aktif zemin kamasının kaymasını önleyici geosentetik çekme kuvveti (F_T) bilinmeyen olarak dahil edilmektedir. F^1 ve F^2 kuvvetlerinin yönünü zemin içsel sürtünme açısı δ ve kaplama sistemindeki en düşük arayüzey sürtünme açısı θ minimum belirlenmiştir. Analitik olarak veya grafik yöntemle kuvvet poligonlarından, önce sabit kama dengesi göz önüne alınarak $E^1 = E^2 = E$ kuvveti; sonrasında ise aktif kamadan F_T kuvveti bulunur. Pozitif F_T değeri, zemin tabakasının stabil olması için geomembranın çekme dayanımının katkısının gerekli olduğunu gösterir. Bu değeri sağlamak ve geomembranın çekme sonucu yırtılmaması için kaplama sistemine yüksek çekme dayanımlı geotekstil veya geozgara konulması gerekebilir. F_T bu durumda güçlendirici tabakalarınkiler de dahil olmak üzere yaklaşık %2 birim uzamada toplam geosentetik çekme dayanımı olarak alınır. Geomembranın çekme dayanımına gereksinim olmadan yapılabilecek en büyük şev yüksekliği ($H = H$ maksimum değeri de $F_T = 0$ alınarak hesaplanabilir [59].



(a)



(b)



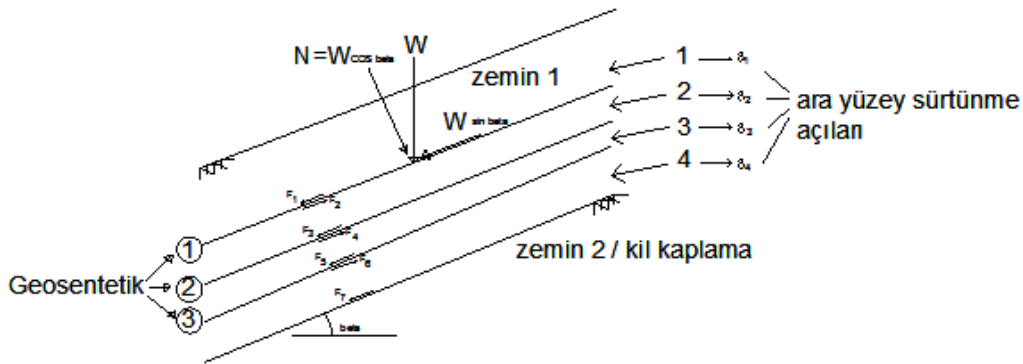
(c)

Şekil 3.6. Zemin Tabakası Kayma Tahkikleri[46]

- (a) Üniform Kalınlık – sonsuz şev analizi
- (b) Değişen kalınlık – kayma analizi
- (c) Üniform kalınlık – kayma analizi

Şev geosentetik kaplama sistemi üzerinde üniform kalınlıkta zemin tabakası serildiği durumlarda su akımı kuvveti, yapım makinelerinin yarattığı ağırlık ve fren kuvvetini

de hesaba katan Şekil 3.7’de verilenlere benzer bir kama dengesi metodu, Druschel ve Underwood (1993) tarafından geliştirilmiştir. F^1 ve F^2 kuvvetlerinin etkiye yönünü belirlemede θ ve δ (mobilize sürtünme açıları) kullanılmaktadır. Analizle stabilite için gerekli geosentetik ankraj kuvveti saptanmaktadır. Bu değer de güçlendirici geotekstil veya geoızgaranın yaklaşık %2 birim uzamadaki çekme değerini aşmaması önerilmektedir [46].



Şekil 3.7. Atık Depolama Şev Kaplamalarında Sürtünme Kuvvetleri [46]

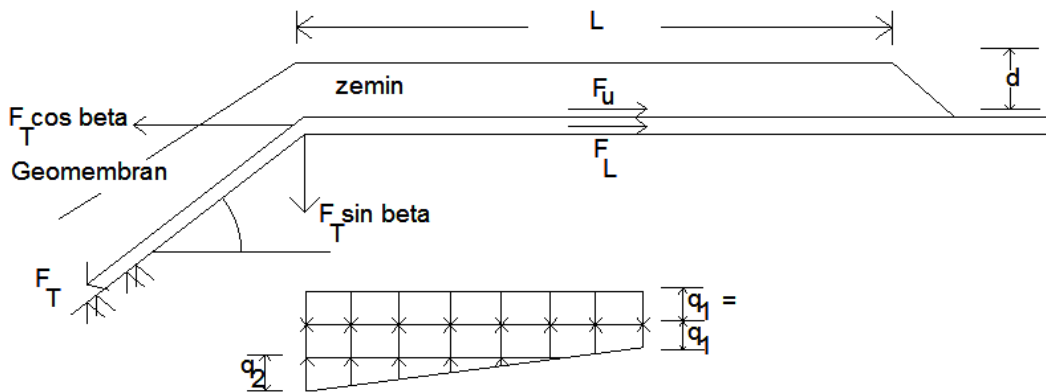
Sharma ve Lewis (1994), ayrıca şev kaplamalarında geomembranlarda ısı değişikliği, rüzgar ve özellikle çok dik şevlerde önemli olan zati ağırlık (geomembranın kendi ağırlığı) nedeniyle oluşan çekme gerilmelerini hesaplama yöntemlerini de belirlemişlerdir [59].

Koerner geotekstil, geomembran/ geomembranlar, drenaj/koruyucu zemin ve kil kaplama tabakası içeren, her arayüzeyde farklı bir sürtünme açısı olan çok katmanlı şev kaplama sistemlerinde herhangi bir geosentetik tabakasında oluşabilecek çekme kuvvetinin hesabı için sonsuz şev kavramına dayandırılan basitleştirilmiş bir yaklaşım sergilemiştir. Geosentetiğin üst yüzünde alt yüzüne nazaran daha büyük bir arayüzey sürtünme açısı söz konusu ise sürtünme kuvvetleri farkı o elemanın taşınması gereken çekme kuvvetidir. Analiz üstten başlayarak aynı şekilde alt katmanlara taşınmakta ve geosentetiklerin ağırlığı hesaba katılmamaktadır [47].

Katı atık depolamada, özellikle nisbeten dik şevlerde geomembranla temasta olan atık malzemenin zamanla oturması da geomembranda sayısallaştırması güç çekme

gerilmelerine neden olmaktadır. Bu durumda önlem olarak, geomembranın üst ve alt yüzeyinde aynı / yakın düşük arayüzey sürtünmesini sağlamak üzere, (katı atık kütlelerinin genel stabilitesine zarar vermediği kontrol edilerek) altına koruyucu geotekstil konulan geomembranın üstüne de geotekstil konulması önerilmektedir. Aynı çalışmada, geomembran veya geotekstilin üst ve alt yüzeyinde farklı sürtünme değerleri nedeniyle oluşan aşırı çekme gerilmeleri sonucu geosentetiğin yırtıldığı yaka örneklerine de yer verilmektedir [59].

Şevlere serilen geosentetiklerin/geomembranların yerinde durmasını sağlamak ve altlarına yırtılmaları sebep olabilecek rüzgar girişini önlemek amacıyla şev tepesinde ankraj teşkil edilir. Şekil 3.8’de şev tepesinde geomembran/ geosentetik üzerine bilinmeyen “L” uzunluğu boyunca “d” kalınlığında zemin koyarak yapılan düz ankraj tasarımına yer verilmiştir [47,59].

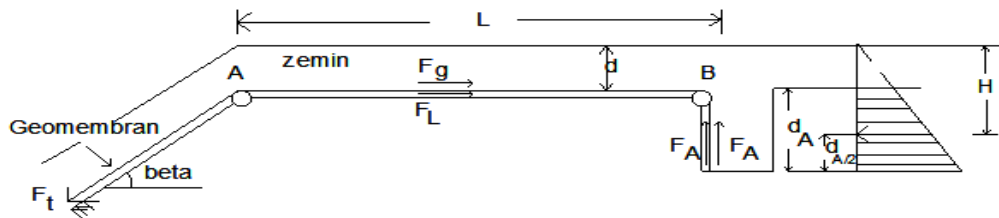


Şekil 3.8. Düz Ankraj Tasarımı [46]

Kuvvet, geomembranın (ve varsa güçlendirici geosentetiklerin) emniyetle taşıyabileceği çekme kuvvetidir. Bu kuvvet geomembranın kendi ağırlığı, üzerindeki koruyucu/drenaj zemin tabakası ve yapım makineleri ağırlığı, su akımı kuvveti, ısı ve rüzgar kuvveti, alt ve üstte farklı sürtünme gibi nedenlerle oluşmaktadır. Ankraj kapasitesini, zeminin ağırlığı ve geomembrandaki çekme kuvvetinin geomembranın

alt ve üst yüzeyinde yarattığı normal (düşey) gerilmeler ve buna bağlı sürtünme kuvvetleri (F ve F_L) belirlemektedir [46].

Geomembran üzerindeki zeminin genelde nisbeten gevşek olması ve geomembranla beraber hareket etmesi beklendiğinden $F_L = 0$ kabul edilir. Şekil 3.9’da hendek ankrajı tasarımı gösterilmiştir. Burada A ve B noktalarında sürtünmesiz makaralar olduğu varsayılmıştır. “L” ve “dA” iki bilinmeyeninden biri için kabul yapılarak diğeri hesaplanır. Hendeğin kazılarak geomembran sarkıtıldıktan sonra granüler toprağın geri doldurulduğu; gömülü geomembranın her iki yüzeyine yatay yönde, sükünetteki yanal toprak basıncının etki ettiği kabul edilmiştir [46].



Şekil 3.9. Hendek Ankraj Tasarımı [46]

3.2.5. Atık Depolama Uygulamalarında Geomembran Seçimi

Bu tür uygulamalarda doğal olarak geomembranın en öne çıkan özelliği geçirimsizliktir. Özel deneylerle ölçülen tipik permeabilite değerleri 0.5×10^{-8} ile 0.5×10^{-10} cm/sn aralığındadır [47].

Özellikle endüstriyel kimyasal madde/atık ve zararlı atık depolamada geomembranın kimyasal maddelere uzun süre dayanımı da çok önemlidir. Atığın içerdiği kimyasal maddelerin bazen tam olarak bilinmemesi, depolanan maddenin tek bileşen olmadığı durumlarda sinerji etkilerinin bilinmemesi, bazı geomembranların farklı hammaddelerden üretilen kompozit yapısı olması, yeni formülasyonlarla üretilen polimerlerle ilgili yeterli veri olmaması gibi pek çok neden kimyasal bozulma açısından geomembran seçimini zorlaştırır [47].

Tablo 3.4’te atık sahalarında geomembran kaplama yapımı yüksek dayanımın gerekli olduğu uygulamalar kategorisinde düşünülmektedir. Koernerayrıca geomembran birleştirme/kaynak yöntemleri ve kaynak kalite/süreklilik kontrol deneyleri ile ilgili kapsamlı bilgiler vermektedir [47].

Tablo 3.4. Geomembranların Yerleştirmede Dayanım Özellikleri İçin Tavsiye Edilen Minimum Değerler [47]

Özellik ve Deney Yöntemi	Gerekli Dayanım Derecesi			
	Düşük ^a	Orta ^b	Yüksek ^c	Çok yüksek ^d
Kalınlık(D5199) (mm)	0.63	0.75	0.88	1.00
Çekme (D882.25mm şerit) (kN/m)	7.0	8.7	10.5	12.2
Yırtılma(D1004) (N)	33	45	67	90
Delinme(D4833 değiştirilmiş) (N)	110	130	160	180
Darbe(D1424 değiştirilmiş) (J)	9	11	15	19

- a- Düşük: Tipik olarak bina döşeme altlarında rutubet izolasyonunda olduğu gibi, çok iyi derecelenmiş temel zeminine elle özenle yerleştirme ve düşük yük durumu.
- b- Orta: Tipik olarak kanal kaplamalarında olduğu gibi, makine ile düzlenmiş temel zeminine elle veya makine ile yerleştirme ve orta yük durumu.
- c- Yüksek: Tipik olarak atık depolama taban ve üst kaplamalarında olduğu gibi, elle veya makine ile düzlenmiş, kötü dokulu (poor texture) temel zeminine yerleştirme ve yüksek yük durumu.
- d- Çok yüksek: Tipik olarak rezervuar kapakları (reservoir covers) ve yıkama/süzme yığınları kaplamalarında (liners for heap leach pads) olduğu gibi, makine ile düzlenmiş, çok kötü dokulu (poor texture) temel zeminine yerleştirme ve çok yüksek yük durumu.

3.2.6. Geçirimsizliğe Etki Eden Faktörler

Geçirimsizliğe etki eden faktörler şunlardır;

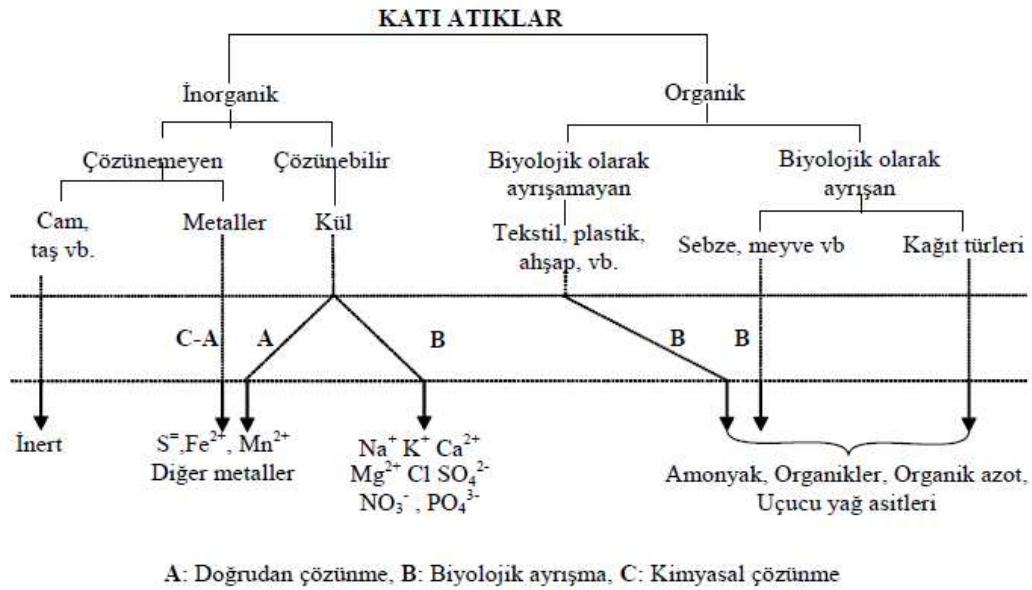
- Sızıntı sularının içerdiği zararlı ve kimyasal maddeler
- Kilin özelliği
- Sıkıştırmanın özelliği
- Nem oranı
- Porozite [60].

3.2.6.1. Sızıntı Sularının İçerdiği Zararlı ve Kimyasal Maddeler

Sızıntı suları depo sahasının tabanına veya geçirimsiz bir tabakaya ulaştığında, burarlardan geçebileceği bir yol bulmaya çalışır. Böyle durumlarda ve sızıntı suyu toplama sistemlerinin mevcut olmadığı durumlarda, sızıntı suları depo sahasının tabanındaki akiferlerin kirlenmesine yol açar [61].

Depo sahalarında oluşacak sızıntı suyunun önceden tahmin edilmesi için basit su dengesi eşitliğinden faydalanılabilir. Bu eşitliğe göre, depo sahasına giren su miktarı çıkan su miktarına eşittir. Sızıntı suyu oluşumuna neden olan en önemli faktör, yağışların atık içerisine infiltrasyonudur. Infiltrasyon oranı depo sahasının yüzeysel şartlarına, üst örtü tabakasının mevcudiyetine ve eğer mevcutsa bu tabakanın permeabilitesine ve sahanın iklimsel şartlarına bağlı olarak değişmektedir [62].

Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları [61]

Sızıntı suyundaki kirlenmeler dört grup altında incelenebilir.

- Çözünmüş organik maddeler; uçucu yağ asitleri, fulvik ve humik asitler.

- İnorganik makro bileşenler; kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+), potasyum (K^+), amonyum (NH_4^+), demir (Fe^{2+}), mangan (Mn^{2+}), klorür (Cl^-), sülfat (SO_4^{2-}) ve hidrojen karbonat (HCO_3^-)
- Ağır metaller; bakır (Cu), çinko (Zn), kadmiyum (Cd), krom (Cr), kurşun (Pb) ve nikel (Ni)
- Evsel ve endüstriyel kimyasallardan kaynaklanan ve genellikle 1 mg/L'den daha düşük konsantrasyonlarda mevcut olan ksenobiyotik organik bileşikler. Bu bileşikler aromatik hidrokarbonlar, fenoller, klorlu alifatikler ve pestisitler gibi bileşikleri ihtiva ederler.

3.2.6.2. Kilin Özelliği

Katı atık depolama alanlarının tasarımında kullanılan ana malzeme, düşük geçirimsizlik özelliğinden dolayı kil şiltelerdir. Kil şilteler, katı atıkların içinden süzülen ve bir takım kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara maruz kalarak oluşan sızıntı suyundan etkilenir. Bu sebeple, killerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde saf ya da şebeke suyu kullanılması arazi şartlarını temsilden uzaktır [63].

Sıkıştırılan kilin geçirgenliği kil mineraline, boşluk yapısına, sıkıştırma anındaki su muhtevasına ve kompaksiyon metoduna bağlı olarak değişmektedir. Daha düşük bir geçirimsizlik elde etmek için sıkıştırılan kilin su muhtevası optimum su muhtevasından (W_{opt}) daha yüksek olmalıdır [64].

Katı atık depolarında şilte olarak kullanılacak killerin aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması yapılacak şiltelerin niteliğini etkileyecektir; $k \leq 10^{-7}$ m/sn, kurutulduğunda düşük çekme ve çatlama özelliği, yeterli kayma mukavemetine sahip olmak, 200 nolu elekten geçen kuru ağırlık yüzdesi $\geq 39-50$, Plastisite indisi (I_p) (ASTM D4318) $\geq 7-10$ ve 4 nolu elek üstünde kalan kuru ağırlık ≤ 20 olmalıdır [59].

Katı atık depolarında kullanılan killer düşük geçirimsizlik özelliklerinden dolayı yüksek plastisiteli killerdir. Yılmaz vd.'nin yaptığı çalışma sonuçları ve literatürdeki benzer çalışmalar [54-56,57] incelendiğinde bu tür killerin (CH sınıfı)

kimyasallardan büyük oranda etkilendiği ve bu etkilenme sonucunda geçirimsizlik katsayılarında büyük artışlar meydana geldiği görülmektedir.

Düşük plastisiteli killere ise kimyasallardan kısmen etkilenmektedir. Bu çalışmada, kullanılan CL2 kilinin geçirimsizlik katsayısının bir miktar düştüğü tespit edilmiştir. 1M'lık NaCl tuz çözeltisiyle yapılan deneyler sonucunda CL1, CL2 ve CH killerin geçirimsizlik katsayıları sırasıyla $1,761 \cdot 10^{-7}$ cm/sn, $6,224 \cdot 10^{-7}$ cm/sn ve $1,900 \cdot 10^{-7}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan da görüleceği gibi yüksek konsantrasyonlardaki NaCl tuz çözeltilerinde CL ve CH sınıfı killere yaklaşık aynı geçirimsizlik katsayısı değerine sahiptirler. Bu nedenle, CH kili temininin zor veya pahalı olacağı bazı özel koşullarda, katı atık depolarında CH sınıfı killere yerine CL sınıfı killere de kullanılabilmesi söylenebilir [51].

3.2.6.3. Sıkıştırmanın Özelliği

Çöpün sıkışabilirliği veya oturması;

- Fiziksel sıkışma; katı atığın yapısının mekanik olarak bükülmesi, çatlama, katı atık bileşenlerinin kendi içlerinde yer değiştirmeleri vb.
- Büyük parçacıklar arasındaki boşluklara doğru küçük parçacıkların ilerlemesi
- Viskoz davranış ve konsolidasyon oturmaları
- Organik maddelerin ayrışması (çöpün bileşenlerine ayrışması)
- Korozyon ve oksitlenme gibi inorganik bileşenlerin tepkimeleri

nedenlerinden dolayı meydana gelir [66].

Katı atıkların sıkışma mekanizmalarında 5 evre vardır;

Evre I : Ani oturma; ani yükten dolayı fiziksel sıkışma

Evre II : Küçük parçacıkların büyük boşluklara doğru ilerlemesi

Evre III : Boşluklardaki suyun dışarı çıkması ve konsolidasyon oturması

Evre IV : Ayrışmaya bağlı deformasyonlar

Evre V : Korozyon, oksitlenme ve ayrışma sonucu gaz çıkışı nedeniyle azalan kütlelerin oluşturduğu boşluklara doğru diğer parçacıkların hareketi [66].

3.2.6.4. Nem Oranı

Katı atıkların nem içeriğinin artırılması biyolojik ayrışmayı hızlandırmaktadır [65]. Nem, permabilitenin belirlenmesinde önemli bir faktördür ve uygun permabiliteyi sağlamak için kil materyalinin kullanılmadan önce nem içeriğinin ayarlanması gerekebilmektedir. Geçirgenlik sıkıştırılmayla arttırılmakta yada toprağın kuru birim ağırlığındaki değişikliklerle azaltılabilmektedir. Optimum su içeriğinde toprak ıslak, daha düşük gerilime sahiptir ve yoğun yapıda kolayca sıkıştırılmaktadır. Nemli bölge yada optimum nemli toprak çok ıslak ve yumuşaktır ve düşük gerilime sahiptir. Homojen makro boşluklu kütle kolayca bozulmaktadır. Sonuç olarak toprak çok kolay bir şekilde yeniden şekillenir ve toprak ve makroporlar, kil üst üste sıkıştırıldığında dağılmaktadır. Kil mikroporlarında hidrolik iletkenlik çok düşük olduğu için tüm kilin permabiliteside düşüktür [66,67].

3.2.6.5. Porozite

Normal sıkıştırılmış bir zeminde 0.40 iken, evsel katı atıklarda ise 0.67 civarına kadar çıkabilmektedir. Daha yaygın olarak ise katı atıkların porozitesi %30-60 arasında alınabilir [68].

3.2.6.6. Geçirimsizlik ile İlgili Kaynaklar

Güler ve Avcı (1993), geçirimsizlik kaplaması olarak kullanılacak killerde aranılan en önemli kriterin kilin permeabilite değeri olduğunu ifade edip ancak çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilerin kilin permeabilitesi üzerinde olumsuz etkiler yapabileceğini belirtip, killere bu tür etkilere karşı daha dayanıklı hale getirmenin bir yolunda kireç ile stabilizasyon olduğunu belirtmişlerdir [69].

Benoit ve Bornstein (1970) laboratuarda donma-çözülme sayısının kumun permeabilitesine etkisini incelemişlerdir. Sonuçta açıkta donma- çözülme devrelerine maruz kalan kumlarda permeabilite de çok az bir azalma gözlemlenmiştir [70].

Chamberlain ve Gaw (1979) yaptıkları çalışmada, donmaya bağlı olarak kilin permeabilitesindeki artışın çokgen tipinde büzülme çatlaklarının oluşmasıneden olduğunu açıklamışlardır [71].

Baynton ve Daniel (1985) yaptıkları çalışmada, sumuhtevasının azalması sonucu büzülme özelliğine sahip zeminlerin donma çözülme sonucu permeabilitesindeki değişimde düşey efektif gerilmenin etkili olduğunu bulmuşlardır [72].

Wallace (1987), permeabilite deneyinden önce çeşitli sayıda donma-çözülme devrelerine maruz bırakılmış zemin bentonit örneklerinin performansını incelemiştir. Bentonit ilave edilmiş (0-%6) zeminin permeabilitesi 70 kPa'lık efektif hücre basıncı altında ölçülmüştür. Deney sonuçları göstermiştir ki, bu yüksek efektif gerilme koşulları altında donma-çözülme sayısını artırmak ile permeabilitede artış olmamaktadır [73].

Kim ve Daniel (1992), zeminin permeabilitesi üzerinde donma-çözülmenin etkisini belirlemek için, sıkıştırılmış emin numunelerinin 35 kPa'lık nispeten düşük efektif gerilme altında esnek-duvarlı permeametrede permasyona tabii tuttular. Optimum su muhtevasının kuru tarafında sıkıştırılmış zemin için permeabilite donma çözülme evreleri sonrası yaklaşık olarak 100 kat arttığı ifade edilmiştir [69].

3.2.6.7. Geçirimsizlik Üzerine Etkiler

Geçirimsizlik katsayısının küçük olduğu killerde konsolidasyon hızı permeabiliteye bağlıdır. Geçirimsizlik katsayısının büyük olduğu geçirgen zeminlerden sızan sular bu zeminlere bir basınç uygularlar. Sızıntı basıncı olarak tanımlanan bu su basıncı çok büyük olabilir. Bu sızıntı basıncının zeminlerde bir oyuntu meydana getirmemesi için sızan bu sular kuyulara, kanallara veya temellerin altına yerleştirilen drenlere doğru sevk edilmelidir.

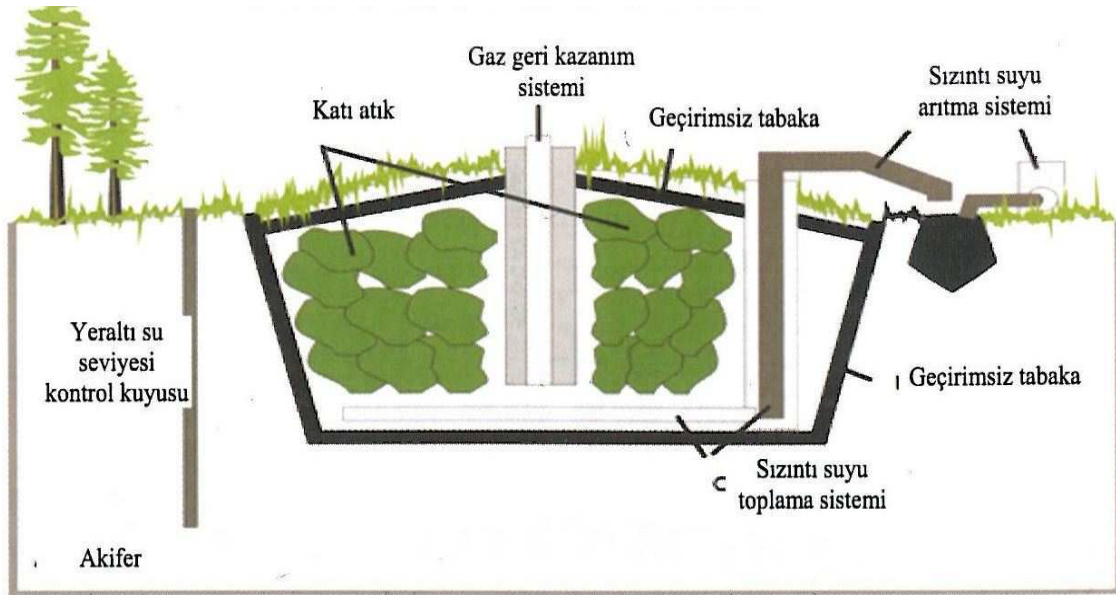
Killi zeminlerde geçirimsizlik katsayıları oldukça düşüktür. Geçirimsizlik, katsayıları tane büyüklüğü dağılımıyla ilişkili olan poroziteye bağlıdır. Porozite, zemin taneciklerinin şekil ve dizilimleri tane boyu dağılımları gibi faktörlerden etkilenir.

İnce taneli zeminler su muhtevsından çok asırı derece etkilenirler ve bunun sonucunda yük altında kolayca deforme olabilirler. İri taneli zeminlerde, yük altında oturma kısa sürede ve çok az miktarda olurken; ince taneli zeminlerde bu oturma oldukça fazladır ve çok uzun zaman alır.

Geçirimsizlik zeminlerin en geniş aralıkta değişim gösteren özelliği olup laboratuvar ölçümleri sırasında güvenilirliği etkileyebilecek birçok faktör söz konusudur. Bunlardan bazılarını belirtmek gerekirse, numune içinde hava kabarcıkları hapsolmuş ve buna bağlı olarak doygunluk derecesi %100'den küçük olabilir veya numune farklı sıklıklarda olabilir. Zemin dokusu ise yine deney sonuçlarında önemli etkiye sahiptir. Bu tip durumlardan deney sonuçlarında önemli derecede değişiklikler gözlemlenebilir [75].

3.3. Düzenli Depolama Tesisi Tabanı Tasarımı

Düzenli depolama tesisi tasarımı, öncelikle sızıntı suyu ve gaz kontrolü yapılarını ihtiva etmelidir. Bir düzenli depolama tesisinin başlıca tasarım bileşenleri, Şekil 3.11' de görüldüğü üzere, geçirimsiz taban kaplaması, sızıntı suyu toplama ve kontrol sistemi, gaz toplama ve kontrol sistemleri, yağmur suyu kontrolü ve nihai üst örtü tabakasıdır [2].



Şekil 3.11. Bir düzenli depolama atık tesisi tasarımı bileşenleri [2]

3.3.1. Depo Tabanı Kaplaması

Depo taban kaplaması, katı atık sızıntı suyunun zemine ve yer altı suyuna karışmasına imkan vermeksizin, kontrollü olarak toplanıp uzaklaştırılmasını sağlar. Taban kaplaması (TK) genellikle çok tabakalı, düşük geçirimsizlikte doğal kil veya sentetik malzemelerle teşkil edilir (bkz. Şekil 2.2-2.3) [2].

Geosentetik ürünler genel olarak beş sınıfta toplanabilir: Geosentetik Kil Kaplama (GKK), geomembran, geonet, geotekstil ve geogrit'lerdir. Doğal kil malzemenin kolay ve ucuza temin edilemediği durumlarda, uygun oranda ticari bentonite-kum karışımıyla GKK malzemesi hazırlanabilir. Esnek membran kaplaması olarak bilinen geomembranlar en yaygın olarak kullanılan geosentetik üründür. TK teşkilinde kullanılan geomembranlar, polietilen (PE), PVC veya diğer polimerler gibi yapay geçirimsiz malzemeden imal edilirler. Sızıntı suyundaki kimyasallara olan yüksek direnci dolayısıyla, atık depolama sahalarında kullanılan en yaygın geomembran türü HDPE malzemeden üretilir [2].

HDPE geomembranlar asgari 1.5 mm kalınlıkta olmalıdır. Diğer geomembran türlerinde [düşük yoğunluklu PE membran (LDPE), çok düşük yoğunluklu PE

membran (VLDPE), esnek polipropilen (FPP) membran, PVC membran ve klor sülfanatlı PE (CSPE) membran] ise asgari kalınlık 0.75 mm'dir. Geomembranların Darcy denklemindeki permeabilite katsayısı esaslı hidrolik iletkenli katsayıları $0.5 \times 10^{-10} - 0.5 \times 10^{-13}$ cm/sn aralığında değişir. Dolayısıyla geomembranların geçirimsizliği doğal kil malzeme ile teşkil edilen TK'sına göre $10^3 - 10^6$ kez daha yüksektir (doğal kil TK'sında genelde $k < 10^{-7}$ cm/s değeri esas alınır). HDPE geomembranlar 0.75 – 3.5 mm aralığındaki et kalınlıklarında üretilirler [2].

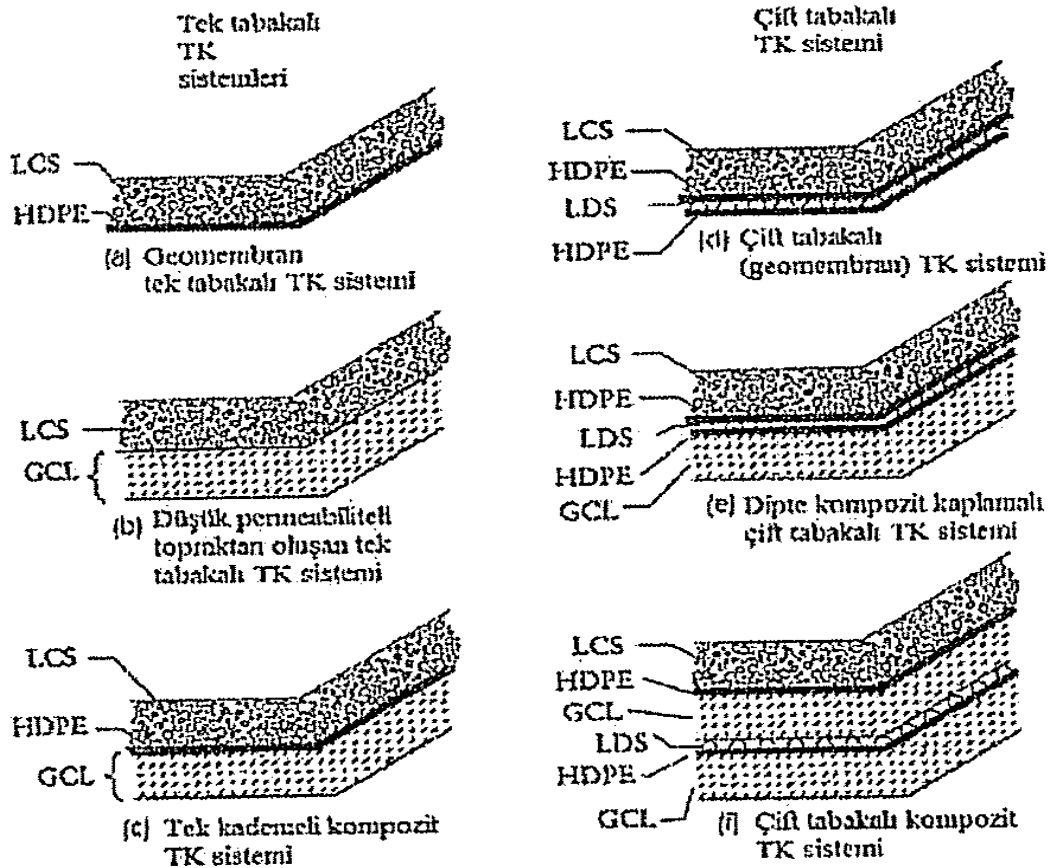
GKK, takriben 5 kg/m^2 bentonitin iki geotekstil tabakası arasında sandviç tarzında yerleştirilmesi veya bir yapıştırıcı ile geomembrana yapıştırılması suretiyle imal edilen geosentetik malzemedan teşkil edilirler. Genelde 13 mm kalınlıklı olan geosentetik kil malzemesinin geçirgenlik katsayısı $1 \times 10^{-9} - 5 \times 10^{-9}$ cm/sn aralığındadır. Tipik maliyeti büyük çaplı uygulamalar için $4.5 - 6.5 \text{ \$/m}^2$ aralığında değişmektedir [2].

Sıkıştırılmış doğal kil malzeme ile teşkil edilen TK'sı en yaygın uygulamalardan biridir. Uygun nitelikte doğal kil malzemenin kolay ve ucuza temin edildiği durumlarda en çok tercih edilen taban kaplaması yöntemidir. Bu tür TK'sında kil uygun şekilde (maksimum kuru birim hacim ağırlığın %95'i oranında) sıkıştırıldığı takdirde $k < 10^{-7}$ cm/s'lik Darcy permeabilite katsayısı düzeyinde geçirimsizlik sağlanabilir. Bu tür TK'sı asgari 60 cm (genelde 90-100 cm) kalınlıkta teşkil edilir. Yapım maliyeti çok değişken olup $5.4 - 53.8 \text{ \$/m}^2$ aralığında değişebilir. Sıkıştırılmış doğal kil TK'sı özellikle yeraltı suyu kirlenme riskinin yüksek olduğu durumlarda geotekstil + geomembran destekli olarak (kompozit TK) uygulanmaktadır [2].

Atık depolama sahalarında geçirimsiz taban kaplaması, depolanan atığın türüne bağlı olarak, tek tabakalı, kompozit (iki farklı malzemeyle) veya iki kademeli olarak teşkil edilirler (Şekil 3.12).

Tek tabakalı bir taban kaplaması (TK), kil veya geomembran ile teşkil edilir. Kompozit TK, altta kil, üstte geomembran ile teşkil edilir. İki kademeli TK sistemi, sızıntı suyunun yer altı suyuna karışma riskini iyice azaltmak için öngörülen bir

yöntem olup her kademede ki TK'lar, iki ayrı tek tabakalı veya kompozit TK olarak teşkil edilebilir.



Şekil 3.12. Depo tabanı kaplaması örnekleri [2]

LCS = Sızıntı suyu toplama sistemi, GCL = Geosentetik kil tabakası, LDS = Sızıntı suyu belirleme sistemi, HDPE: Geomembran

Her bir TK tabakası üzerinde, sızıntı suyu toplama sistemi yer alır. İki kademeli TK sisteminde, tabakalar arasında sızıntı suyu kaçağı izleme sistemi teşkil edilir. Son zamanlarda iki tabakalı (kompozit) TK sisteminde, alt tabakanın genellikle GKK ile teşkili yoluna gidilmektedir. GKK, iki tabakalı geotekstil arasına yerleştirilmiş ince bir ticari kil (sodyum bentonite) malzeme ile teşkil edilir ve rulo halinde yerleştirilir. Uygulama kolaylığı ve doğal kil malzemeye göre çok daha az yer işgal etmesi dolayısıyla, çoğu durumda GKK daha ekonomik olmaktadır [2].

Depo taban kaplamasındaki tabaka sayısı arttıkça, hem geçirimsizlik hem de maliyet önemli oranda artar. Kompozit TK sistemlerinin maliyeti 60 \$/m² seviyelerine kadar yükselebilir. Türkiye şartlarında GKK+2.5 mm HDPE Geomembrandan oluşan bir kompozit TK maliyeti 15-20 \$/m² civarındadır. İki tabakalı kompozit TK sistemi, depo sahasının içme suyu kaynaklarını kirletme riskinin yüksek olduğu durumlarda ve genelde doğal kil TK (veya GKK) + HDPE Geomembran olarak uygulanmaktadır. ÇOB Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (2010) ve AB Düzenli Depolama Direktifinde TK sistemi ile ilgili olarak öngörülen kritik tasarım kriterleri aşağıda özetlenmiştir:

Doğal kil TK kalınlığı: 100 cm (min)

Doğal kil TK geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı: $k < 10^{-9}$ m/s

Taban kaplamasının kompozit (geomembran+mineral tabaka) olarak teşkili durumunda geçirimsiz mineral malzeme ile yapay olarak oluşturulacak taban kaplaması toplam kalınlığı 0.5 m'den daha az olmamalıdır.

ABD'de, EPA tarafından tehlikesiz atıkların depolandığı atık depolama tesisleri için öngörülen asgari TK sistemi, 60 cm kalınlıklı kil ($k < 10^{-9}$ m/s) üzerine >1.5 mm HDPE geomembrandır [2].

3.3.2. Sızıntı Suyu Toplama ve Biriktirme

Depo alanı tabanı kaplamasının esas gayesi, yeraltı suyu kirlenme riskinin en aza indirilmesidir. Geçirimsiz tabaka, depolanan atıkla yer altı suyu arasında bir bariyer ve depoda oluşan sızıntı suyu için bir tutma haznesi görevi üstlenir. Atık hücresi tabanında biriken sızıntı suyu, geçirimsiz tabaka üzerinde azami 30 cm hidrolik yük oluşturmalı ve olabildiğince hızlı bir şekilde hücre dışına tahliye edilmelidir. Sızıntı suyu, tipik olarak iki şekilde uzaklaştırılır: cazibeli ve terfilili [2].

Sızıntı suyu toplama sistemi başlıca aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Koruma ve drenaj tabakası
- Delikli, tali ve ana toplama boruları
- Pompa emme (toplama) haznesi

- Sızıntı suyu terfi/tahliye pompalan
- Pompa otomatik kontrol sistemi
- Terfi merkezi binası ve pompa donanımı
- Terfili veya cazibeli kanalizasyon hattı

Sızıntı suyu toplama sistemi bileşenlerinin başlıca tasarım kriterleri Tablo 3.5'te özetlenmiştir. Parantez içinde koyu rakamlarla belirtilen değerler KAKY kriterlerini göstermektedir.

Tablo 3.5. Sızıntı suyu toplama sistemi bileşenleri için tasarım kriterleri [67]

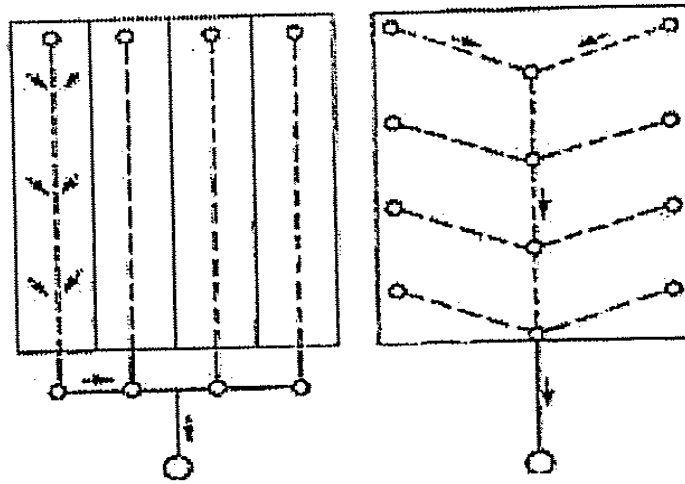
Parametre	Aralık	Medyan	KAKY kriterleri
Sızıntı suyu yükü (L/ha.gün)	5610-9350	7010	
Maksimum sızıntı suyu yüksekliği (cm)	23-30	28	
Boru aralığı (cm)	18-122	55	
Toplama borusu çapı (cm)	15-20	20	>10
Toplama borusunun yapıldığı malzeme	PVC ya da HDPE	HDPE	
Boru eğimi (%)	0.5-2	1	1
Drenaj eğimi (%)	0.2-2	1	1

Atık hücreleri tabanından toplanan sızıntı suyu, arıtılıp uzaklaştırılmaya veya depo üzerine geri devrettirilinceye kadar, depolama alanının uygun bir yerinde inşa edilecek sızıntı suyu biriktirme havuzunda geçici olarak depolanır. Sızıntı suyunun biriktirilmesi, arıtma öncesi debi ve konsantrasyon dengelemesi bakımından da faydalıdır. Bu maksatla, genelde DD alanında 25 yıl tekerrürlü ve 24 saat süreli yağış sonucu oluşacak yüzeysel akışı biriktirmeye yetecek büyüklükte bir kapasite düşünülür [2].

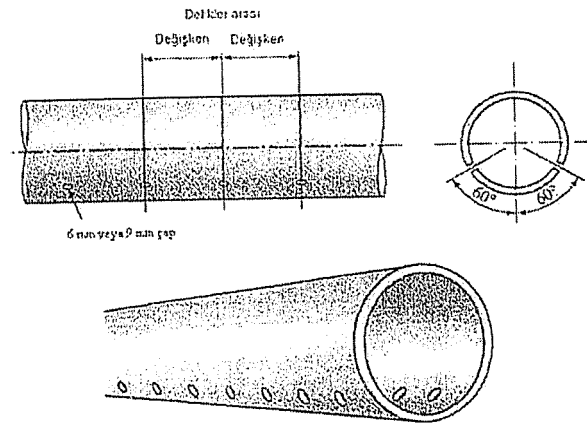
3.3.3. Sızıntı Suyu Toplama Sistemi Tasarımı

Genelde DD ile ilgili mevzuat, geçirimsiz tabaka üzerindeki azami sızıntı suyu yüksekliğini 30 cm ile sınırlandırmaktadır. Sızıntı suyu toplama (drenaj) sistemindeki drenaj borularının uzunlukları, drenaj yüzeyi (alanı) eğimi, drenaj malzemesi (çakıl ve/veya geotekstil) iletkenliği (permeabilite) ve sızıntı suyu tahliye hızı, geçirimsiz tabaka üzerindeki su yükü üzerinde etkilidir. Depo tabanındaki geçirimsiz tabaka üzerinde su yükü, drenaj sistemi ve malzemesi özellikleri göz önünde tutularak, Darcy ve süreklilik denklemleri yardımıyla tahmin edilebilir [2].

Tipik sızıntı suyu toplama sistemi yerleşim planları Şekil 3.13'te verilmiştir. Depo tabanındaki sızıntı suyu toplama sistemi genelde < 15 m ara ve < 300 m uzunlukta döşenen özel drenaj boruları ile teşkil edilir (Şekil 3.14) ve depo tabanı drenaj borularına doğru balık sırtı şeklinde eğimlendirilir [2].



Şekil 3.13. Sızıntı suyu toplama sistemleri [2]



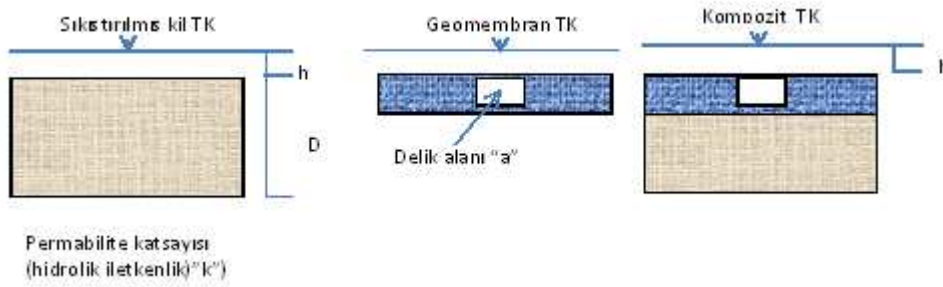
Şekil 3.14. PVC veya HDPE sızıntı suyu toplama borularında delik çapları ve konumları [2]

3.3.4. Depo Taban Kaplamasından Sızma Tahkiki

Depo taban kaplamalarının tam geçirimsiz olarak kabulü doğru değildir. Gerek geomembranlar üzerindeki delik ve yırtıklardan gerekse sıkıştırılmış kil malzemedeki boşluk ve çatlaklardan az da olsa bir miktar sızıntı suyunun TK'dan sızarak alttaki zemin tabakasına ulaşması söz konusu olabilir. Ancak bu arada, özellikle katı atık sızıntı suyu bünyesindeki yüksek oranda çözülmüş katı maddelerin TK tabakasındaki delik ve boşlukları tıkararak zamanla mevcut TK geçirimsizliğini iyice düşüreceği olgusu da göz önünde bulundurulmalıdır. TK üzerindeki sızıntı suyunun kaplamadan sızması sürecini kontrol eden başlıca mekanizma Darcy akımı (konvektif akım)'dır [2].

Delik, yırtık, çatlak, ek yeri kusuru v.b. imalat hatalarının olmadığı durumlarda geomembranlardan sıvı taşınımı moleküler difüzyon ile gerçekleşir. Difüzyon TK üstü ve altı arasındaki konsantrasyon gradyanı ile orantılı olup birinci Fick kanunu U_e ifade edilir [2].

DDT taban kaplamasında kullanılan üç ana geçirimsiz taban örtüsü Şekil 3.15'te verilmiştir. Söz konusu TK teknikleri için EPA (1991) tarafından önerilen sızma tahkiki yöntemleri aşağıda ana hatları ile özetlenmiştir [2].



Şekil 3.15. DDT Taban Kaplamalarında Kullanılan Üç Ana Geçirmez Taban Türü [2]

3.3.5. Sıkıştırılmış Kil Taban Kaplamasından Sızma

Bu tür TK'sından sızma Darcy kanununa göre Denklem 3.1'de verildiği gibi aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir [2].

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad (3.1)$$

Burada;

Q: TK'ndan sızan (geçen) sızıntı suyu debisi, (cm³/sn)

k: TK'nın Darcy permeabilite katsayısı, (cm/sn)

i: hidrolik eğim

A: Depo (hücre) taban alanı, (cm²)

Hidrolik eğim, $i = (h + D)/D$ olup genelde hesaplar TK üzerinde en fazla $h = 30$ cm'lik sızıntı suyu yüksekliği ve $k = 10^{-7}$ cm/sn'lik Darcy permeabilite katsayısı için yapılır. Örneğin $h = 0.3$ m, $D = 0.9$ m ve $k = 10^{-7}$ cm/sn için $Q = 0.115$ L/m.gün bulunur.

3.3.6. Geomembran Taban Kaplamasından Sızma

Geomembran TS'ındaki enkesit alanı "a" olan bir delikten olan sızma (Q), orifis denklemi kullanılarak [2];

$$Q=C_b.a(2.g.h)^{0,5} \quad (3.2)$$

Eşitliğinden hesaplanabilir. Burada;

Q: "a" alanlı bir delikten sızma debisi (cm²/sn)

C_b: Orifis katsayısı (dairese delik için 0.6)

g: yerçekimi ivmesi, (9.81 cm/sn)

h: TK üzerindeki sızıntı suyu yüksekliği, (cm) dir.

Geomembranla teşkil edilen düzenli depo TK'nda, iyi kalite kontrolü durumunda delik sayısı 2.5 delik/ha olurken kötü/zayıf kalite kontrolü sonucunda 75 delik/ha gibi yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Deliklerin büyük çoğunluğunda delik enkesit alanı $d < 0.1 \text{ cm}^2$ olmakla birlikte, seyrekte olsa daha büyük deliklerle karşılaşabilmektedir. Örneğin a = 0.1 cmlık delikten, 1.5 mm HDPE geomembrandan h = 30 cm su yükü altında geçebilecek sızıntı suyu debisi, 2.5 delik/ha'lık delik yoğunluğu için 0.31 L/m². gün, 75 delik/ha'lık delik yoğunluğu için 9.4 L/m². gün mertebelerindedir.

3.3.7. Kompozit Taban Kaplamasından Sızma

Bu tür kaplamalardan olası sızmanın hesabı ile ilgili olarak genelde deneysel ve ampirik ifadeler kullanılmaktadır. Geomembran ile altındaki geosentetik kil veya sıkıştırılmış doğal kil tabakası arasındaki temas yüzeyinin iyi (boşluksuz) ve zayıf (boşluklu) olması durumlarında sızma suyu miktan için (Darcy hidrolik eğimi, i=1 alınarak) aşağıdaki ifadeler kullanılmaktadır [2].

Boşluksuz temas yüzeyi:

$$Q=0.21.a^{0.21}.h^{0.9}.k^{0.74} \quad (3.3)$$

Boşluklu temas yüzeyi

$$Q=1.15.a^{0.21}.h^{0.9}.k^{0.74} \quad (3.4)$$

Eşitliklerinden hesaplanabilir. Burada,

Q: “a” alanlı bir delikten sızmayı ifade etmektedir.

Bu ifadelerde boyut homojenliği mevcut olmadığı için, a (m²), h (m), k (m/sn) ve sonuçta Q (m³/sn) boyutundadır. Örneğin, a = 0.1 cm², 2.5 delik/ha delik yoğunluğu, D= 0,30 m kalınlıklı doğal kil tabaka (k<10⁻⁷ cm/sn) ve üzerindeki HDPE geomembrandan oluşan kompozit TK'nda üzerindeki 0.30 m'lik hidrolik yük altında sızması beklenen sızıntı suyu miktarı Q=5.61x10⁻⁴ L/m².gün mertebesindedir. Bu sonuçtan da anlaşılacağı üzere kompozit TK, tek tabakalı sıkıştırılmış doğal kil TK'na göre çok daha az oranda (~1/205'i) sızdırma riski taşımaktadır [2].

Burada yapılan çalışma dikkate alındığında sıkıştırılmış kil taban kaplamasından sızıntı suyunun geçiş süresi ile ilgili örnekler aşağıda verilmiştir.

Kilin Geçirgenliği, k= 1×10⁻⁷ cm/sn,

Porozite, n= 0.40,

Katı atık sızıntı su seviyesi, d= 0.20 m, alınması durumunda:

Darcy denklemi (3.1);

$$v=k. \left(\frac{h+d}{d} \right) \quad (3.5)$$

$$V_g = \frac{v}{n} \cdot t = \frac{d \cdot n}{v_g} \quad (3.6)$$

$$t = \frac{d^2 \cdot n}{k} \cdot \frac{1}{h+d} \quad (3.7)$$

Kil tabaka kalınlığının, $h=0.20$ m olması halinde;

$$t = \frac{0,2^2 \cdot 0,40}{1 \times 10^{-7} \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{0,2+0,2}$$

$t=463$ gün bulunmaktadır.

Bu sonuca göre; 20 cm kalınlığında kil tabakası kullanılan minyatür saha düzeneğindeki katı atık sızıntı suyu 463 gün sonra tüm kil tabakasını ıslatarak deney düzeneğinin altından sızacaktır (Şekil 3.16).

Kil tabaka kalınlığının, $h=0,40$ m olması halinde;

$$t = \frac{0,2^2 \cdot 0,40}{1 \times 10^{-7} \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{0,4+0,2}$$

$t=1235$ gün bulunmaktadır.

Bu sonuca göre; 40 cm kalınlığında kil tabakası kullanılan minyatür saha düzeneğindeki katı atık sızıntı suyu 1235 gün sonra tüm kil tabakasını ıslatarak deney düzeneğinin altından sızacaktır (Şekil 3.16).

Kil tabaka kalınlığının, $h=0,60$ m olması halinde;

$$t = \frac{0,2^2 \cdot 0,40}{1 \times 10^{-7} \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{0,6+0,2}$$

$t=2083$ gün bulunmaktadır.

Bu sonuca göre; 60 cm kalınlığında kil tabakası kullanılan minyatür saha düzeneğın deki katı atık sızıntı suyu 2083 gün sonra tüm kil tabakasını ıslatarak deney düzeneğının altından sızacaktır (Şekil 3.16).

Kil tabaka kalınlığının, $h=0,80$ m olması halinde ise;

$$t = \frac{0,2^2 \cdot 0,40}{1 \times 10^{-7} \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{0,8+0,2}$$

$t=2963$ gün bulunmaktadıır.

Bu sonuca göre; 80 cm kalınlığında kil tabakası kullanılan minyatür saha düzeneğın deki katı atık sızıntı suyu 2963 gün sonra tüm kil tabakasını ıslatarak deney düzeneğının altından sızacaktır.

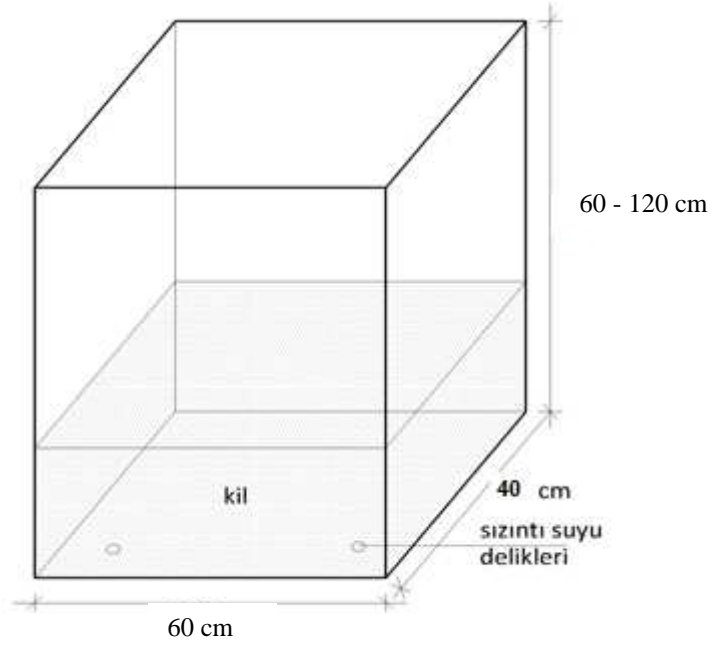
BÖLÜM 4. MATERYAL, METOD VE DENEYSEL ÇALIŞMA PLANI

4.1. Materyal ve Metod

Katı atık düzenli depolama alanlarında depolanan atıkların yeraltı suyu kirlenmesine neden olan sızıntı suyu geçişinin farklı kalınlıktaki kil tabakaları ile modellenmesi amacı ile gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli bu çalışmada; permeabilitesi 1×10^{-7} cm/sn veya daha küçük olarak sağlanan kil malzemesinin, daha önce hazırlanıp laboratuvar ortamına getirilen deney düzeneklerine çeşitli kalınlıklarda (20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm) yerleştirilip, sıkıştırıldıktan sonra üzerine katı atık sızıntı suyu boşaltılmıştır.

Deneysel çalışma sırasında meydana gelebilecek değişimleri gözlemleyebilmek ve gerekli ölçümleri yapabilmek için, bu çalışmada kullanılan minyatür saha düzeneği camdan yapılmış olup ebatları 40x60 cm ve derinlikleri 60-80-100-120 cm olarak hazırlanmıştır (Şekil 4.2). 4 farklı kalınlıktaki kil tabakası deneye tabi tutulduğundan 4 adet ayrı deney düzeneği hazırlanmıştır. Her deney düzeneğinin tabanında kil tabakasının tamamen ıslanması durumunda sızabilecek katı atık sızıntı suyunu drene edebilecek sızıntı suyu delikleri açılmıştır (Şekil 4.1). Deney düzeneklerine yerleştirilen farklı kalınlıktaki kilin permeabilitesi 1×10^{-7} cm/sn olup bu çalışma için uygun bir malzemedir.

Hazırlanan deney düzenekleri 9 ay boyunca izlenerek; gerçekleşen değişimler, oluşan sızmalar ve/veya ıslanmalar günlük, haftalık ve aylık tablolar halinde düzenli olarak kayıt altına alınmıştır. Böylece düzenli depolama alanlarında geçirimsiz tabaka oluşturulmasında kullanılan kilin en uygun kalınlığı tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.1. Örnek Minyatür Saha Düzeneği

Minyatür saha düzenekleri için kapalı bir ortam tahsis edilmiştir. Deneylerin kapalı bir ortamda yapılmış olması katı atık sızıntı suyunun buharlaşmasını bir miktar azaltacaktır. Ancak bu buharlaşma, yapılan çalışmada dikkate alınmamıştır.



Şekil 4.2. Minyatür Saha Düzeneklerinin Genel Görünümü

İlk etapta 2008 - Ocak ayında minyatür saha düzenekleri, kalınlığı 6 mm olan cam kullanılarak hazırlanmıştır. Ancak deney düzeneklerinin içine kil malzemesi serildikten sonra sıkıştırma yapma esnasında deney düzeneklerinden bazıları çatlamış ve kırılmıştır (Şekil 4.3). Bunun sonucunda minyatür deney düzenekleri 8 mm kalınlığında cam kullanılarak yeniden oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. 6mm Camdan Yapılan Minyatür Saha Düzeneginin Kırılması

Özenle oluşturulan minyatür saha düzenekleri 2008-mart ayının başında İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden alınan özel izinle deneylerin yapılacağı İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin özel şirketi olan İSTAÇ A.Ş.'nin Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Alanına getirilmiştir (Şekil 4.4). Çalışma kapsamında şirket tarafından bu alanda oluşturulan laboratuvar ortamının gerek katı atık düzenli depolama alanının içinde yer alması, gerekse de katı atık sızıntı suyu havuzunun hemen bitişiğinde olması, deney aşamasında kullanılacak materyallerin çabuk ve kolay bulunması açısından avantaj oluşturmuştur.



Şekil 4.4. Minyatür Saha Düzeneklerinin Laboratuvar Ortamına Taşınması

4.2. Deneysel Çalışma

4.2.1. Araştırmanın Amacı

Günümüze kadar yapılmış bilimsel çalışmalarda ve uygulamalarda permeabilitesi $1 \times 10^{-7} \text{cm/sn}$ veya daha küçük kilin düzenli depolama alanı teşkilinde geçirimsiz tabaka malzemesi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir [2,31,32,75-76]. Ancak her ne kadar katı atık düzenli depolama alanlarında 30'ar cm lik 2 tabakadan oluşan 60 cm kil kullanılsa da bu kalınlığın neden 60 cm olduğu veya gerekli olan kil tabaka kalınlığının ne kadar olması gerektiği tam olarak belirtilmemektedir.

Bu çalışmanın amacı; yapay minyatür deponi sahaları (deney düzenekleri) oluşturup, katı atık depolama alanlarında geçirimsizliğe etki eden önemli taban parametrelerinden biri olan killer üzerinde (çeşitli kalınlıklardaki) gerekli permeabilite (geçirimsizlik) deneyleri yaparak katı atık düzenli depolama alanlarında kullanılması gereken en uygun kil tabaka kalınlığının belirlenmesidir.

4.2.2. Araştırmanın Yöntemi

Deney için gerekli olan deney düzenekleri laboratuvar ortamına özenle getirilip, düzeneklerin içine daha önceden belirlenmiş kalınlıklarda kil malzemesi yerleştirilip sıkıştırılmıştır. Kilin üzerine boşaltılacak olan katı atık sızıntı suyu İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSTAÇ A.Ş.'nin Odayeri Katı Atık Sızıntı Suyu Havuzundan temin edilmiştir [7]. Temin edilen katı atık sızıntı suyunun özellikleri değiştirilmeden, kapalı bir bidonla laboratuvar ortamına getirilmiş ve deney düzeneklerine boşaltılarak oluşabilecek değişimler gözlemlenmiştir. Bu değişimlerin gözlemlenmesi için oluşturulan deney düzeneklerinin içine cm değerleri (cetvel) işaretlenmiştir. Hazırlanan düzenekler 9 ay boyunca izlenerek; gerçekleşen değişimler, oluşan sızmalar ve ıslanmalar günlük, haftalık ve aylık tablolar halinde düzenli olarak kayıt altına alınmıştır.

4.2.3. Kil Temini, Yerleştirilmesi ve Sıkıştırılması

Bu çalışmada kullanılacak kilin permeabilitesinin 1×10^{-7} cm/sn veya daha küçük olması gerekmektedir. Bu özelliği taşıyan en uygun kil malzemesinin İstanbul ili, Şile ilçesine bağlı Kömürcüoda köyü yakınlarında bulunabileceği İSTAÇ A.Ş. kayıtlarından tespit edilmiştir [7]. Deneyleerde kullanılan kilin fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan Kil Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

Elekten Geçen % (200 nolu)	96
Kum %	4
Silt %	51
Kil %	45
Likit limit %	53
Plastik limit %	18
Plastisite İndisi %	35
Optimum Su muhtevası %	19
Kuru Birim Hacim Ağırlık kN/m ³	17.10
Zemin sınıflaması (TS1500)	CH

İSTAÇ A.Ş. tarafından söz konusu bölgeden temin edilen torbalar içindeki kil malzeme kış mevsimi olmasından dolayı ıslanmış ve plastikleşmiş halde laboratuvar ortamına getirilmiştir. Kilin deney düzeneklerinin içine serilip sıkıştırılması için öncelikle kil malzemesi kurutulmuştur. Kurutma işlevi katı atık düzenli depolama alanının içerisinde hazır bulunan, tıbbi atık yakma tesisinin 1200°C sıcaklığındaki borularının altında gerçekleştirilmiştir. Kil malzemesinin içindeki sert topaklaşmış büyük parçaların ufalanması için öncelikle iş makineleri tarafından kil malzeme ezilmiştir. Daha sonra da kalan küçük topaklar ve parçalar da tahta kalaslarla dövülerek kil malzemenin iyice ufalanması sağlanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Topaklaşmış Kil Malzemesinin Dövülüp Ufalanması

Tam olarak ufalanan kil malzeme daha sonra tabakalar halinde minyatür sahaların içine yerleştirilmeye başlanmıştır. Sıkıştırmanın iyi bir şekilde gerçekleşmesi için kil malzemesi 10 cm'lik tabakalar halinde tahta tokmaklar kullanılarak sıkıştırılmıştır (Şekil 4.6). Birinci deney düzeneğine 20 cm, ikinci deney düzeneğine 40 cm, üçüncü deney düzeneğine 60 cm ve dördüncü düzeneğine de 80 cm kil malzeme yerleştirilip, sıkıştırılması sağlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.6. Kil Malzemesinin Minyatür Saha Düzeneğine Yerleştirilip Sıkıştırılması



Şekil 4.7. Minyatür Saha Düzeneklerindeki Sıkıştırılmış Kil Malzemesi
(Soldan Sağa; 40 cm, 60 cm, 80 cm, 20 cm)

4.2.4. Kilin Üzerine Katı Atık Sızıntı Suyunun Boşaltılması

Katı atık sızıntı suyu İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından tahsis edilen sahada kurulan mini laboratuvarın hemen yanındaki Odayeri Katı Atık Sızıntı Suyu havuzundan temin edilmiştir (Şekil 4.8). Katı atık sızıntı suyu ağır metaller içermekte olup İSTAÇ A.Ş. tarafından her hafta düzenli olarak tahlil edilmektedir. Katı atık sızıntı suyunun taşınması esnasında özelliklerini kaybetmemesi için kapalı bir bidonla laboratuvar ortamına getirilmiştir. Katı atık sızıntı suyu hazırlanan her deney düzeneğine (4 farklı kalınlıktaki kil tabakası içeren) eşit ölçüde boşaltılmıştır (20 cm) (Şekil 4.9). Katı atık sızıntı suyunun kil malzemesinin üzerine boşaltılması esnasında, sızıntı suyunun kil malzemesine ve deney düzeneklerine zarar vermemesi için gerekli itina gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Katı Atık Sızıntı Suyunun Temin Edildiği İSTAÇ A.Ş.'nin Odayeri Düzenli Depolama Alanındaki Katı Atık Sızıntı Suyu Havuzu



Şekil 4.9. Katı Atık Sızıntı Suyunun Deney Düzeneklerindeki Minyatür Sahalara Dikkatlice Boşaltılması

4.2.5. Permeabilite Deneyleri

Yapay olarak hazırlanan deponi alanlarında (minyatür deney düzenekleri) kullanılan kilin permeabilitesinin belirlenmesi için (bu çalışmanın deney aşamasından önce) yapılan laboratuvar deneylerine göre, bu çalışmada kullanılan kilin yüksek plastisiteli ve permeabilitesinde yönetmeliklere uygun olarak 1×10^{-7} cm/sn veya daha küçük olduğu belirlenmiştir [3].

Ancak bu çalışmanın ve yapılan deneylerin güvenilirliğini artırmak amacıyla gerek kullanılan kilin alındığı aynı bölgedeki yüksek plastisiteli killer üzerinde gerekse başka bölgelerden alınan kum karışımı düşük plastisiteli malzemeler üzerinde permeabilite deneyleri yapılmıştır. Yüksek plastisiteli killer ile düşük plastisiteli malzemelerin fiziksel özellikleri laboratuvar ortamında belirlenmişlerdir (Tablo 4.2, Tablo 4.3, EK 1, EK 2).

Tablo 4.2. Permeabilite Deneylerinde Kullanılan Yüksek Plastisiteli Kil Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

Elekten Geçen % (200 nolu)	99.8
Kum %	0
Silt %	24
Kil %	76
Likit limit %	82.1
Plastik limit %	22.7
Plastisite İndisi %	59.4
Zemin sınıflaması (TS1500)	CH

Tablo 4.3. Permeabilite Deneylerinde Kullanılan Düşük Plastisiteli (Killi Kum)Malzemenin Fiziksel Özellikleri

Elekten Geçen % (200 nolu)	29.2
Kum %	70
Silt %	21
Kil %	9
Likit limit %	20.1
Plastik limit %	10.5
Plastisite İndisi %	9.6
Zemin sınıflaması (TS1500)	SC

Düzenli katı atık depolama alanlarında killerin permeabilitesini kontrol eden en önemli faktörlerden biri sıkıştırma olduğundan, sağlanan bu iki farklı özelliklerdeki malzemeler sıkıştırılma yoğunlukları değiştirilerek (farklı darbe sayıları ile) deneye tabi tutulmuştur. Böylece az sıkışmış, orta derecede sıkışmış ve iyi sıkışmış killerin

göstereceği farklı permeabilite değerleri belirlenmiştir. Bu deneylerde numuneler saf su ve katı atık sızıntı suyu uygulanmış, saf su ve katı atık sızıntı suyunun geçirimsiz malzemelerin permeabilitesini nasıl etkilediği belirlenmiştir (Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6).

Tablo 4.4. Yüksek Plastisiteli Killerin Saf Su Kullanılarak Permeabilite Değerlerinin Bulunması

Darbe Sayısı	25	15	5
1.Deneme için permeabilite katsayısı (k) cm/sn	$2,52 \times 10^{-08}$	$6,30 \times 10^{-08}$	$1,21 \times 10^{-07}$
2. Deneme için permeabilite katsayısı (k) cm/sn	$9,08 \times 10^{-09}$	$9,91 \times 10^{-08}$	$1,21 \times 10^{-08}$
Ortalama permeabilite katsayısı (k) cm/sn	$1,72 \times 10^{-08}$	$3,64 \times 10^{-08}$	$6,66 \times 10^{-08}$

Tablo 4.5. Yüksek Plastisiteli Killerin Katı Atık Sızıntı Suyu Kullanılarak Permeabilite Değerlerinin Bulunması

Darbe Sayısı	25	15	5
1.Deneme için permeabilite katsayısı (k) cm/sn	$2,27 \times 10^{-08}$	$3,04 \times 10^{-08}$	$6,65 \times 10^{-08}$
2. Deneme için permeabilite katsayısı (k) cm/sn	$6,23 \times 10^{-09}$	$6,81 \times 10^{-09}$	$7,79 \times 10^{-09}$
Ortalama permeabilite katsayısı (k) cm/sn	$1,45 \times 10^{-08}$	$1,86 \times 10^{-08}$	$3,71 \times 10^{-08}$

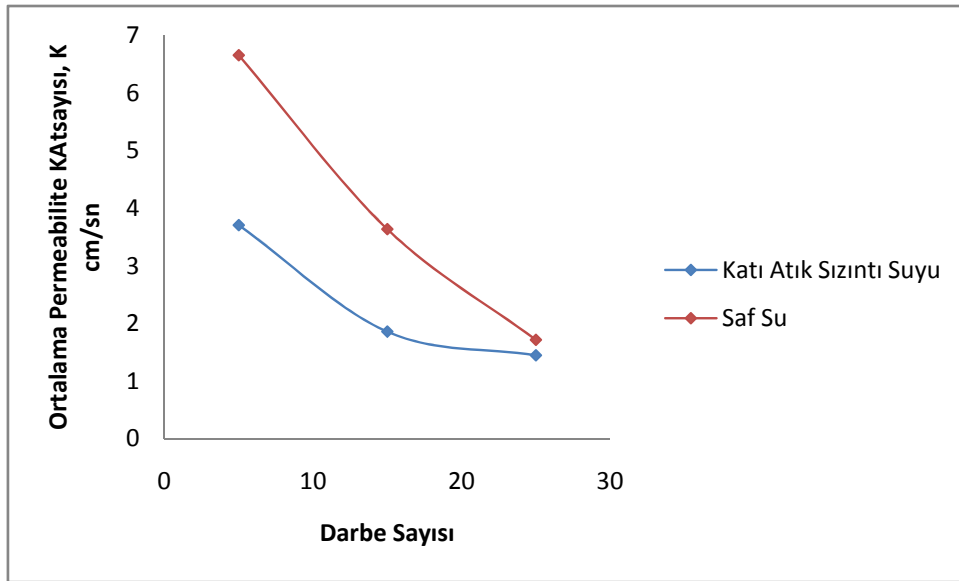
Ayrıca saf su ile düşük plastisiteli Malzemeler üzerinde yapılan permeabilite deneylerinde geçirgenliğin daha büyük olduğu Tablo 4.6'da görülmektedir. Çünkü Kullanılan malzemeler kum-çakıl karışımı kil olduğu için yüksek plastisiteli killere göre geçirgenlikleri daha fazla olmuştur. Ayrıca kullanılan saf su, katı atık sızıntı

suyu gibi malzemelerdeki gözenekleri tıkayamadığından dolayı geçirgenlik katı atık sızını suyunu göre daha fazla oluşmuştur.

Tablo 4.6 Düşük Plastisiteli (Kum-Çakıl Karışımı) Malzemelerin Saf Su Kullanılarak Permeabilite Değerlerinin Bulunması

Darbe Sayısı	25	15	5
1.Deneme için permeabilite katsayısı(K) cm/sn	$4,36 \times 10^{-06}$	$7,37 \times 10^{-06}$	$1,05 \times 10^{-05}$
Nihai okuma permeabilite katsayısı (K) cm/sn	$4,36 \times 10^{-07}$	$6,54 \times 10^{-07}$	$7,70 \times 10^{-07}$
Ortalama permeabilite katsayısı (K) cm/sn	$2,40 \times 10^{-06}$	$4,01 \times 10^{-06}$	$5,63 \times 10^{-06}$

Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 de görüleceği üzere saf su ile katı atık sızıntı sularının yüksek plastisiteli kil üzerinde farklı permeabilite değerlerine ulaştıkları ayrıca katı atık sızıntı sularında geçirimsizliğin daha iyi sağlandığıdır (Şekil 4.10). Bunun nedeni katı atık sızıntı sularındaki taneciklerin ve zararlı maddelerin kildeki gözenekleri tıkamasıdır.



Şekil 4.10 Saf Su ve Katı Atık Sızıntı Suyu ile Yüksek Plastisiteli Kil Üzerinde Yapılan Permeabilite Deney Grafiğinin Bir Arada Gösterilmesi

Böylece yüksek ve düşük plastisiteli killer üzerinde, saf su ve katı atık sızıntı suyu kullanılarak yapılan permeabilite deneylerinden elde edilen sonuçlara göre;

1. Standart proktörde 25 darbeyle sıkıştırılmış olan kilin permeabilitesi 5 ve 15 darbe ile sıkıştırılmış killere nazaran daha iyi düzeydedir. Dolayısıyla, katı atık düzenli depolama alanlarında en iyi permeabilitenin sağlanması için sıkıştırmanın en uygun şekilde yapılması gerekmektedir.
2. Katı atık sızıntı suyunun saf suya göre killerde daha iyi bir permeabilite sağladığı belirlenmiştir. Bunun nedeni, katı atık sızıntı suyunun içerdiği yabancı ve zararlı maddeler ve kimyasallardır. Bu maddeler killerin gözeneklerini kapatıp kil malzemesinin daha az geçirimli olmasını sağlamaktadır.
3. Yüksek plastisiteli kil, içerisinde kum gibi iri daneler barındıran düşük plastisiteli killere göre çok daha iyi bir geçirimsizlik sağladığı belirlenmiştir. Dolayısıyla katı atık düzenli depolama alanları yapılırken, permeabilitesi $k=1 \times 10^{-7}$ cm/sn veya daha düşük geçirgenliğe sahip killer seçilmelidir. Killer seçilirken içerisinde iri daneler ve yabancı maddeler içermemesine önemle dikkat edilmelidir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

2008 yılı Mart ayı başında minyatür deney düzenekleri hazır hale getirilmiş, 5 Mart 2008 tarihinde deneyler 4 farklı düzenekte (20, 40, 60, 80 cm kalınlığında kil tabakaları içeren) katı atık sızıntı suyunun deney düzenekleri üzerine özenle boşaltılmasıyla başlanmıştır. Daha sonra oluşan kildeki ıslanma ve katı atık sızıntı suyu seviye değişimleri günlük, haftalık ve aylık periyotlar ile gözlemlenmeye başlanmıştır.

İlk bir haftalık periyotta hazırlanan 4 deney düzeneğinde de önemli değişimler gözlemlenmiştir. İkinci hafta sonunda her bir deney düzeneğinde katı atık sızıntı suyu seviyesinde ortalama 5 cm'lik seviye düşüşü gözlenirken, doğal olarakta kil tabakasıyaklaşık 5-6 cm ıslanmıştır. İkinci haftanın hemen hemen her gününde gözle görülür şekilde yaklaşık 1-2 cm'lik seviye değişimleri kaydedilirken, bu değişimler hafta sonunda yavaşlamış ve üçüncü haftaya girildiğinde hemen hemen durma noktasına gelecek şekilde azalmıştır. Üçüncü haftanın sonunda katı atık sızıntı suyundaki seviye değişimi 7-8 cm dolaylarında gerçekleşirken, kildeki ıslanmalar biraz fazla artarak 10 cm dolaylarına ulaşmıştır. Bu aşamadan sonra gerek katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma gerekse kildeki ıslanmalar oldukça yavaşlamıştır. Örneğin 1 cm'lik değişimler yaklaşık birer haftalık periyotlarda gözlemlenebilmiştir. Bazen bu 1 cm'lik değişim süresi 2-3 haftaya kadar çıkmıştır.

Mart ayının sonunda, katı atık sızıntı suyu seviye değişimi tüm minyatür deney düzeneklerinde ortalama 8cm, kildeki ıslanma da ortalama 10 cm olarak ölçülmüştür (Tablo 5.1, Ek 3, Ek 4, Ek 5, Ek 6, Ek 7).

Nisan ayında, gerek katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalmalar gerekse de kildeki ıslanmalar ilk aya göre azalmış ve tüm ay boyunca yaklaşık 2-3 cm dolaylarında değişimler gözlemlenmiştir. Nisan ayının sonunda katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma tüm minyatür deney düzeneklerinde ortalama 10 cm'yi

bulurken, kildeki ıslanma 13 cm dolaylarında gerçekleşmiştir (Tablo 5.2, Ek 8, Ek 19, Ek 10, Ek 11, Ek 12).

Mayıs ayında ise gerek katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalmalar, gerekse kil malzemedeki ıslanmalar daha da yavaşlamış, hem katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma hemde kildeki ıslanmada toplam da 2 cm olarak ölçülmüştür. Mayıs ayı sonu itibariyle, katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma her düzenekte ortalama 12 cm'yi bulurken kildeki ıslanmalar ortalama 15 cm olarak gözlemlenmiştir (Tablo 5.3, Ek 13, Ek 14, Ek 15, Ek 16, Ek 17).

Haziran ayında 120 cm uzunluğundakiminyatür deney düzeneğinin (muhtemelen aşırı sıkıştırmanın kil tabakasındaki ıslanma ile birlikte oluşturduğu aşırı basınçla) köşelerinde açılmalmeydana gelerek, minyatür deney düzeneğinin içindeki katı atık sızıntı suyu tamamen yere boşalmış ve deney sona ermiştir. Bu tarihten itibaren çalışmaya kalan üç minyatür deney düzeneği ile devam edilmiştir. Tüm deney düzeneklerinde haziran ayında gerek katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma, gerekse kildeki ıslanma 1'er cm olarak ölçülmüştür. Katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma tüm minyatür deney düzeneklerinde ortalama 13 cm, kildeki ıslanma ise ortalama 16 cm olarak gerçekleşmiştir (Tablo 5.4, Ek 18, Ek 19, Ek 20, Ek 21, Ek 22).

Temmuz ayı itibariyle katı atık sızıntı suyu seviyesindeki değişim ve kildeki ıslanma tamamen durmuş, aylık değişimler 1'er cm olarak ölçülebilmıştır. Temmuz ayı sonu itibariyle, 20 cm kil tabakasına sahip minyatür deney düzeneğindeki katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 3 cm, kildeki ıslanma ise 2 cm artarak; katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 16 cm, kildeki ıslanma ise 18 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.5, Ek 23, Ek 24). 40 cm kil tabakasında ki değişimler ise; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 1 cm, kil malzemesindeki ıslanma ise 2 cm artmıştır. Katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 14 cm, kildeki ıslanma ise 18 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.5, Ek 23, Ek 25). 60 cm kil tabakasında ki değişimler ise; gerek katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma gerekse kildeki ıslanma değişmemiştir. Katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 13 cm, kildeki ıslanma ise 16 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.5, Ek 23, Ek 25).

Ağustos ayı sonu itibariyle, 20 cm kil tabakasına sahip minyatür deney düzeneğinde katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 2 cm, kildeki ıslanma ise 1 cm artarak; katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 18 cm, kildeki ıslanma ise 19 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.6, Ek 27, Ek 28). 40 cm kil tabakasında ki değişimler ise; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 1 cm ölçülürken kildeki ıslanma ise değişmemiştir. Böylece katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 15 cm, kildeki ıslanma ise 18 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.6, Ek 27, Ek 29). 60 cm kil tabakasında ki değişimler ise; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 2 cm ve kildeki ıslanma da 2 cm artarak, katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 15 cm, kildeki ıslanma ise 18 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.6, Ek 27, Ek 30).

Eylül ayı sonu itibariyle, 20 cm kil tabakasına sahip minyatür deney düzeneğinde katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 2 cm, kildeki ıslanma ise 1 cm artarak; katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 20 cm, kildeki ıslanma ise 20 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.7, Ek 31, Ek 32). Bu durumda 20 cm kil tabakasına sahip olan minyatür deney düzeneğindeki kil tamamen ıslanmış ve dolayısıyla Eylül ayı sonunda küçük düzenekteki katı atık sızıntı suyu tamamen bitmiştir. Kil tabakası ıslanmış, katı atık sızıntı suyu düzeneğin altındakisızıntı suyu deliklerinden gözle görülmeyecek şekilde çıkmaya başlamıştır. Bu değişim deliklerin ıslaklığından anlaşılmıştır. 40 cm kil tabakasında ki değişimler ise; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma değişmez iken, kildeki ıslanma ise 1 cm artmıştır. Böylece katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 15 cm, kildeki ıslanma ise 19 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.7, Ek 31, Ek 33). 60 cm kil tabakasında ki değişimler ise; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 1 cm ve kildeki ıslanma da 2 cm artarak; katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 16 cm, kildeki ıslanma ise 20 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.7, Ek 31, Ek 34).

Ekim ayı sonu itibariyle, 40 cm kil tabakasında ki değişimler; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma değişmez iken, kildeki ıslanma ise 2 cm artmıştır. Böylece katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 15 cm, kildeki ıslanma ise 21 cm

seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.8, Ek 35, Ek 37). 60 cm kil tabakasında ki değişimler ise; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma değişmez iken, kil malzemesindeki ıslanma 2 cm artmıştır. Böylece katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 16 cm, kildeki ıslanma ise 22 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.8, Ek 35, Ek 38).

Kasım ayı sonu itibariyle, 40 cm kil tabakasında ki değişimler; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 1 cm azalır iken, kildeki ıslanma ise 1 cm artmıştır. Böylece katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 16 cm, kildeki ıslanma ise 22 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.9, Ek 39, Ek 41). 60 cm kil tabakasında ki değişimler ise; katı atık sızıntı suyu seviyesindeki azalma 1 cm ve kildeki ıslanma da 2 cm artarak, katı atık sızıntı suyu seviye değişimindeki azalma 17 cm, kildeki ıslanma ise 24 cm seviyesinde ölçülmüştür (Tablo 5.9, Ek 39, Ek 42).

Bu tarihten itibaren deneylere son verilmiş olup elde edilen bulgular ışığında yapılan değerlendirme maddeler halinde aşağıda verilmiştir;

- 1- 20 cm kalınlığında kil tabakası sıkıştırılarak hazırlanan minyatür saha deney düzeneğindeki kil, üzerine dökülen 20 cm lik katı atık sızıntı suyunun etkisiyle 7 ay sonra tamamıyla ıslanmıştır.
- 2- 40 cm kalınlığında kil tabakası sıkıştırılarak hazırlanan minyatür saha deney düzeneğinde ise; üzerine gelen 20 cm lik katı atık sızıntı suyunun etkisiyle 9 aylık deney sonunda, 40 cm kalınlığındaki kil tabakasının sadece 22 cm'si ıslanmıştır. Deney başlangıcında 20 cm olan katı atık sızıntı suyu seviyesinde deney sonunda 16 cm'lik azalma gözlenmiştir. Dolayısıyla deney sonunda minyatür saha deney düzeneğinin içerisindeki kilin üzerinde hala 4 cm katı atık sızıntı suyu kaldığı gözlemlenmiştir.
- 3- 60 cm kalınlığında kil tabakası sıkıştırılarak hazırlanan minyatür saha deney düzeneğinde ise; üzerine gelen 20 cm lik katı atık sızıntı suyunun etkisiyle 9 aylık deney sonunda, 60 cm kalınlığındaki kil tabakasının sadece 24 cm'si ıslanmıştır. Deney başlangıcında 20 cm olan katı atık sızıntı suyu seviyesinde

deney sonunda 17 cm'lik azalma gözlenmiştir. Dolayısıyla deney sonunda minyatür saha deney düzeneğinin içerisindeki kilin üzerinde hala 3 cm katı atık sızıntı suyu kaldığı gözlemlenmiştir.

- 4- 80 cm kalınlığında kil tabakası sıkıştırılarak hazırlanan minyatür saha deney düzeneğinin deneyin 4. ayında kırılması sonucunda istenilen sonuçlar alınamamıştır.
- 5- Minyatür deponi sahaların yapıldığı deney düzeneklerinde 9 aylık deney süresince göze çarpan en önemli problem; sızmaların daha çok cam deney düzeneği – kil ara yüzeyi (kenarlar) ve köşelerden gerçekleşmiş olmasıdır.

Tablo 5.1. 2008 - Mart Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)
01.03							20	0
02.03							18	2
03.03							16	3
04.03							15	3
05.03	20	0	20	0	20	0	14	4
06.03	18	2	19	2	18	2	14	4
07.03	17	3	16	3	16	3	13	5
08.03	16	4	16	4	15	3	13	5
09.03	15	4	15	4	15	4	13	5
10.03	15	5	15	4	15	4	13	6
11.03	14	5	15	5	14	5	13	6
12.03	14	5	15	5	14	5	13	7
13.03	14	6	14	5	14	6	12	7
14.03	14	6	14	5	14	6	12	7
15.03	14	6	14	6	14	6	12	8
16.03	13	6	14	6	13	6	12	8
17.03	13	7	14	6	13	7	12	8
18.03	13	7	13	6	13	7	12	8
19.03	13	7	13	6	13	7	12	8
20.03	13	7	13	7	13	7	11	9
21.03	13	8	13	7	13	7	11	9
22.03	13	8	13	7	13	8	11	9
23.03	12	8	13	7	13	8	11	9
24.03	12	8	12	7	13	8	11	10
25.03	12	8	12	8	13	9	11	10
26.03	12	8	12	8	12	9	11	10
27.03	12	9	12	8	12	9	10	10
28.03	12	9	12	8	12	9	10	10
29.03	12	9	12	9	12	10	10	11
30.03	12	9	11	9	12	10	10	11
31.03	12	10	11	9	12	10	10	11

Tablo 5.2. 2008 - Nisan Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)
01.04	12	10	11	9	12	10	10	11
02.04	12	10	11	9	11	10	10	11
03.04	12	10	11	9	11	10	9	12
04.04	11	10	11	9	11	11	9	12
05.04	11	10	11	10	11	11	9	12
06.04	11	11	11	10	11	11	9	12
07.04	11	11	11	10	11	11	9	12
08.04	11	11	10	10	11	11	9	12
09.04	11	11	10	10	11	11	9	12
10.04	11	11	10	10	11	11	9	12
11.04	11	11	10	10	11	11	9	12
12.04	11	12	10	10	11	11	9	12
13.04	11	12	10	10	11	12	9	12
14.04	11	12	10	11	11	12	9	12
15.04	11	12	10	11	11	12	9	13
16.04	11	12	10	11	11	12	9	13
17.04	11	12	10	11	10	12	9	13
18.04	10	12	10	11	10	12	9	13
19.04	10	12	10	11	10	12	9	13
20.04	10	12	10	11	10	12	8	13
21.04	10	12	10	11	10	12	8	13
22.04	10	12	10	11	10	12	8	13
23.04	10	12	10	11	10	12	8	13
24.04	10	13	9	11	10	12	8	13
25.04	10	13	9	12	10	12	8	13
26.04	10	13	9	12	10	13	8	14
27.04	10	13	9	12	10	13	8	14
28.04	10	13	9	12	10	13	8	14
29.04	10	13	9	12	10	13	8	14
30.04	10	13	9	13	10	13	8	14

Tablo 5.3. 2008 - Mayıs Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki İslanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)
01.05	10	13	9	13	10	13	8	14
02.05	10	13	9	13	10	13	8	14
03.05	10	13	9	13	10	13	8	14
04.05	10	13	9	13	10	13	8	14
05.05	10	13	9	13	9	13	8	14
06.05	9	13	9	13	9	13	8	14
07.05	9	14	9	13	9	13	8	14
08.05	9	14	9	13	9	13	8	14
09.05	9	14	9	13	9	14	8	15
10.05	9	14	9	13	9	14	8	15
11.05	9	14	9	13	9	14	8	15
12.05	9	14	9	13	9	14	8	15
13.05	9	14	9	14	9	14	8	15
14.05	9	14	9	14	9	14	8	15
15.05	9	14	8	14	9	14	8	15
16.05	9	14	8	14	9	14	7	15
17.05	9	14	8	14	9	14	7	15
18.05	9	14	8	14	8	14	7	15
19.05	9	14	8	14	8	14	7	15
20.05	9	14	8	14	8	14	7	15
21.05	9	15	8	14	8	14	7	15
22.05	9	15	8	14	8	14	7	15
23.05	9	15	8	14	8	14	7	15
24.05	8	15	8	14	8	14	7	16
25.05	8	15	8	14	8	15	7	16
26.05	8	15	8	14	8	15	7	16
27.05	8	15	8	14	8	15	7	16
28.05	8	15	8	14	8	15	7	16
29.05	8	15	8	15	8	15	7	16
30.05	8	15	7	15	8	15	7	16
31.05	8	15	7	15	8	15	7	16

Tablo 5.4. 2008 - Haziran Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)
01.06	8	15	7	15	8	15	7	16
02.06	8	15	7	15	8	15	7	16
03.06	8	15	7	15	8	15	7	16
04.06	8	15	7	15	8	15	7	16
05.06	8	15	7	15	8	15	7	16
06.06	8	15	7	15	8	15	7	16
07.06	8	15	7	15	8	15	7	16
08.06	7	15	7	15	8	15	7	16
09.06	7	15	7	15	8	15	7	16
10.06	7	16	7	15	7	15	7	16
11.06	7	16	7	15	7	15	7	17
12.06	7	16	7	15	7	15	7	17
13.06	7	16	7	16	7	15	7	17
14.06	7	16	7	16	7	15	7	17
15.06	7	16	7	16	7	15	7	17
16.06	7	16	7	16	7	15	7	17
17.06	7	16	7	16	7	15	7	17
18.06	7	16	7	16	7	15	0	19
19.06	7	16	7	16	7	15	0	23
20.06	7	16	7	16	7	15	0	25
21.06	7	16	7	16	7	15	0	25
22.06	7	16	7	16	7	15	0	25
23.06	7	17	7	16	7	15	0	25
24.06	7	17	7	16	7	15	0	25
25.06	6	17	7	16	7	16	0	25
26.06	6	17	7	16	7	16	0	26
27.06	6	17	7	16	7	16	0	26
28.06	6	17	7	16	7	16	0	28
29.06	6	17	7	16	7	16	0	28
30.06	6	17	7	16	7	16	0	28

Tablo 5.5. 2008 - Temmuz Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki İslanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki İslanma (cm)
01.07	6	17	7	16	7	16		
02.07	6	17	7	16	7	16		
03.07	5	17	7	16	7	16		
04.07	5	17	7	16	7	16		
05.07	5	17	6	16	7	16		
06.07	5	17	6	17	7	16		
07.07	5	17	6	17	7	16		
08.07	5	17	6	17	7	16		
09.07	5	17	6	17	7	16		
10.07	5	17	6	17	7	16		
11.07	5	17	6	17	7	16		
12.07	5	17	6	17	7	16		
13.07	5	17	6	17	7	16		
14.07	5	18	6	17	7	16		
15.07	5	18	6	17	7	16		
16.07	5	18	6	17	7	16		
17.07	5	18	6	17	7	16		
18.07	5	18	6	17	7	16		
19.07	5	18	6	17	7	16		
20.07	5	18	6	17	7	16		
21.07	5	18	6	17	7	16		
22.07	5	18	6	17	7	16		
23.07	4	18	6	17	7	16		
24.07	4	18	6	17	7	16		
25.07	4	18	6	17	7	16		
26.07	4	18	6	18	7	16		
27.07	4	18	6	18	7	16		
28.07	4	18	6	18	7	16		
29.07	4	18	6	18	7	16		
30.07	4	18	6	18	7	16		
31.07	4	18	6	18	7	16		

Tablo 5.6. 2008 - Ağustos Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)
01.08	4	18	6	18	7	16		
02.08	4	18	6	18	7	16		
03.08	4	18	6	18	7	17		
04.08	4	18	6	18	7	17		
05.08	4	18	6	18	7	17		
06.08	3	18	6	18	7	17		
07.08	3	18	6	18	7	17		
08.08	3	18	6	18	7	17		
09.08	3	19	6	18	6	17		
10.08	3	19	6	18	6	17		
11.08	3	19	6	18	6	17		
12.08	3	19	6	18	6	17		
13.08	3	19	5	18	6	17		
14.08	3	19	5	18	6	17		
15.08	3	19	5	18	6	17		
16.08	3	19	5	18	6	17		
17.08	3	19	5	18	6	17		
18.08	3	19	5	18	6	17		
19.08	3	19	5	18	6	17		
20.08	3	19	5	18	6	17		
21.08	3	19	5	18	6	17		
22.08	3	19	5	18	6	17		
23.08	3	19	5	18	6	17		
24.08	3	19	5	18	6	18		
25.08	3	19	5	18	6	18		
26.08	3	19	5	18	6	18		
27.08	3	19	5	18	6	18		
28.08	2	19	5	18	5	18		
29.08	2	19	5	18	5	18		
30.08	2	19	5	18	5	18		
31.08	2	19	5	18	5	18		

Tablo 5.7. 2008 - Eylül Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)
01.09	2	19	5	18	5	19		
02.09	2	19	5	18	5	19		
03.09	2	19	5	18	5	19		
04.09	2	19	5	18	5	19		
05.09	2	20	5	18	5	19		
06.09	2	20	5	18	5	19		
07.09	2	20	5	18	5	19		
08.09	2	20	5	18	5	19		
09.09	2	20	5	18	5	19		
10.09	2	20	5	18	5	19		
11.09	2	20	5	18	5	19		
12.09	1	20	5	18	5	19		
13.09	1	20	5	19	5	19		
14.09	1	20	5	19	5	19		
15.09	1	20	5	19	5	19		
16.09	1	20	5	19	5	20		
17.09	1	20	5	19	5	20		
18.09	1	20	5	19	4	20		
19.09	1	20	5	19	4	20		
20.09	1	20	5	19	4	20		
21.09	1	20	5	19	4	20		
22.09	1	20	5	19	4	20		
23.09	1	20	5	19	4	20		
24.09	1	20	5	19	4	20		
25.09	1	20	5	19	4	20		
26.09	1	20	5	19	4	20		
27.09	1	20	5	19	4	20		
28.09	0	20	5	19	4	20		
29.09	0	20	5	19	4	20		
30.09	0	20	5	19	4	20		

Tablo 5.8. 2008 - Ekim Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma

Tarih (Gün- Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)
01.10			5	19	4	21		
02.10			5	19	4	21		
03.10			5	19	4	21		
04.10			5	19	4	21		
05.10			5	19	4	21		
06.10			5	19	4	21		
07.10			5	19	4	21		
08.10			5	20	4	21		
09.10			5	20	4	21		
10.10			5	20	4	21		
11.10			5	20	4	21		
12.10			5	20	4	21		
13.10			5	20	4	22		
14.10			5	20	4	22		
15.10			5	20	4	22		
16.10			5	20	4	22		
17.10			5	20	4	22		
18.10			5	20	4	22		
19.10			5	20	4	22		
20.10			5	20	4	22		
21.10			5	20	4	22		
22.10			5	20	4	22		
23.10			5	20	4	22		
24.10			5	20	4	22		
25.10			5	20	4	22		
26.10			5	20	4	22		
27.10			5	21	4	22		
28.10			5	21	4	22		
29.10			5	21	4	22		
30.10			5	21	4	22		
31.10			5	21	4	22		

Tablo 5.9. 2008 - Kasım Ayı İtibariyle Katı Atık Sızıntı Suyu Seviyesindeki Değişim ve Kildeki Islanma

Tarih (Gün-Ay)	20 cm Kil Tabakası Kalınlığı		40 cm Kil Tabakası Kalınlığı		60 cm Kil Tabakası kalınlığı		80 cm Kil Tabakası Kalınlığı	
	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)	Sızıntı suyu seviyesi (cm)	Kildeki Islanma (cm)
01.11			5	21	4	22		
02.11			5	21	4	22		
03.11			5	21	4	23		
04.11			5	21	4	23		
05.11			5	21	4	23		
06.11			5	21	4	23		
07.11			5	21	3	23		
08.11			5	21	3	23		
09.11			5	21	3	23		
10.11			5	21	3	23		
11.11			4	21	3	23		
12.11			4	21	3	23		
13.11			4	21	3	23		
14.11			4	21	3	23		
15.11			4	21	3	23		
16.11			4	21	3	23		
17.11			4	21	3	23		
18.11			4	21	3	23		
19.11			4	21	3	23		
20.11			4	21	3	23		
21.11			4	22	3	23		
22.11			4	22	3	23		
23.11			4	22	3	23		
24.11			4	22	3	24		
25.11			4	22	3	24		
26.11			4	22	3	24		
27.11			4	22	3	24		
28.11			4	22	3	24		
29.11			4	22	3	24		
30.11			4	22	3	24		

BÖLÜM 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Katıatık düzenli depolama alanlarında, yönetmeliklere ve şartnamelere uygun permeabilitesi 1×10^{-7} cm/sn veya daha küçük kil malzemesi kullanıldığında ve katı atık sızıntı suyunun kullanılan bu killere en kötü şartlarda temas etmesi durumunda yapılan bu çalışmaya göre elde edilen sonuçlar şunlardır;

1. 20 cm kalınlığındaki kil tabakası kesinlikle yetersizdir.
2. 60 ve 80 cm lik kil tabakalarının ise kesinlikle çok kalın tabakalar olduğu tespit edilmiştir.
3. 40 cm'lik kil tabakasının gerekli geçirimsizliği sağlamada yeterli olduğu görülmüştür. 40 cm'lik kil tabakasının üzerinde 9 aylık deney süreci sonucunda bile deney düzeneğinin içerisindeki kil tabakasının üzerinde hala 4 cm su kaldığı ve kildeki ıslanmanın ise sadece 22 cm olduğu tespit edilmiştir. Katı atık düzenli depolama alanlarında kil tabakasının üzerine serilecek olan tamamıyla geçirimsiz bir malzeme olan geomembran ve onu koruyan geotekstilleri ve tüm tabakalarda sızıntı suyunun drenaj sistemine sürüklenmesini sağlayacak en az %1'lik eğim de dikkate alındığında katı atık düzenli depolama alanlarında gerekli geçirimsizlik kesinlikle sağlanacaktır.
4. Killerle temasa geçecek olan sızıntı sularının temas süresinin, eğimden dolayı çok uzun olamayacağı bilindiği halde, 9 ay gibi çok uzun bir süre öngörülmüştür. Çünkü 9. Ayın sonunda 40 cm ve 60 cm kalınlığındaki kil tabakalarında değişimler tamamıyla durmuştur. Ayrıca sızıntı suyunun yüksekliği 20 cm olarak belirlenmiştir; bu rakam en kötü ihtimaldir. Çünkü

yine eğimden dolayı sürüklenecek olan sızıntı suları asla 20 cm yüksekliğe ulaşamayacaktır.

5. Gerek ülkemizde gerekse de diğer ülkelerde 60 cm kalınlığında serilen kil tabaka kalınlığının 40 cm olarak da uygulanabileceği görülmektedir. Bu uygulamalar ülke ekonomisine önemli katkı yapacağı gibi kil malzemesi açısından sıkıntı çeken ve malzemeyi çok uzak mesafelerden temin eden bölgelerde ekonomiye katkı sağlayacaktır.
6. Ülke ekonomisine sağlanan kazanç sadece kil malzemesinin tutarı ile sınırlı kalmayacak, kil malzemesinin uzak olduğu bölgelerden malzemeyi getirirken ödenen nakliye ücretleri ve malzeme serilirken harcanan araç bedelleri ve işçilik ücretleri de azımsanmayacak derecede düşecektir. Ayrıca kil malzemesi taşınırken özellikle trafiği kalabalık olan şehirlerde trafik yükü az da olsa azaltılacaktır.

6.2. Öneriler

Katı atık düzenli depolama alanlarında taban geçirimsizliğine etki eden parametrelerden en önemlisi olan kil tabaka kalınlığının belirlenmesi amacıyla laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bu çalışma ışığı altında daha sonra yapılacak benzer çalışmalara yardımcı olabilecek şu öneriler verilebilir.

- 1- En kötü şartlar dikkate alınarak yapılan bu çalışma sonucunda bulunan en uygun 40 cm kalınlığındaki kil tabakasının üzerine gelecek olan geçirimsiz geomembran tabakası, mevcut yönetmeliklere uygun olarak serilecek olursa 40 cm kalınlığındaki kil daha da azaltılabilecektir. Bu durumda geomembranı da dikkate alacak benzer bir çalışmanın, hazırlanacak yeni bir deney düzeneğinde daha uzun süreli olarak gerçekleştirilmesi mevcut uygulamalar açısından daha gerçekçi olacaktır.
- 2- Bu çalışmada sadece permeabilitesi $k = 1 \times 10^{-7}$ cm/sn veya daha düşük olan yüksek plastisiteli kil dikkate alınarak deneyler yapılmıştır. Zeolit, bentonit,

düşük plastisiteli killere v.b. geçirimsiz malzemeler ile de benzer çalışmalar yapılarak olası farklılıklar gözlemlenebilir.

- 3- Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aynı sınır şartları dikkate alınarak sayısal modelleme yöntemleri (Sonlu elemanlar, Sınır elemanlar, Ayrık elemanlar v.b.) ile kontrol edilmeli ve sonuçların birbirleri ile ne kadar ilişkili olduğu tartışılmalıdır.
- 4- Bu çalışmada en büyük olumsuz sınır şartı olarak bilinen cam-kil ara yüzeyi boyunca olan geçirimsizlik (düşey) ve kil içerisindeki (yatay) geçirgenlik iyi bir şekilde kontrol edilmemiş ve geçirimsizlik olarak ortalama değerler (ıslanma) dikkate alınmıştır. Dolayısıyla, sınır şartlarının daha sağlıklı ve iyi bir şekilde kontrol edilebileceği deney düzenekleri hazırlanarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması büyük önem taşımaktadır.
- 5- Sınır şartlarının daha kolay kontrol edilebilir deney ortamlarında mutlaka uygun sensörlerin kullanılması gerekmekte ve önerilmektedir. Yapılacak böyle bir çalışmada veriler dijital olarak elde edilecek ve daha sağlıklı sonuçlar alınacaktır.

KAYNAKLAR

1. ARMAĞAN, B., DEMİR, İ., GÖK, N., Katı Atıkların Ekonomide Değerlendirilmesi, İ.T.O. Yayınları, İstanbul. sf. 62, 2006.
2. ÖZTÜRK, İ., Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamalı, İTÜ, İstanbul, 2010.
3. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 26.03.2010 Tarih ve 27533 Sayılı Resmi Gazete, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
4. ÖZTÜRK, İ., DEMİR, İ., ÖZABALI, A., TEZER, H., İstanbul için AB Çevre Mevzuatı ile Uyumlu Entegre Katı Atık Yönetimi Stratejik Planı, İstanbul, sf. 24-27, 2005.
5. BİLGİLİ, M.S., Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik Ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri, Yayınlanmamış Doktora Tezi, sf. 54, 2006.
6. PARKER, R.J., BATEMAN, S., and WILLIAMS. D., Design and Management of Landfills, 1995.
7. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSTAÇ A.Ş. Kaynakları Ve Eğitim Semineri Notları
8. WASTI, Y., ÖZDÜZGÜN, Z. B., "Geomembrane and Geotextile Interface Shear Propertise as Determined by Inclined Board and Shear Box Tests", Geotextiles and Geomembrans, Vol. 16, No. 1, pp.45-57, 2001.
9. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği 14.03.1991 Tarih ve 208814 Sayılı Resmi Gazetesi

10. JOHN, N. W. M, Geotekstiles, blackie and son ltd. Glasgow and london, 1987.
11. OWEIS I.S. KHERA, R.P., Geotechnology Of Waste Management, 1990.
12. Polikay, Katı Atık Yönetimi A.Ş. Kaynakları
13. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, Türkiye'nin Çevre Sorunları, TÇSV Yayınları, Ankara. 1991.
14. NAZİLE, S., Endüstriyel Atıların Çöp Depolama Alanı Dizaynında Geçirimsizlik Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sf.2, 2001.
15. WASTI, Y., ÖZKAN, Y, M., ve ULUATAM, S.S., Geoteknik Açından Düzenli Katı Atık Depolaması, Eğitim Semineri Notları, ODTÜ, Ankara, sf. 144, 1995.
16. SRIDHARAN, A., and JAYADEVA, M.S., Double Layer Theory And Compressibility of Clays, Geotechnique V. 32, pp. 133. 1982.
17. BENSON, C.H., ZHAI, H., WANG, X., Estimating Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Liners, Journal Of Geotechnical Engineering, ASCE 116, pp.1231-1248. 1994.
18. ERŞAN, H., Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerindeki Etkisi, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
19. GONCAOĞLU, İ., YILDIZ, Ş., APAYDIN, Ö., Katı Atık Düzenli Depolama Alanlarında Geçirimsiz Tabaka Olarak Kil Bariyer Kullanılması ve İstanbul Depolama Sahalarındaki Uygulamalar, 10. Kil Sempozyumu, 2001, Konya, s.176-185. 2001.

20. GÜNEY, Y., KOYUNCU H., TUNCAN A., Değişik Ağır Metal İçerikli Atıkların Depolanmasında Zeolit Kullanımı.,10. Kil Sempozyumu, Konya, sf.151-158, 2001.
21. TUNCAN, A., TUNCAN, M., GÜNEY, Y., ‘Tabii Zeolitlerin Çöp Deponi Alanında Kullanılabilirliği, 9. Kil Sempozyumu, İstanbul, sf.143-148. 1999.
22. YILMAZER, İ., ‘Killerin Mühendislik Jeolojisindeki Önemi ve Yarattığı Sorunlar’, 10. Kil Sempozyumu, Konya, sf.341-345, 2001.
23. SAKA, N., ‘Endüstriyel Atıkların Çöp Depolama Alanı Dizaynında Geçirimsizlik Malzemesi Olarak Kullanılması’Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, sf.133, 2001.
24. YILMAZ, G., Katı Atık Depolarında Oluşan Çöp Sızıntı Sularının Kil Şilteleri Geçirimsizliğine Etkisi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, sf.10, 2007.
25. YILMAZ, G., ARASAN S., ve YETİMOĞLU, T., “Katı Atık Depolama Alanlarındaki Kil Şiltelerinin Geçirimsizliklerine NaCl Tuzunun Etkisi”, İMO Teknik Dergisi, sf.4347-4356, 2008.
26. KOYUNCU, H., ve GÜNEY, Y., ‘Kaolin-Zeolit Tabakalarının Depolama Alanlarında Kullanılabilirliği’, 11. Kil Sempozyumu, İzmir, sf.335-343, 2003.
27. YILDIZ, Ş., ve GONCAOĞLU, B.İ., ‘Katı Atık Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Yönetimi’, 1.Çevre Sempozyumu, 21-23 Mart, İzmir. 2001.
28. AKBULUT, S., ‘Katı Atık Depo Alanının Geoteknik Tasarımı’, Mühendislik Bilimleri Dergisi, sf.223-229, 2002.
29. YILMAZ, H.R., ve ESKIŞAR, T., ‘Geosentetik Kil Kaplamalar’, 2003, 11. Ulusal Kil Sempozyumu, İzmir, Türkiye, sf.625-632, 2003.

30. SHOW, K.Y., TAY, J.H., and GOH, T.C.A., Reuse Of Incinerator Fly Ash In Soft Soil Stabilization Journal Of Materils In Civil Engineering, ASCE, pp.335-343, 2003.
31. SARIKAVAKLI, A., 'Bor işletmesi Konsantratörü Atık Suyu Deponi Alanındaki Geçirimlilik Tabakasının Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, sf.4-1, 2003.
32. MOLLAMAHMUTOĞLU, A.S., 'Termik Santral Taban Külünün, Bentonit ve Zeolit İle Birlikte, Katı Atık Depolama Sahası Taban Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması', Doktora Tezi, Ytü, İstanbul, sf. 142, 2004.
33. Milloc 1970
34. IŞIK, İ., Kil ve Kil Mineralleri tanımı, Aipea ve Cms terminoloji Komitelerinin Ortak Raporları (Çeviri), Seramik Dünyası Dergisi. sf. 15, 1996.
35. MURRAY, H. H., Common Clay: Industrial Minerals And Rocks, 6. Edition, USA, pp.247-248, 1996.
36. ÜŞENMEZ, Ş., Sedimantoloji ve Sedimanter Kayaçlar. Gazi Üniversitesi Yayınları; no. 57. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları; no. 5. Gazi Üniversitesi Basın-Yayın Yüksekokulu Basımevi. Ankara, sf. 403, 1985.
37. ÖZKAN, S., Salbaş (Adana) Kumtaşlarının Fiziko Mekanik ve Petrografik Özelliklerini İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği A.B.D., Yük.Lis.Tezi, Adana. 2006.
38. IŞIK, İ., Genel Jeoloji, D.P.Ü. Lisans Ders Notları, Kütahya, sf. 60, 1997.
39. ABDÜSSELAMOĞLU, M, Ş., Tortul Kayaç Petroğrafisi, İ.T.Ü., İstanbul, sf. 19, 1982.
40. BRAJA, D., Princible of Geotechnical Engineering, Second Edition, pp.10-16, 1990.

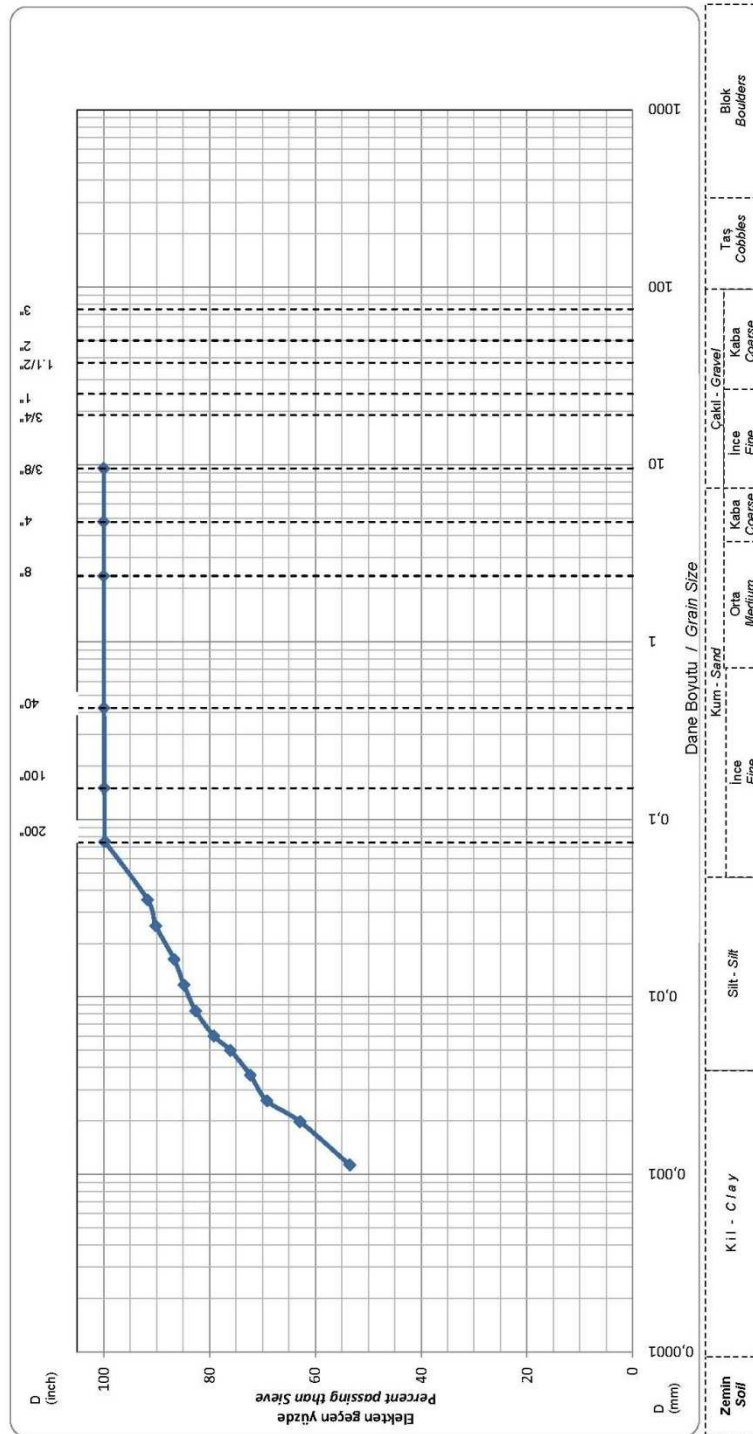
41. ERGENE, A., Toprak Biliminin Esasları, Atatürk Üniversitesi Yayınları, sf.156-177, 1987.
42. LAW, M. A., ve ANSAL, A. M., Killi Zeminlerde Şişme Basıncının Ampirik Olarak Bulunması, 5. Ulusal Kil Sempozyumu, sf.318-329, 1991.
43. YURDAKOÇ, N., GÜZEL, F., ve TEZ, Z., Katyon Değişim Kapasitesi ve Belirleme Yöntemleri, 6. Ulusal Kil Sempozyumu. 1989.
44. www.firochromis.com, Erişim: 14.04.2011
45. FLOSS, R., and BRAU, G., Design Fundamentals For Geosynthetic Soil Technique, Proceedings Of 3rd Asian Regional Conference On Geosynthetics, Seoul, Korea, pp.85-103, 2004.
46. WASTI, Y., Geosentetikler, ODTÜ, Ankara, sf. 157, 2007.
47. KOERNER, R.M., Designing With geosynthetics, Prentice Hall, New Jersey: Englewood Cliffs, nj, USA, 3th Ed., pp. 761, 1994,
48. IGS, Recommended Description Of Geosynthetic Functions, geosynthetics terminology. Mathematical and Graphical Symbols, International Geosynthetic Society, South Carolina USA, 2000
49. GIROUD, J.P., “From Geotextiles to Geosynthetics: a Revolution in Geochemical Engineering, in Geosynthetics World”, Ed., J.N. Mandal, Wiley Eastern Limited, India, sf. 19-51, 1994.
50. GMA, 2002, Geosynthetics Materials Association
51. WASTI, Y., İnşaat Mühendisliğinde Geotekstil ve Geomembran Uygulamaları Eğitim Semineri, sf. 98, 1992.

52. TCHOBANOGLOUS, G., THESIEN, H., VIGIL, S.A., İntegrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issue, Mc Graw Hill, Newyork, 1993.
53. YILMAZ, H.R., ESKIŞAR, T., AKLIK, P., Geofom Malzemesinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanım Alanları ve Önemi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, sf.14-19. 2005.
54. BOUZZA, A., 'Geosynthetic Clay Liners', Geotextiles and Geomembranes, Elsevier Pub.Co. p. 17, 2002.
55. HOLTZ, R.D., Geosynthetics For Soil Reinforcement, 9th Spencer J.Bunchanan Lecture, p. 19, 2001.
56. JEWELL, R.A., MILLIGAN G.W.E., SARSBY R.W. and DUBOIS D.D., Interaction between soils and grids, proc. Symp. On polymer grid reinforcement in civil engineering, Thomas telford, London, pp.70-81, 1984.
57. JEWELL R.A., "Reinforcement Bond Capacity", Geotechnique, vol.40, no.3, pp.513-518, 1990.
58. WASTI, Y., "Measurement of İnterface Shear for Soil Reinforcement and Lining Systems", Jubilee Papers in Honour of Professor Ergün Toğrol İTÜ Press, İstanbul, pp.142-154, 2001.
59. SHARMA, H.D. and LEWIS, S.P., Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills, Design and Evaluation, Waste Characterization and Solid Waste İnteraction, John Wiley and Sons INC., New York. pp.26-35, 1994.
60. <http://www.cevko.org.tr>, Erişim: 21.02.2011

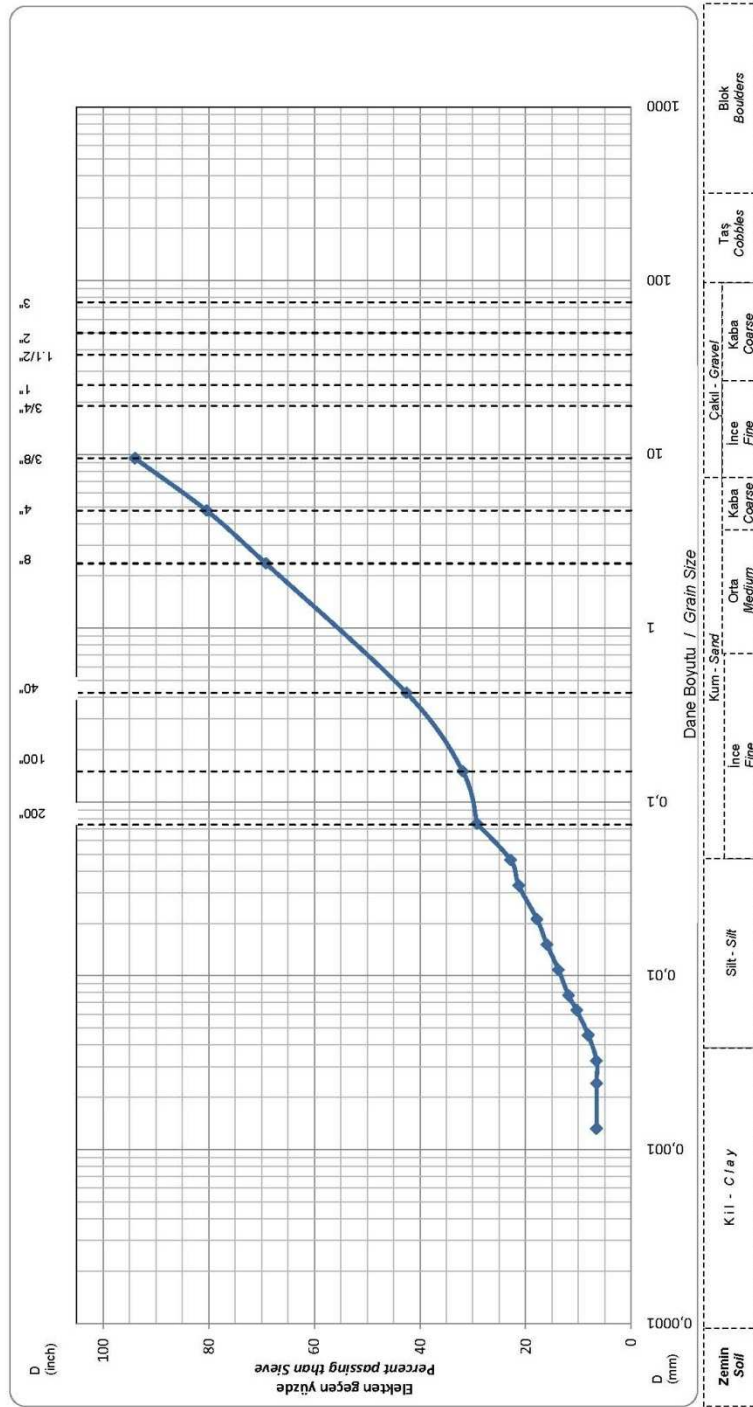
61. EL-FADEL, M., FINDIKAKIS, A.N., LECKIE, J.O., “Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling”, *Journal of Environmental Management*, 50, pp.1-25. 1997.
62. BILGILI, M.E., “Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik Ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri”, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul*, sf.35, 2006.
63. VARANK, G., *Katı Atık Sahalarının Geçirimsiz Taban Sistemlerinden Kirlenici Geçişinin İncelenmesi ve Taban Sistemlerinin Rehabilitasyonu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
64. AKBULUT, S., “Katı Atık Depo Alanlarının Geoteknik Tasarımı” *Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum*, sf.42, 2002.
65. ERDOĞAN, R., UZUN, G., “Katı Atık Depolama Alanlarının Bitkisel Islahına Bir Örnek: Adana-Sofulu Çöp Depolama Alanı”, *Çukurova Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana*, sf. 52, 2007.
66. MCBEAN, E.A., ROVERS, A.F., FARQUHAR, J.G., *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice-Hall, Inc, New Jersey. 1995.
67. WILLIAMS, P. T., *Waste Treatment and Disposal*. John Wiley & Sons. Ltd., England. 1998.
68. TAN, O., *Shear Strength of Municipal Solid Waste Laboratory Model Material*, Jubilee Papers in honour of Professor Ergün Toğrol, pp. 111-114, İTÜ Pres Matbaası, İstanbul. 2001.
69. GÜLER, E., AVCI, C.B., “Kil Tabakalarının Permeabilitesine Kireç Stabilizasyonunun Etkisi”. *Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu*, sf. 209-216. 1993.
70. BENOIT, G.R., BORNSTEIN, J., “Freezing and Thawing Effects on Drainage. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34: spp. 551-557. 1970.

71. CHAMBERLAIN, E.J., GOW, A.J. , “Effect of Freezing and Thawing on the Permeability and Structure of Soils”, *Engrg. Geology*, 13(1), pp. 73-92, 1979.
72. WALLACE, J.F., Laboratory Testing of Bentonite Amended Soil Mixtures Proposed for a Waste Disposal Facility Liner. In *Geotechnical and Geohydrological Aspects of Waste Management*. Edited by D.J.A. Van Zyletal., J.D. Nelson., S.R. Abt., and T.A. Shepherd Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. 245-258. 1987.
73. KIM, W., DANIEL E.D. Effects of Freezing on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay. *Journal of Geotechnical Engineering* No. 7, pp. 1083-1097. 1992.
74. PETROV, R.J., ROWE, R.K., Geosynthetic clay liner (GCL)-chemical compatibility by hydraulic conductivity testing and factors impacting its performance. *Can. Geo.J.*, 34(6), pp. 863-885,1997.
75. COPE, F.G., KARPINKSI, J.P., and STEIN, L., ‘Use of Liner for Containment of Hazardous Waste Landfill. 1984.
76. AYDEMİR, İ., Katı Atıkların Depolanmasında Doğal Zeolitlerin Kullanılması. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir. Sf. 51, 1999.

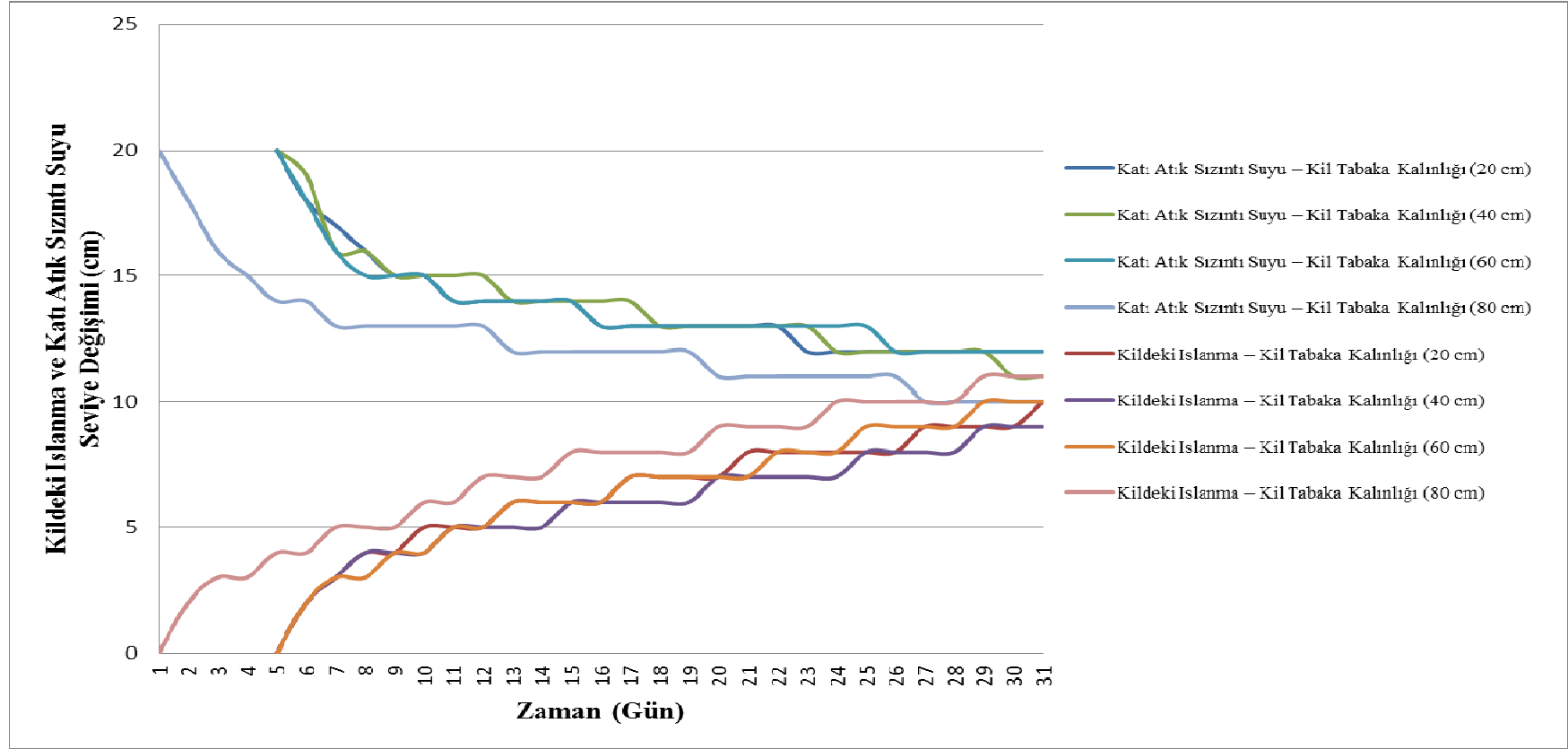
EKLER



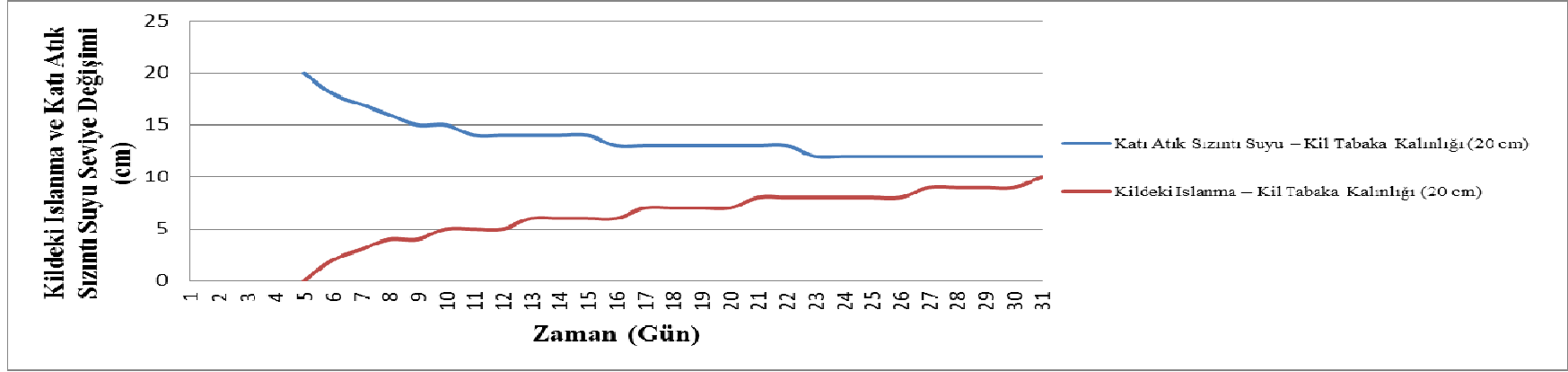
EK-1 Yüksek Plastisiteli Kil Malzemesinin Granölometri Eğrisi



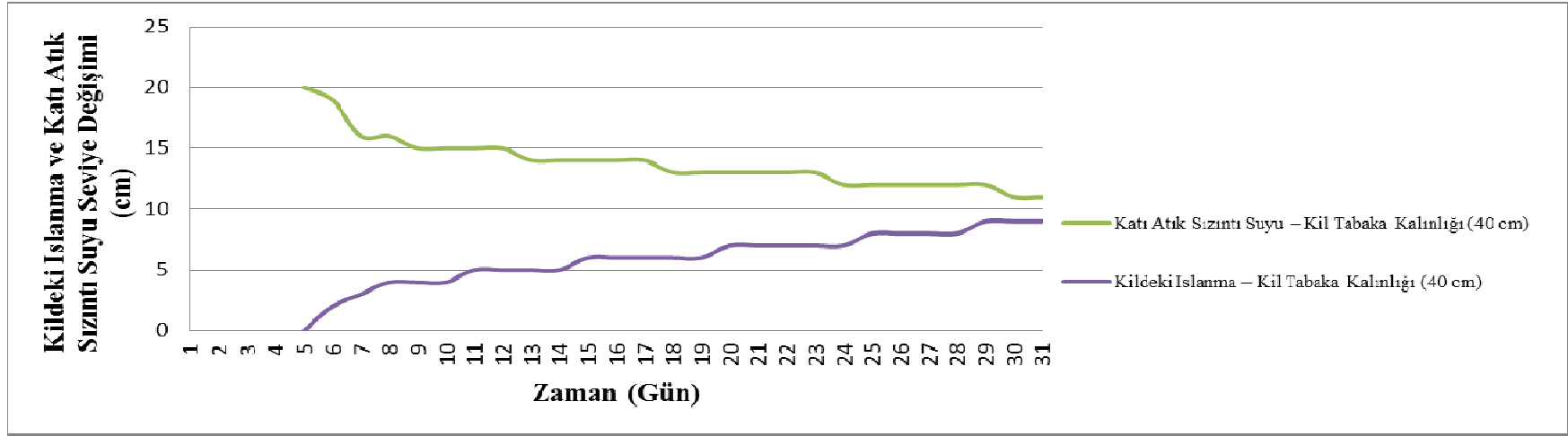
EK-2 Düşük Plastisiteli (Kumlu-Kil) Malzemenin Granölometri Eğrisi



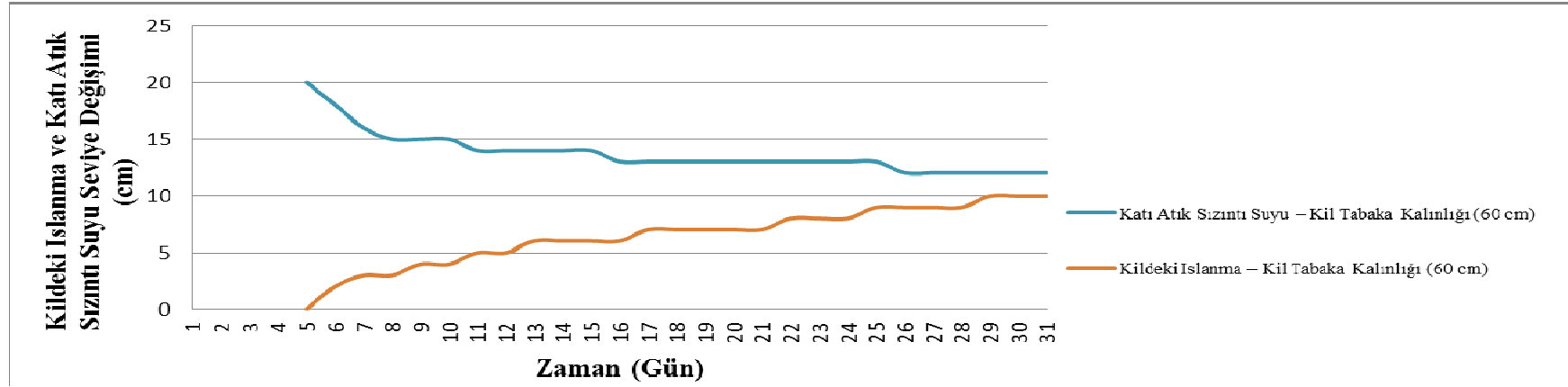
EK-3 Mart Ayı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



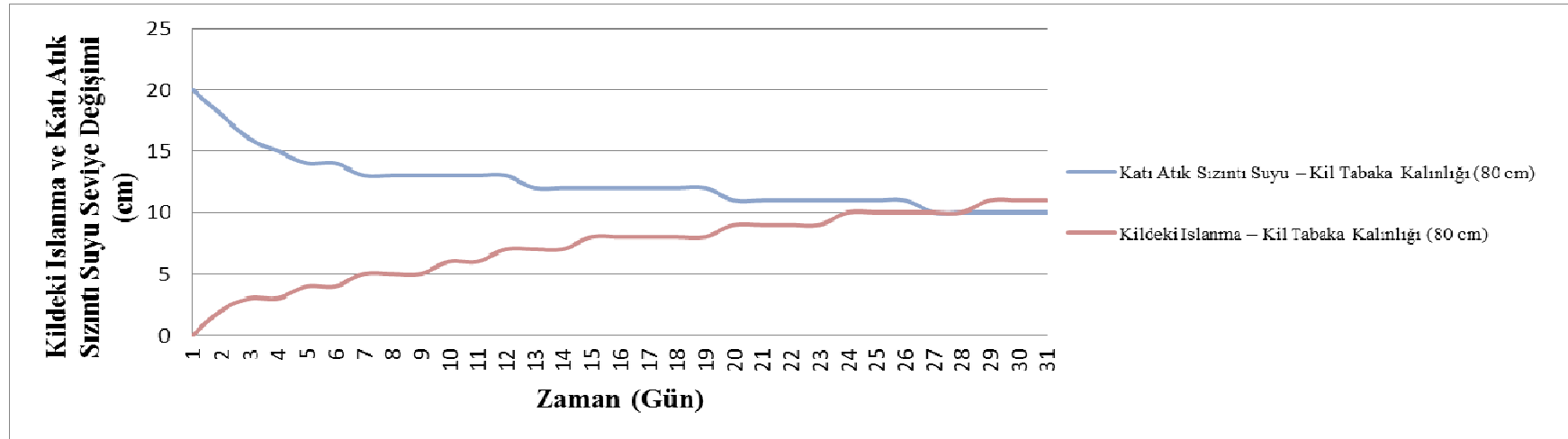
EK-4 Mart Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



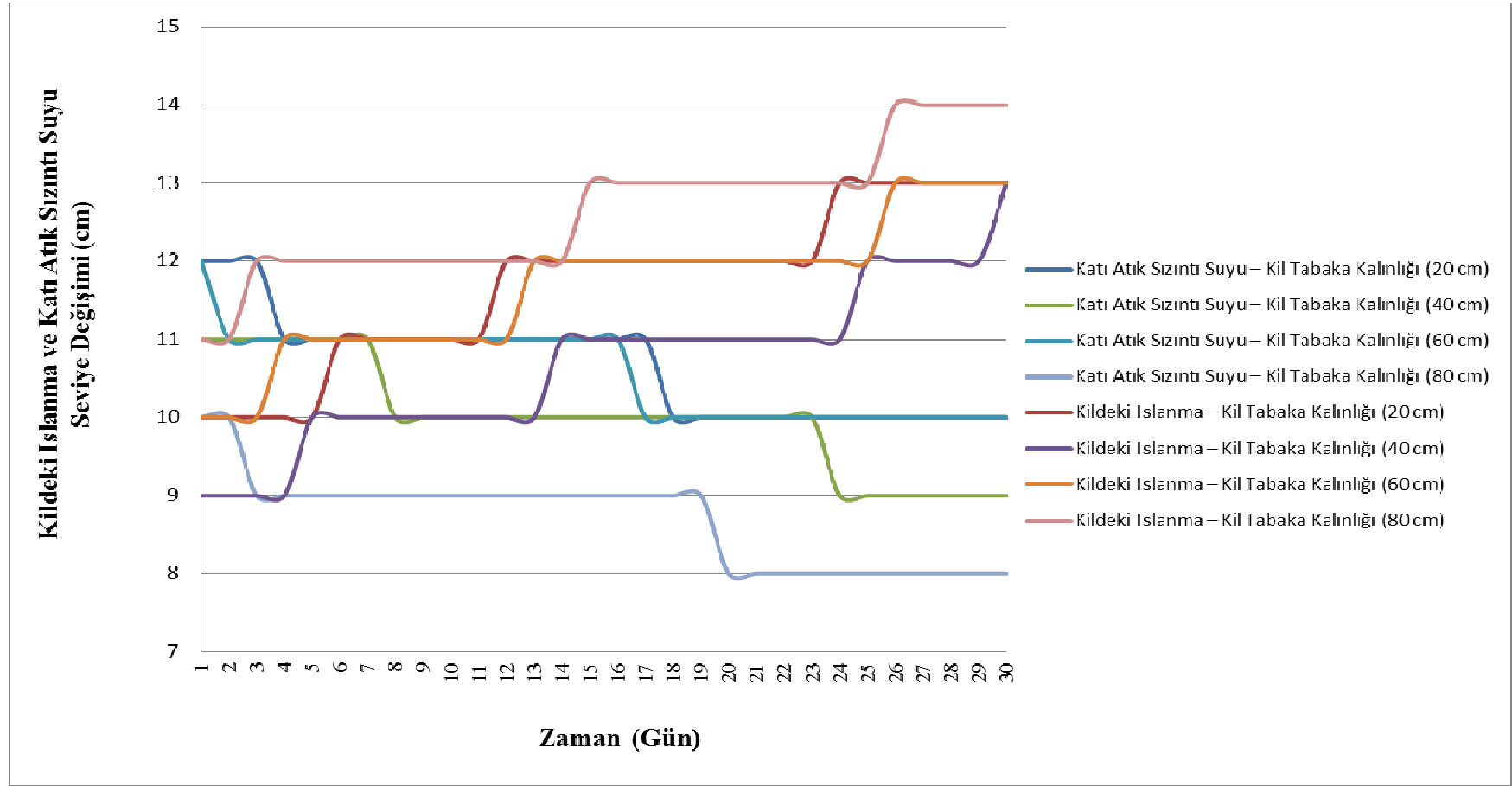
EK-5 Mart Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



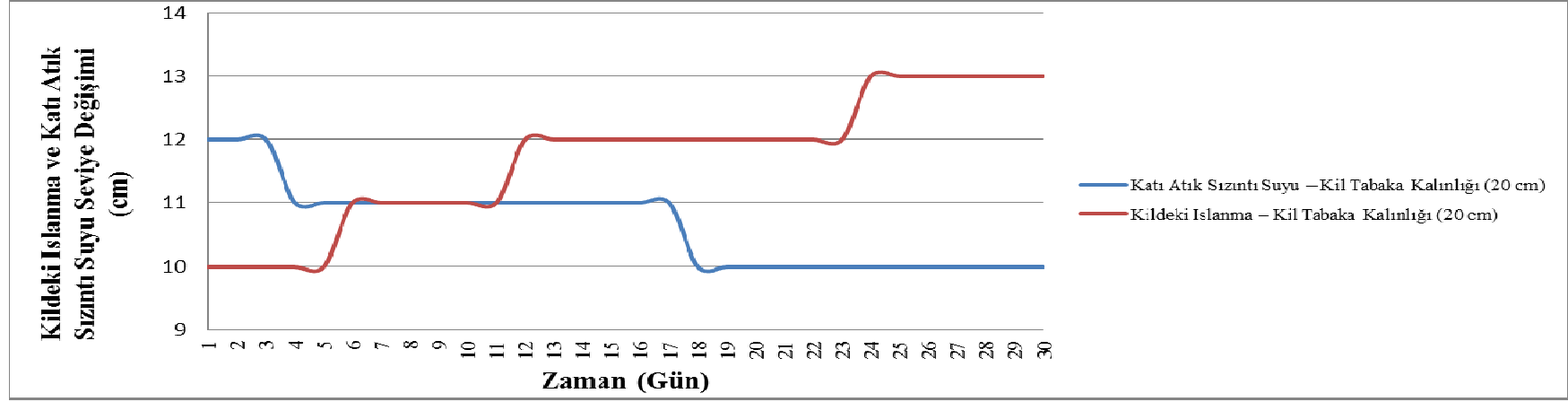
EK-6 Mart Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



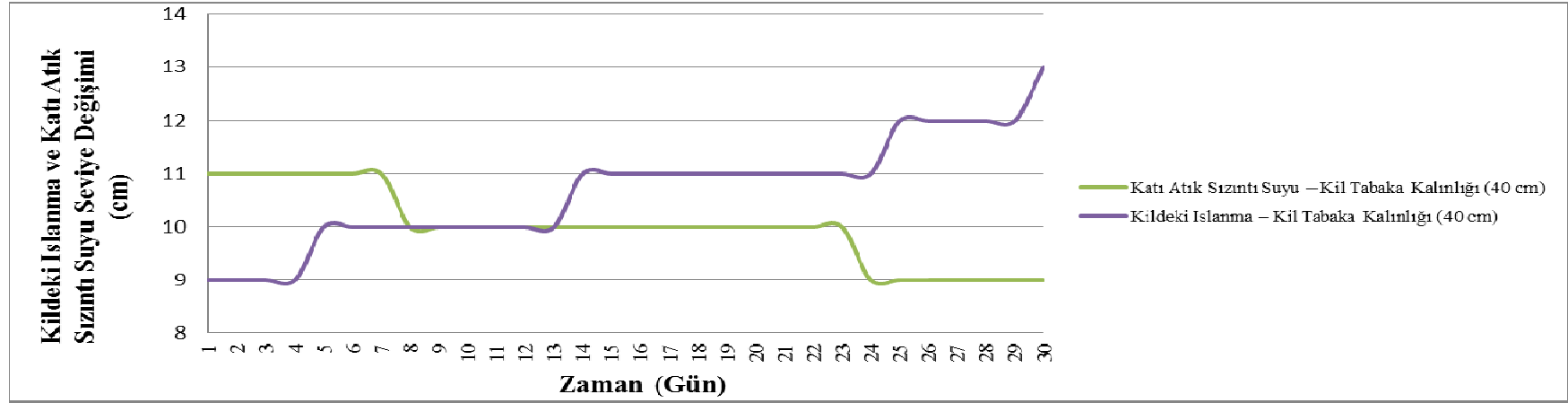
EK-7 Mart Ayı 80 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



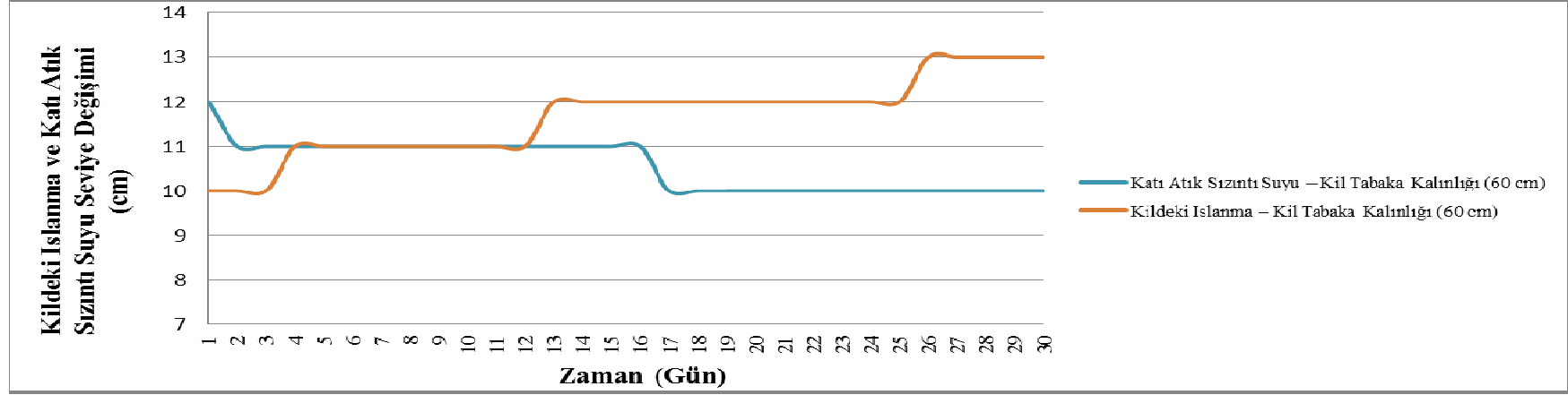
EK-8 Nisan Ayı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



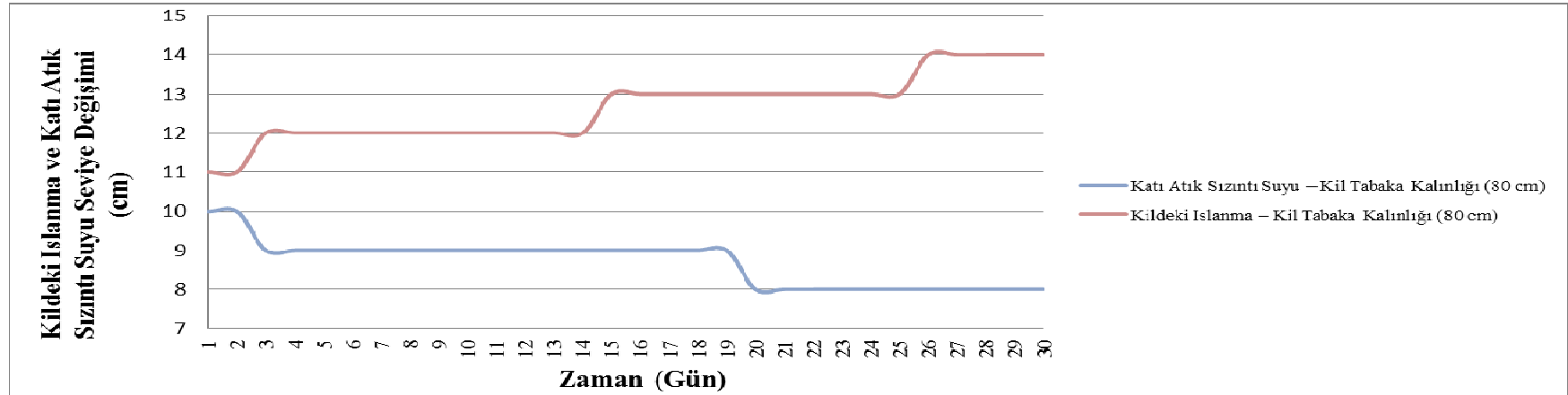
EK-9 Nisan Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



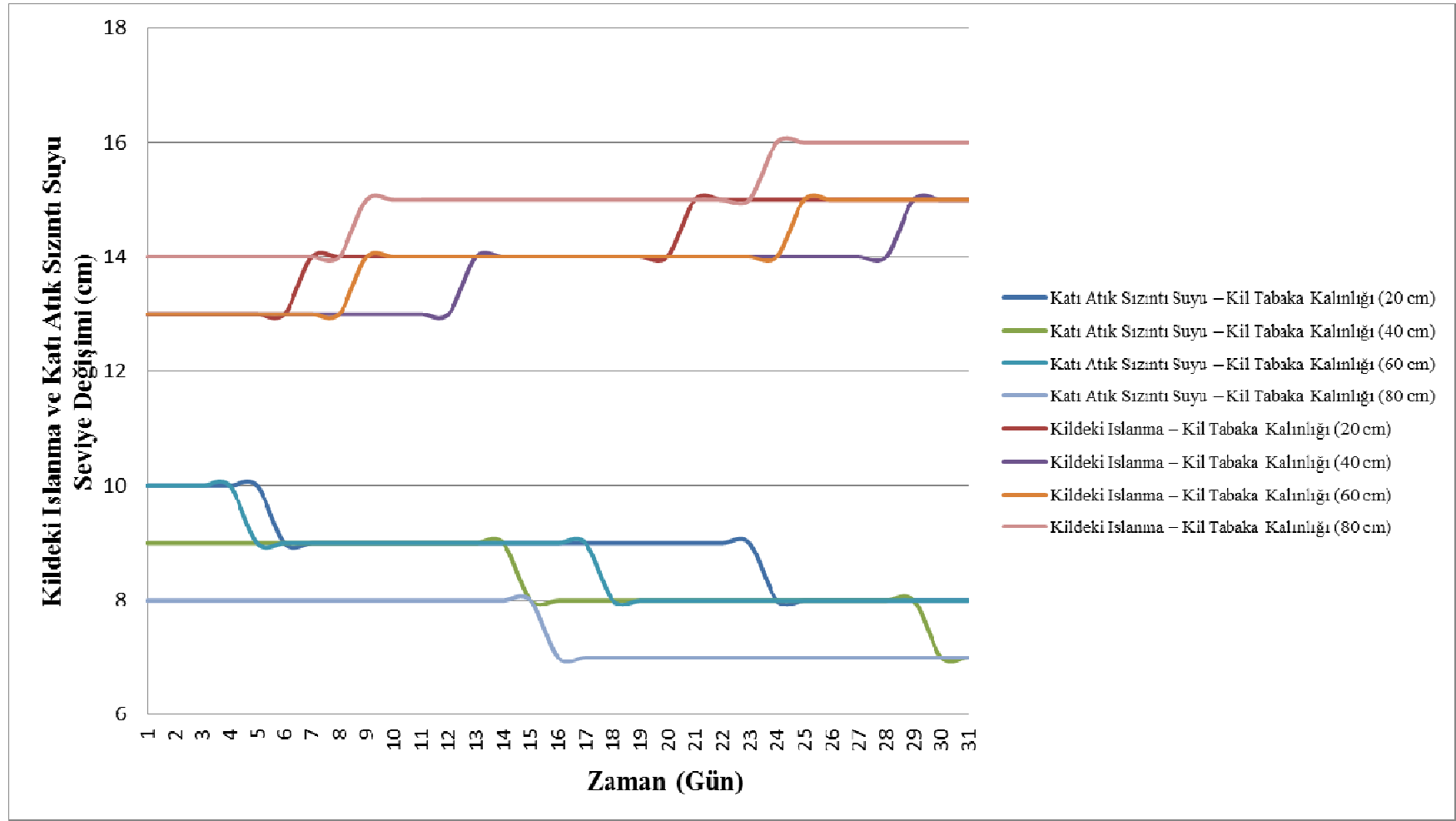
EK-10 Nisan Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



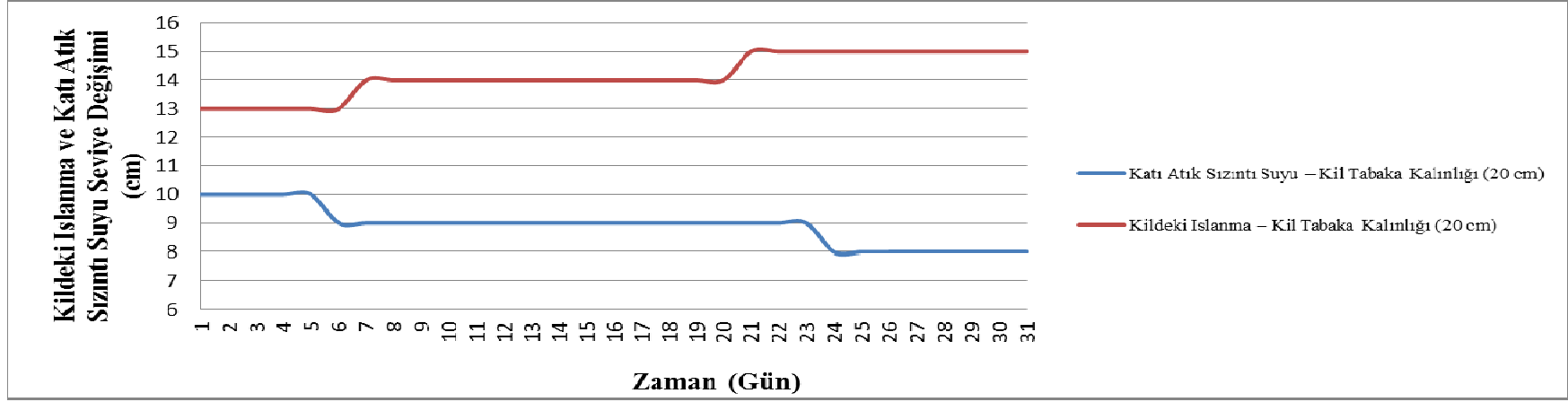
EK-11 Nisan Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



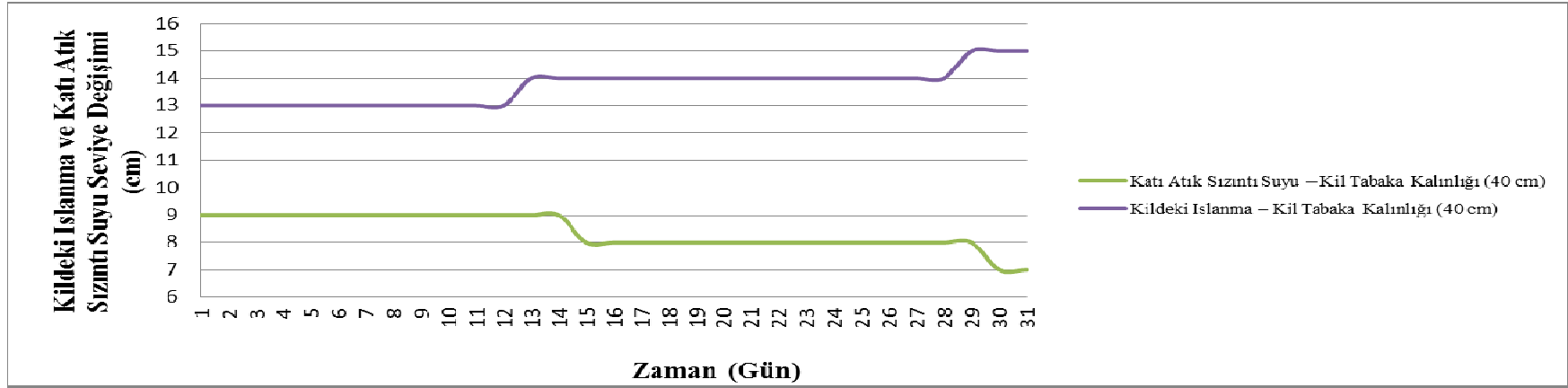
EK-12 Nisan Ayı 80 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



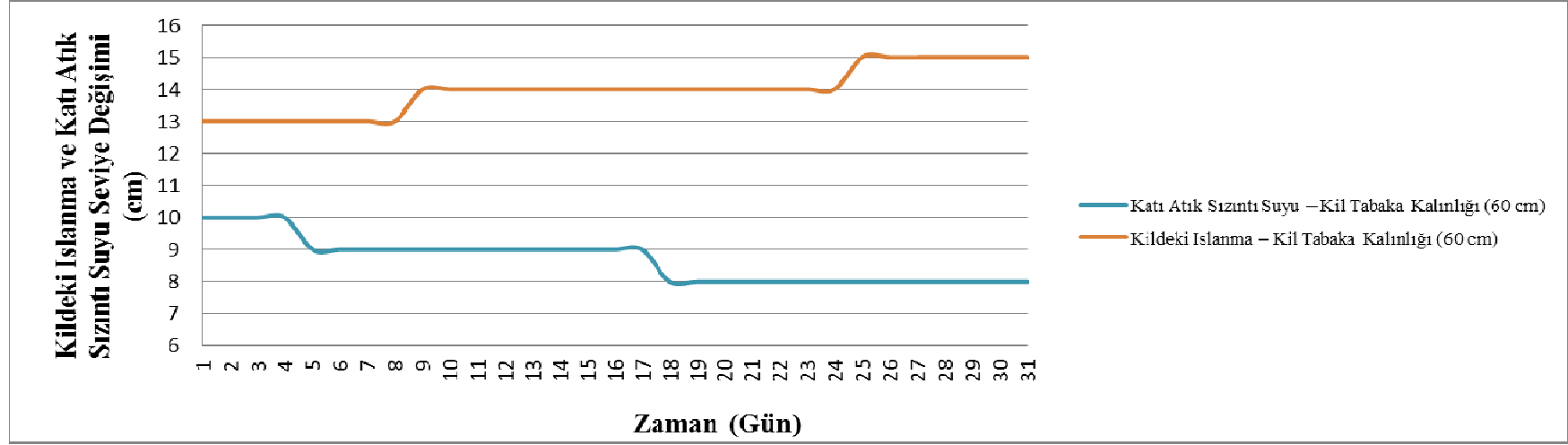
EK-13 MayısAyı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



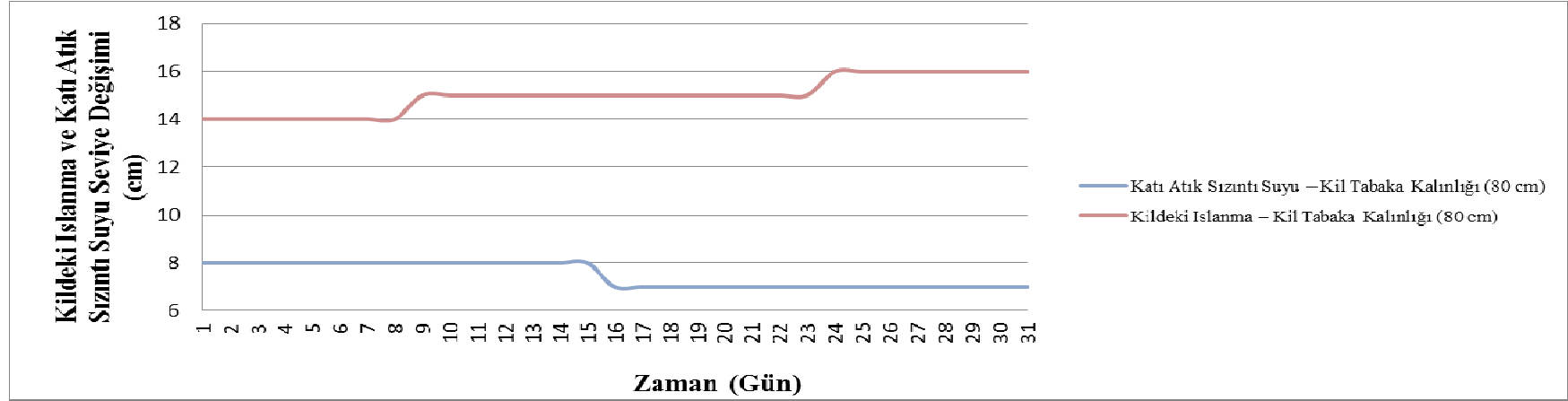
EK-14 Mayıs Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



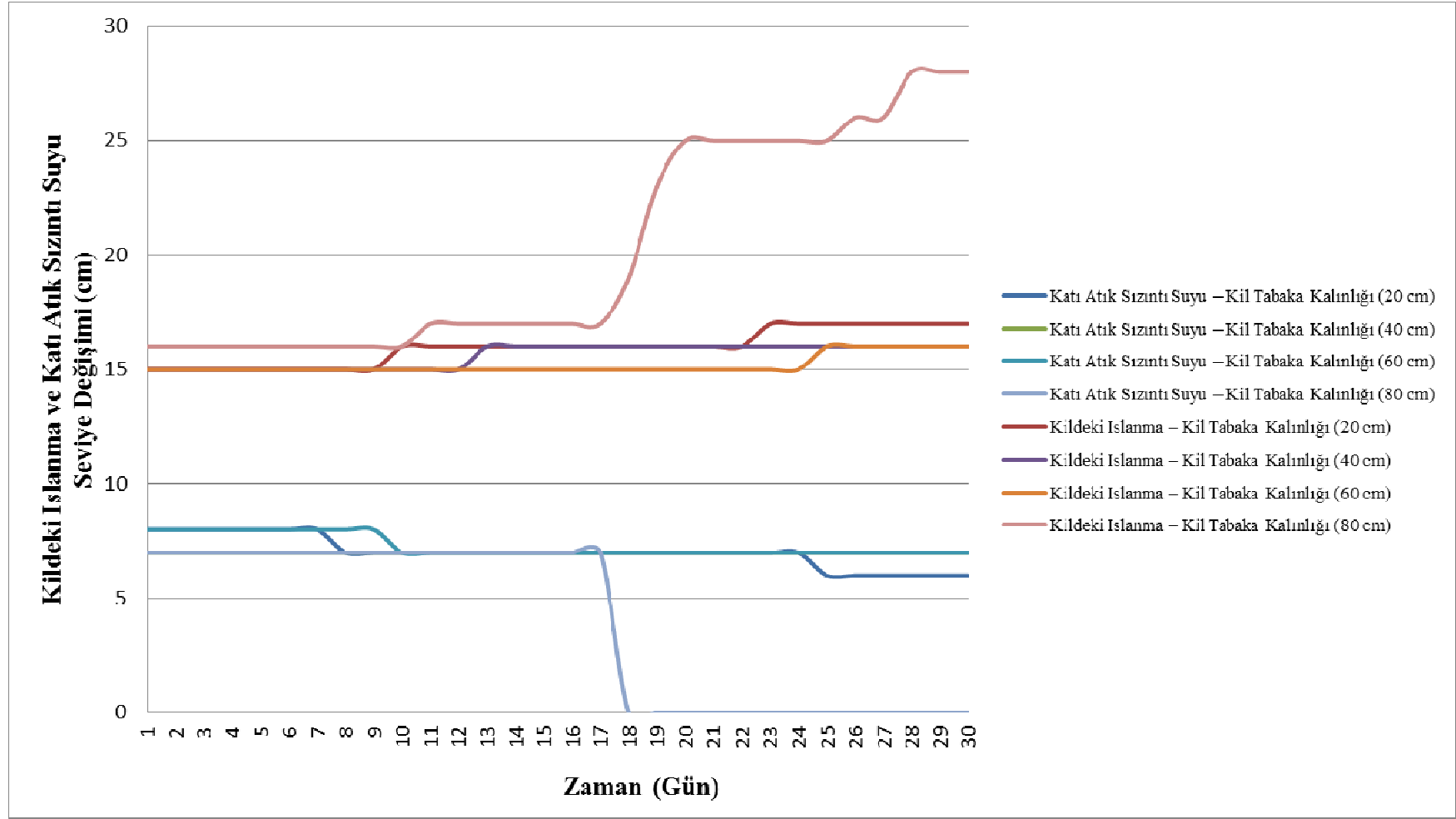
EK-15 Mayıs Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



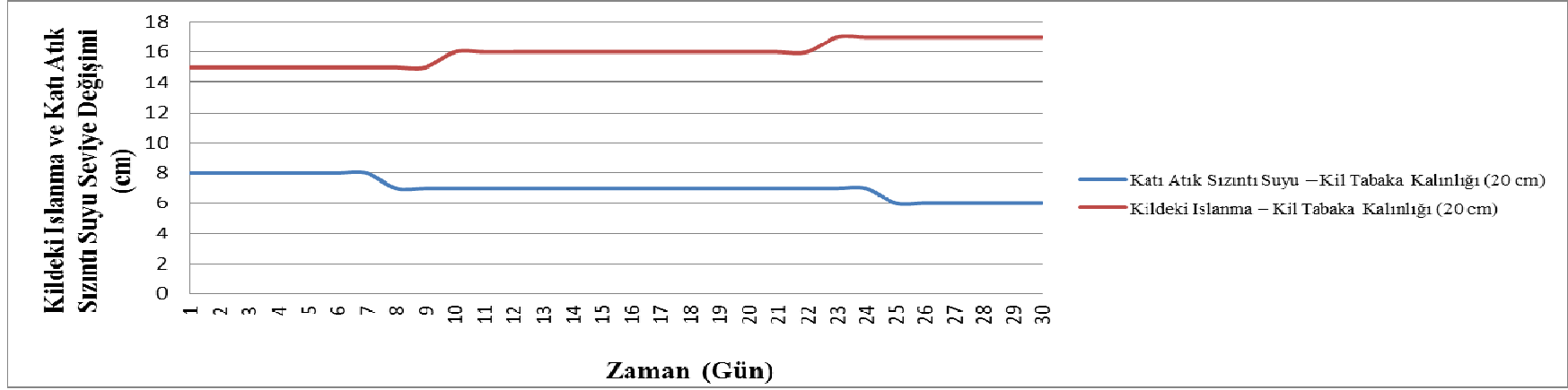
EK-16 Mayıs Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



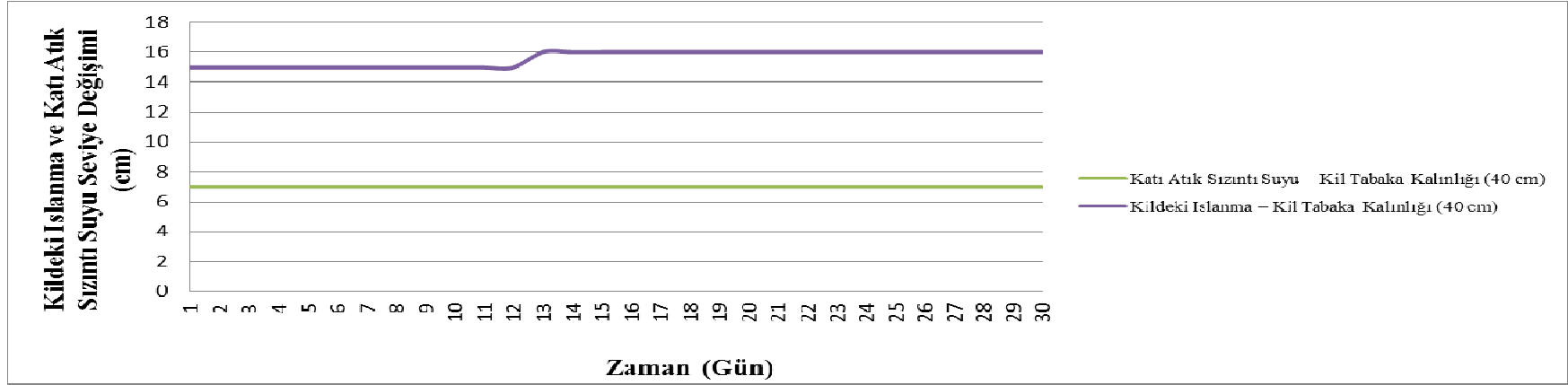
EK-17 Mayıs Ayı 80 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



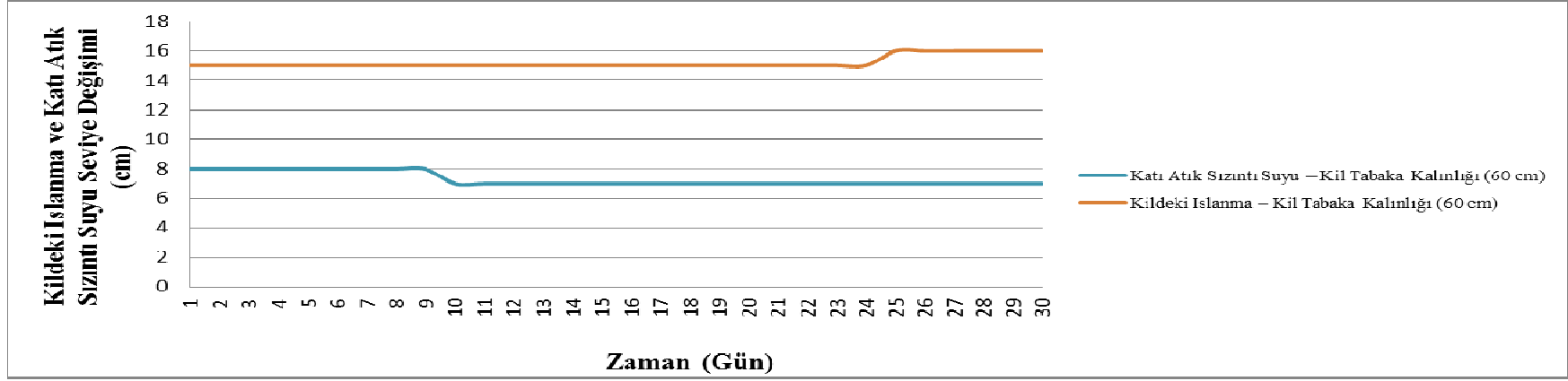
EK-18 HaziranAyı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



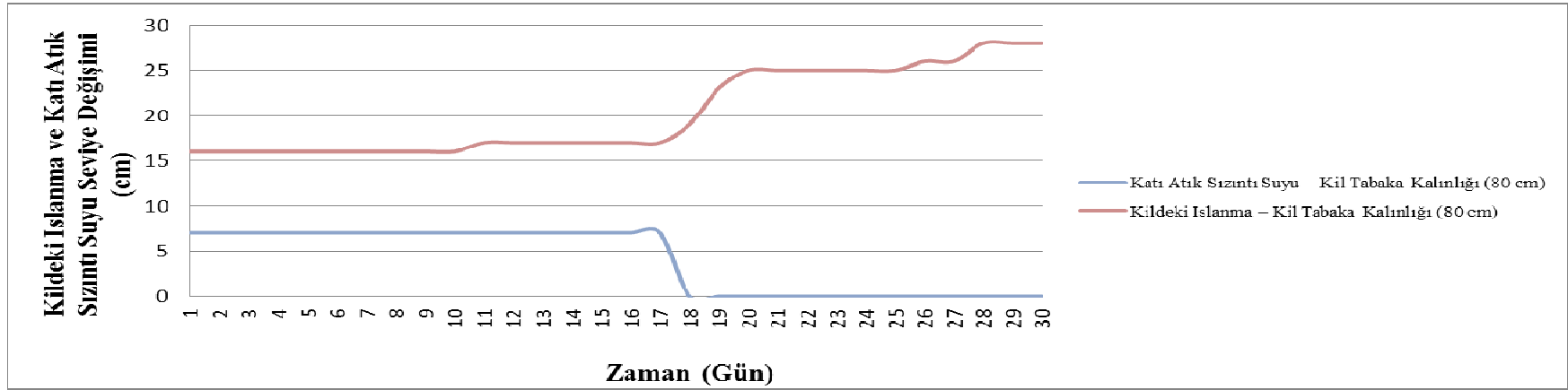
EK-19 Haziran Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



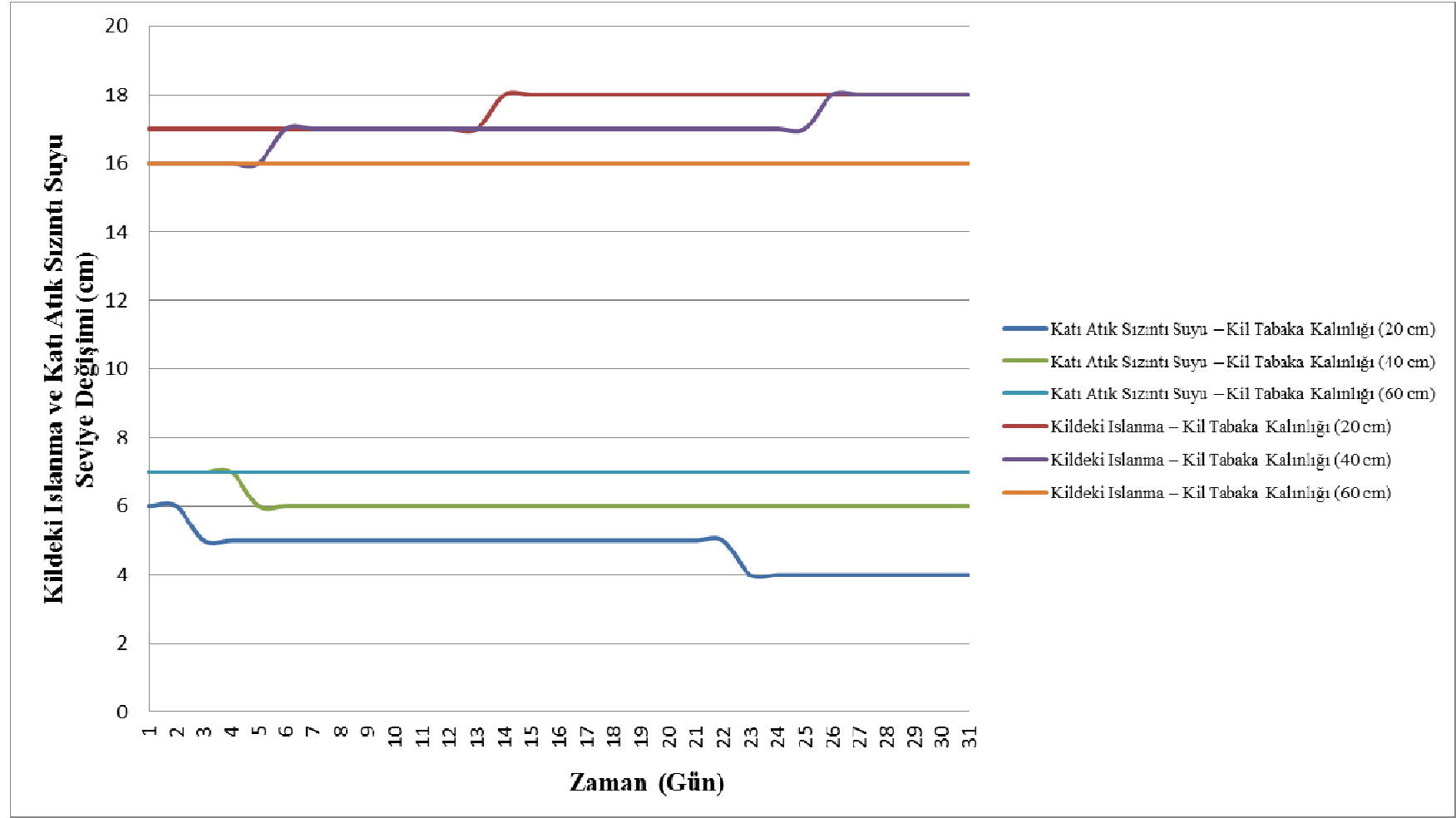
EK-20 Haziran Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



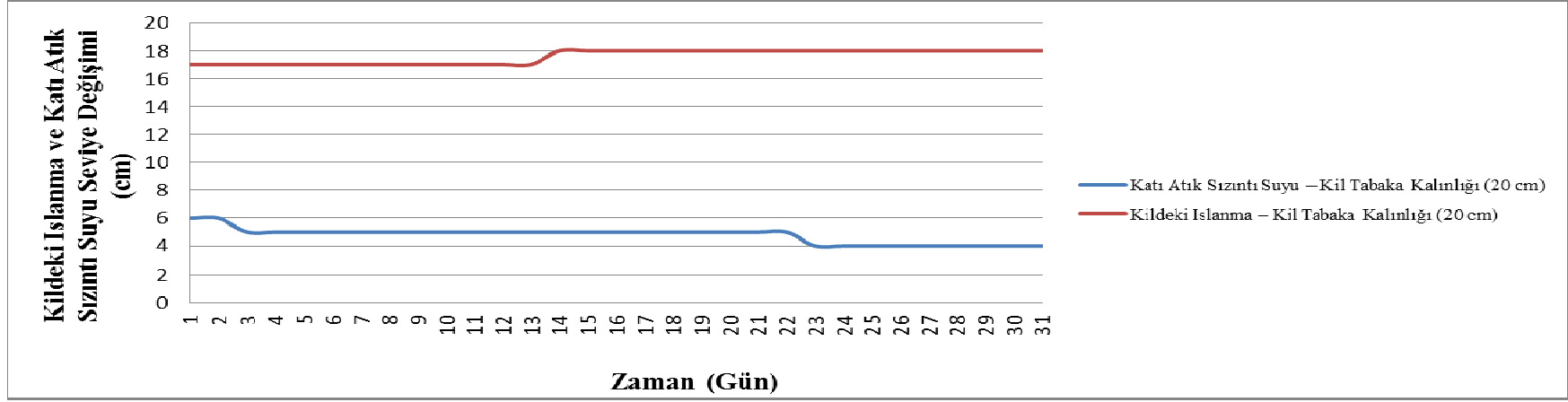
EK-21 Haziran Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



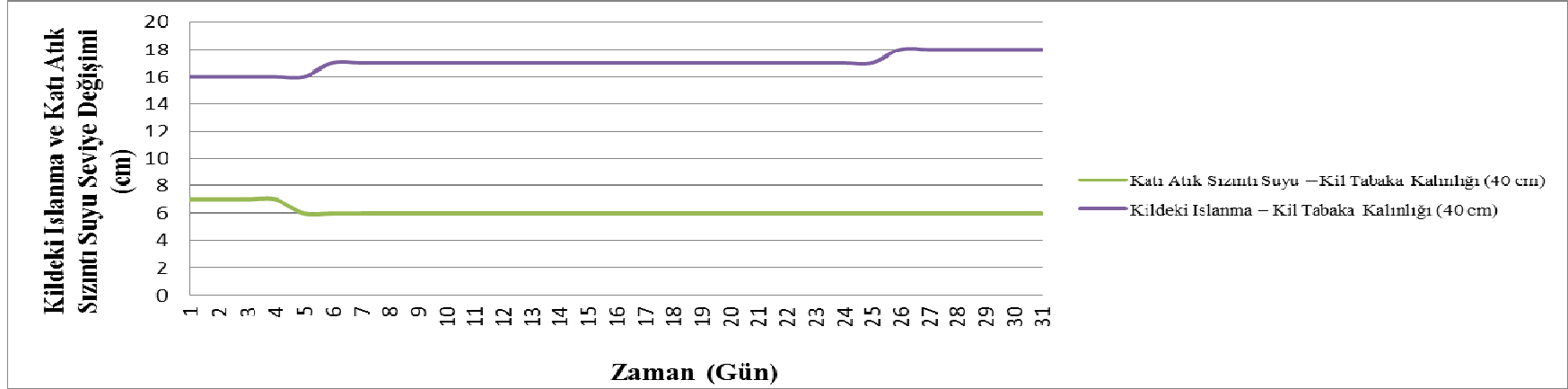
EK-22 Haziran Ayı 80 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



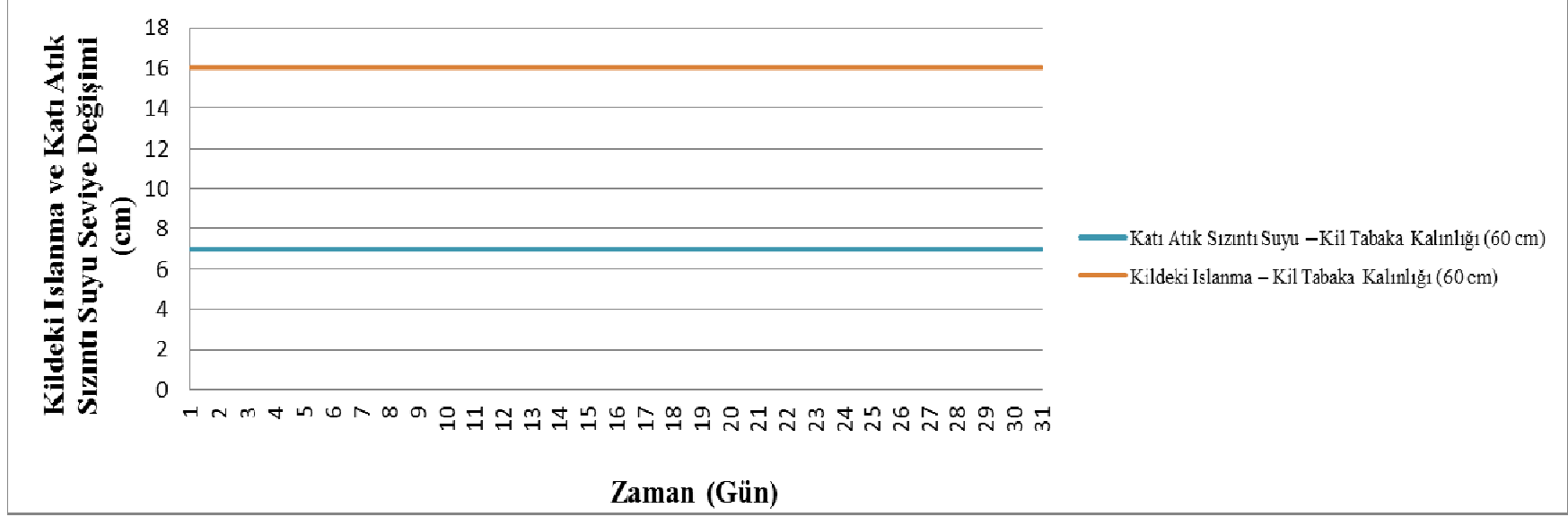
EK-23 Temmuz Ayı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



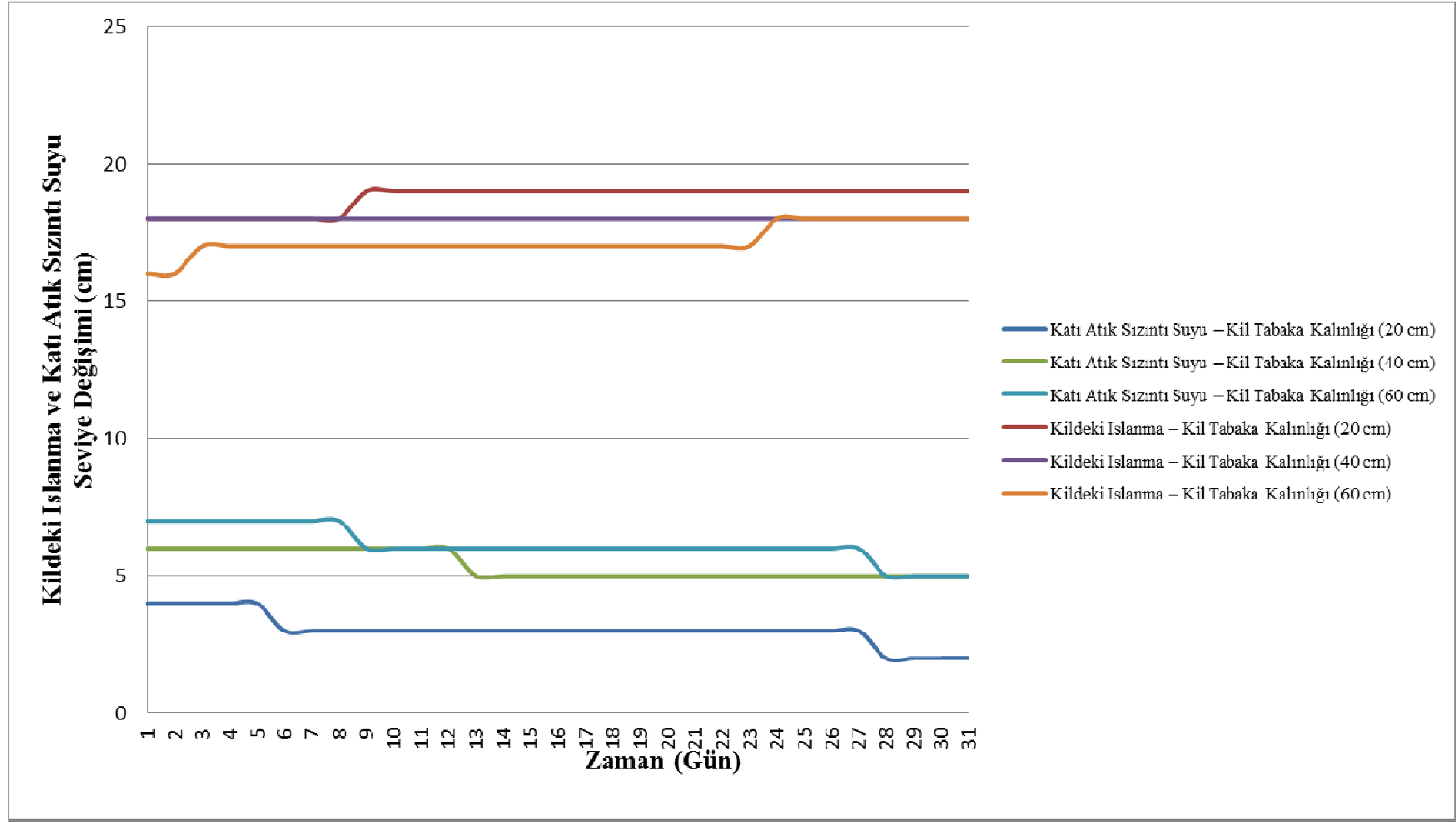
EK-24 Temmuz Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



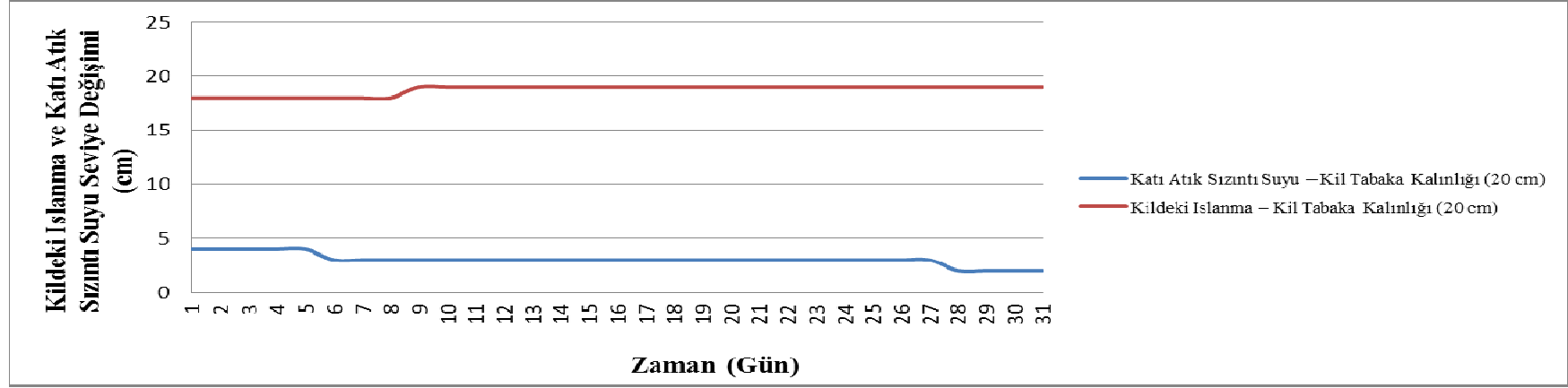
EK-25 Temmuz Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



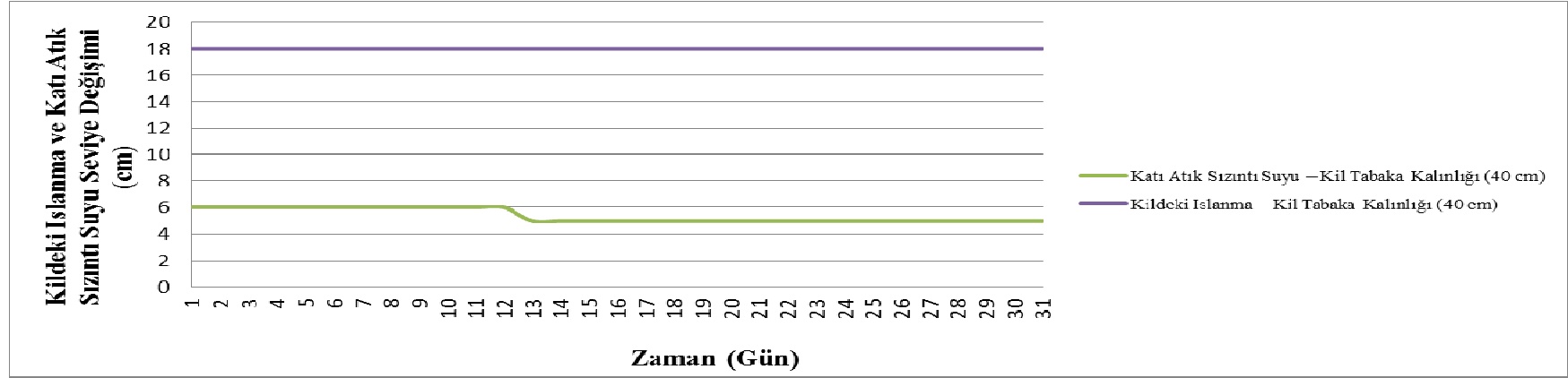
EK-26 Temmuz Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



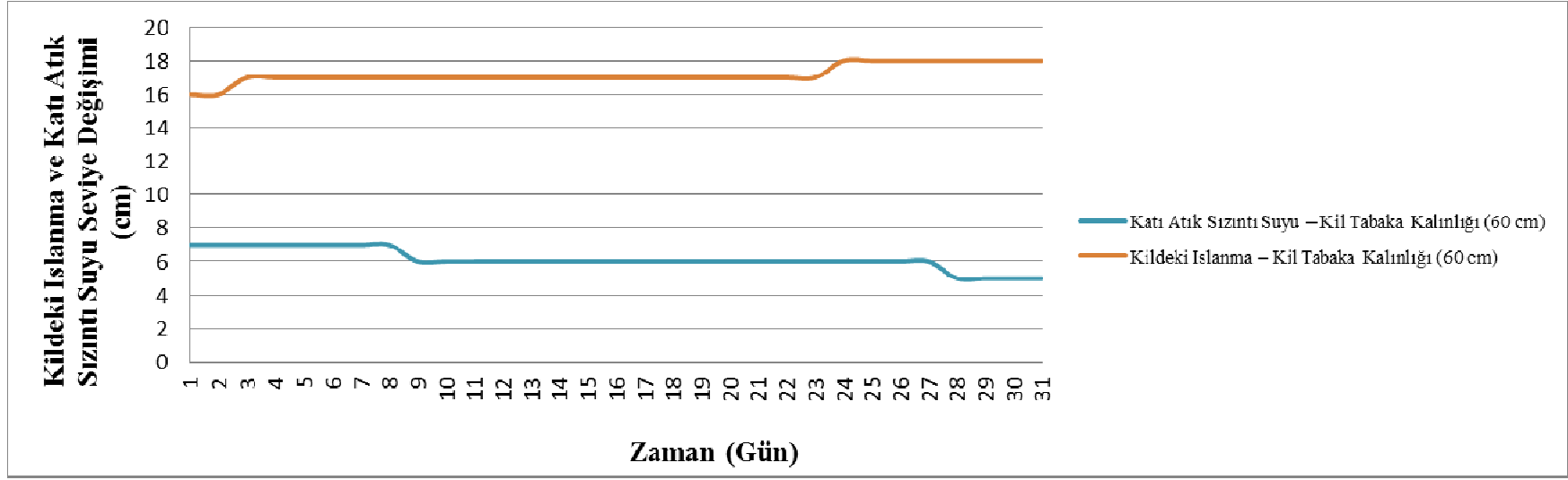
EK-27 Ağustos Ayı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



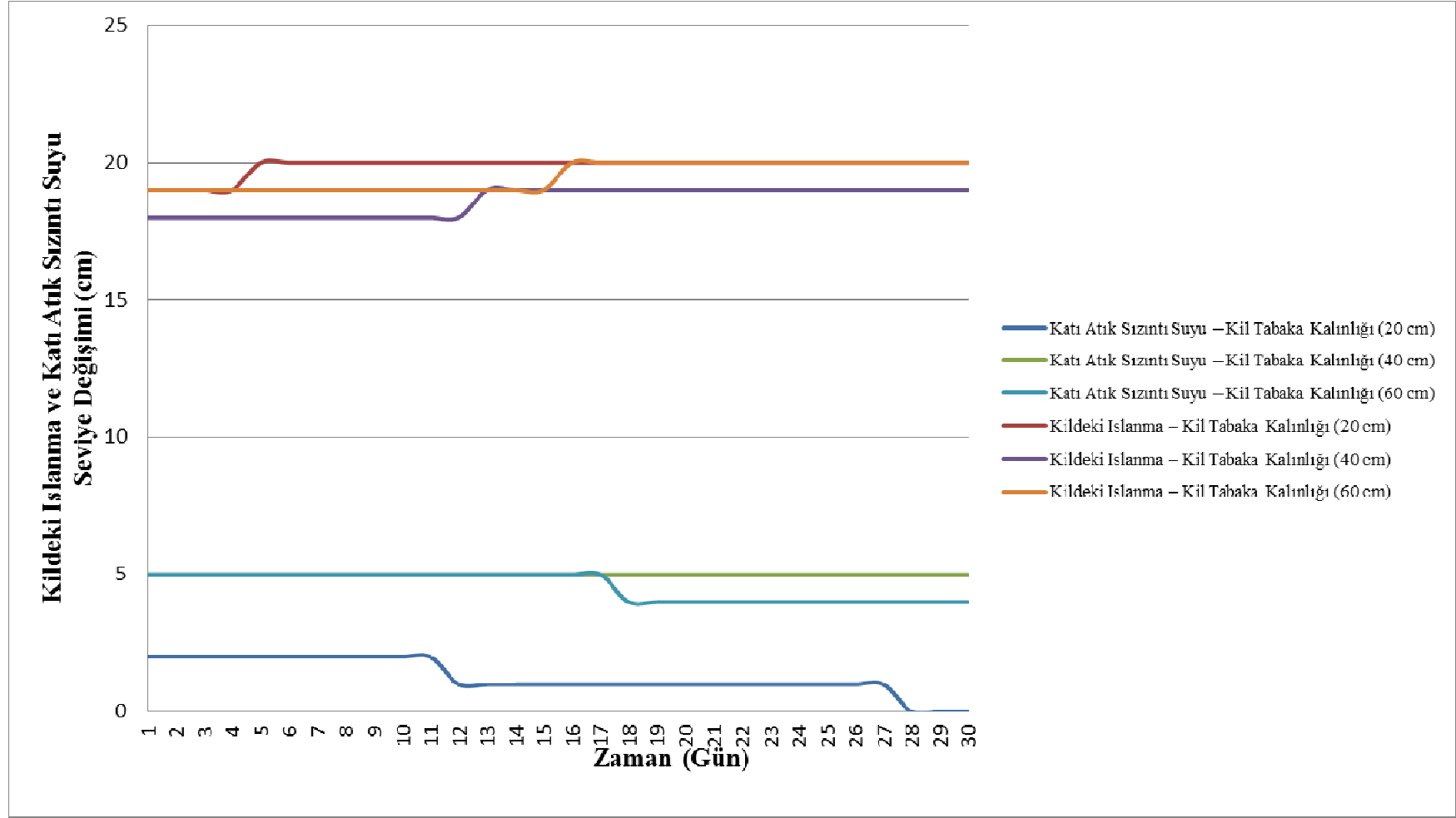
EK-28 Ağustos Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



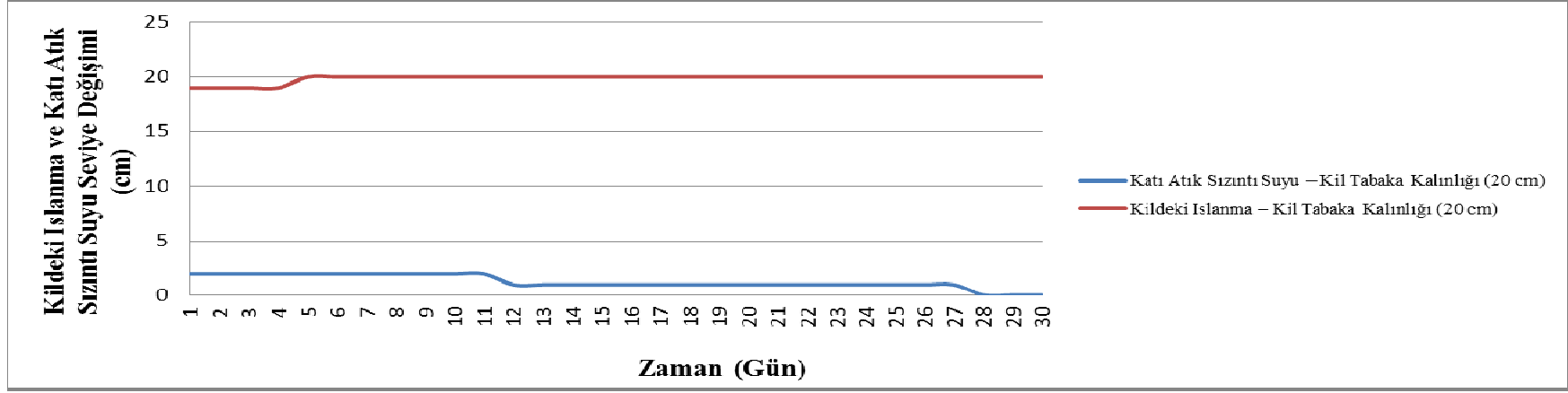
EK-29 Ağustos Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



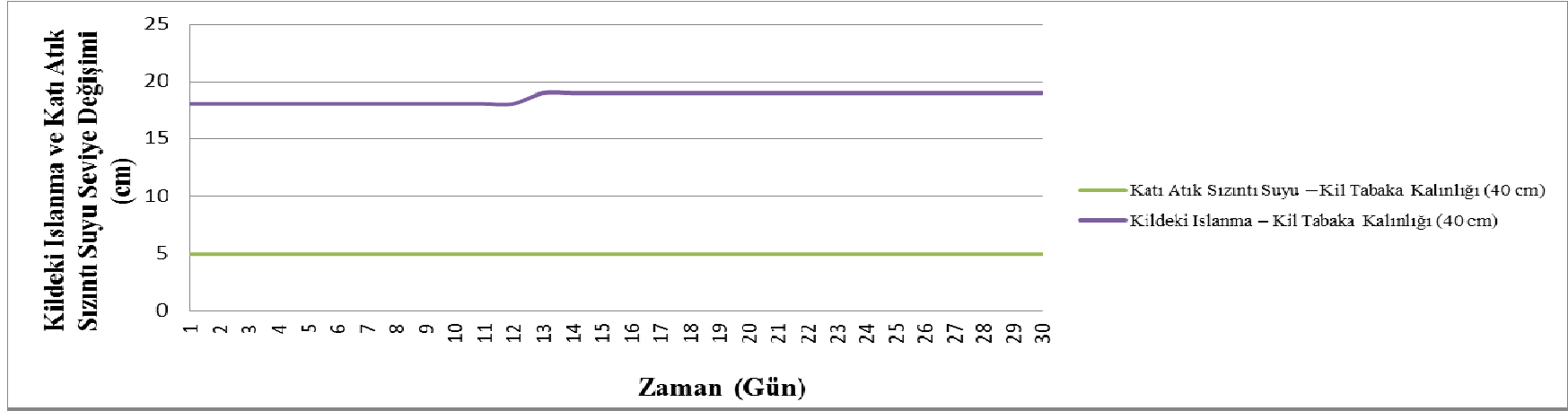
EK-30 Ağustos Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



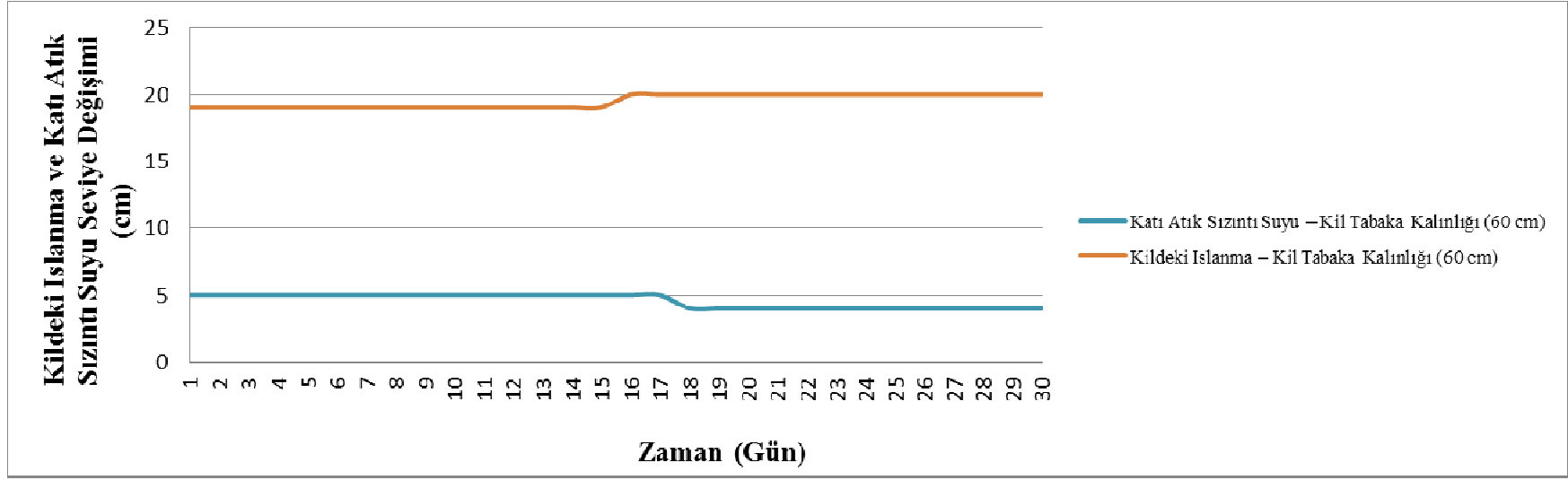
EK-31 Eylül Ayı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



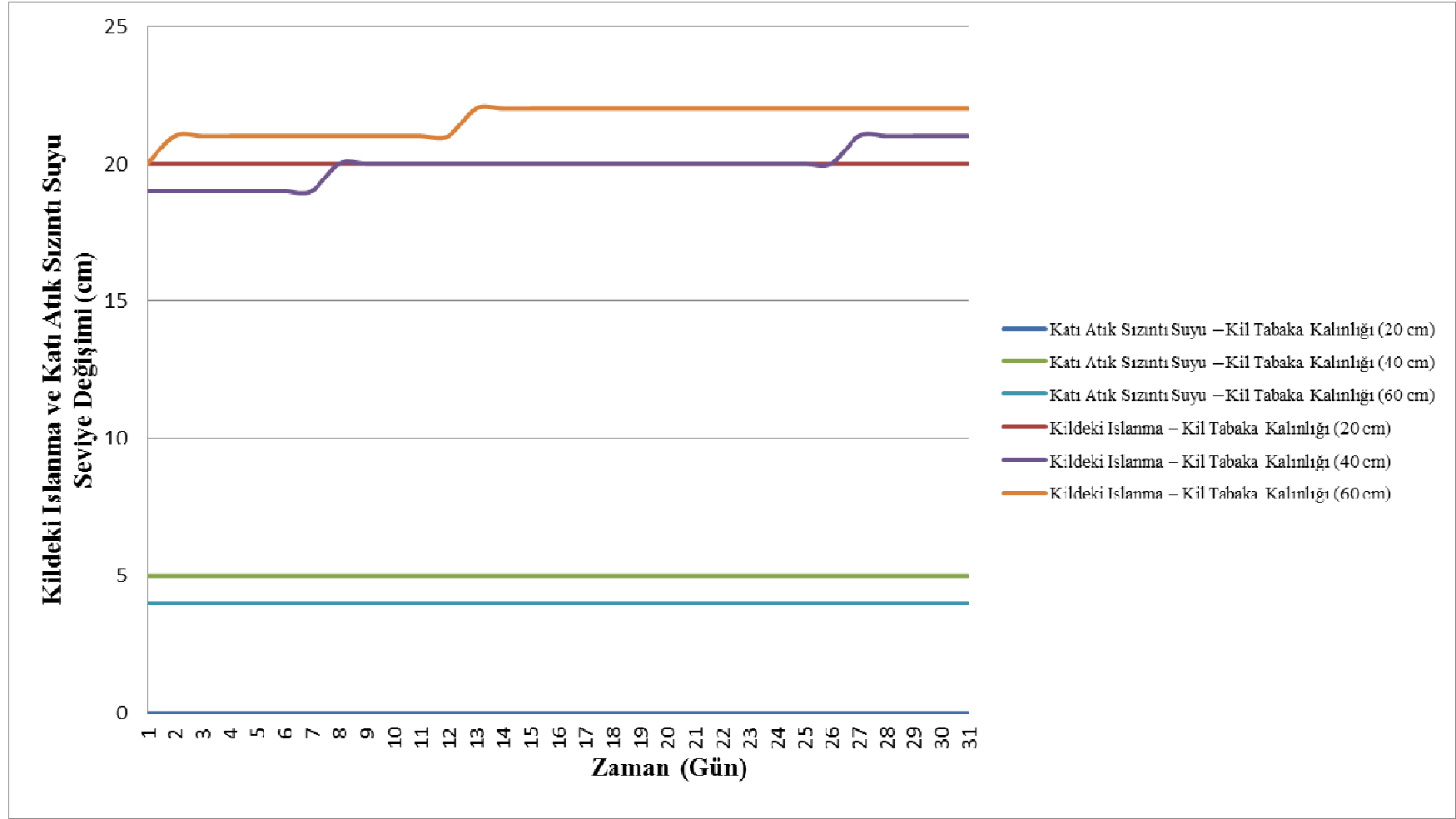
EK-32 Eylül Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



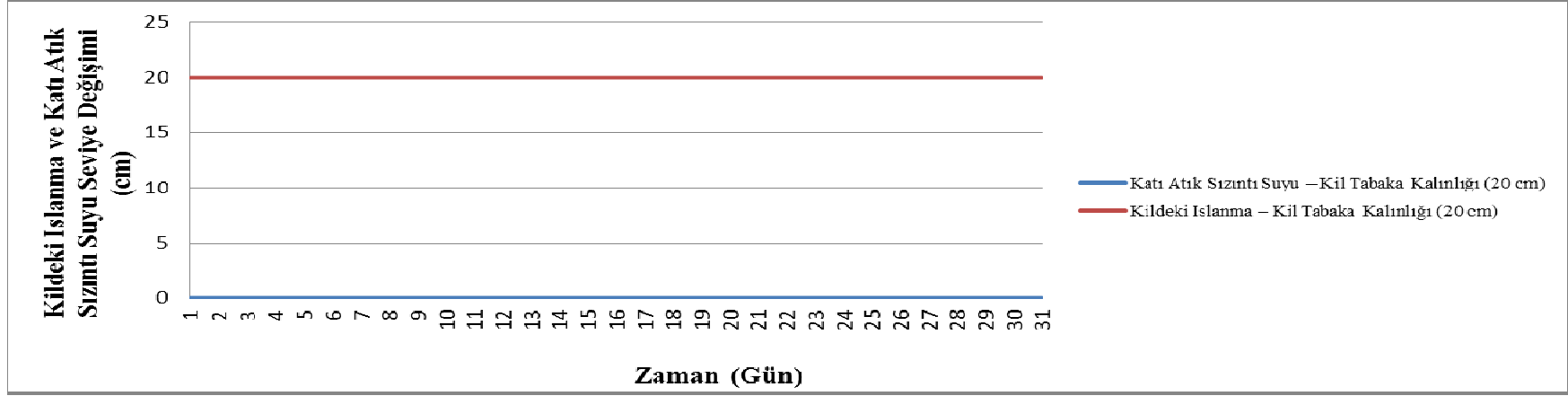
EK-33 Eylül Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



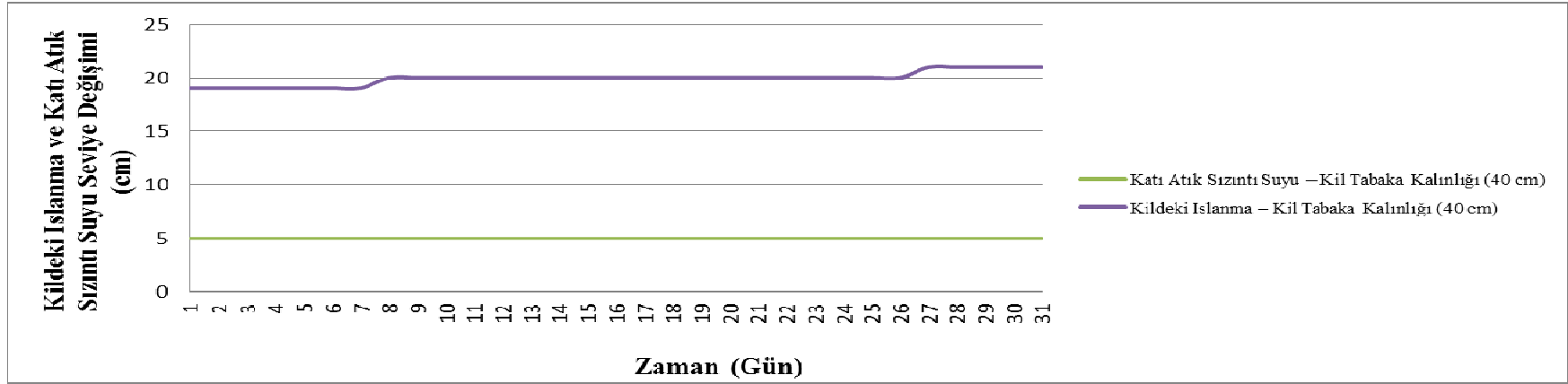
EK-34 Eylül Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



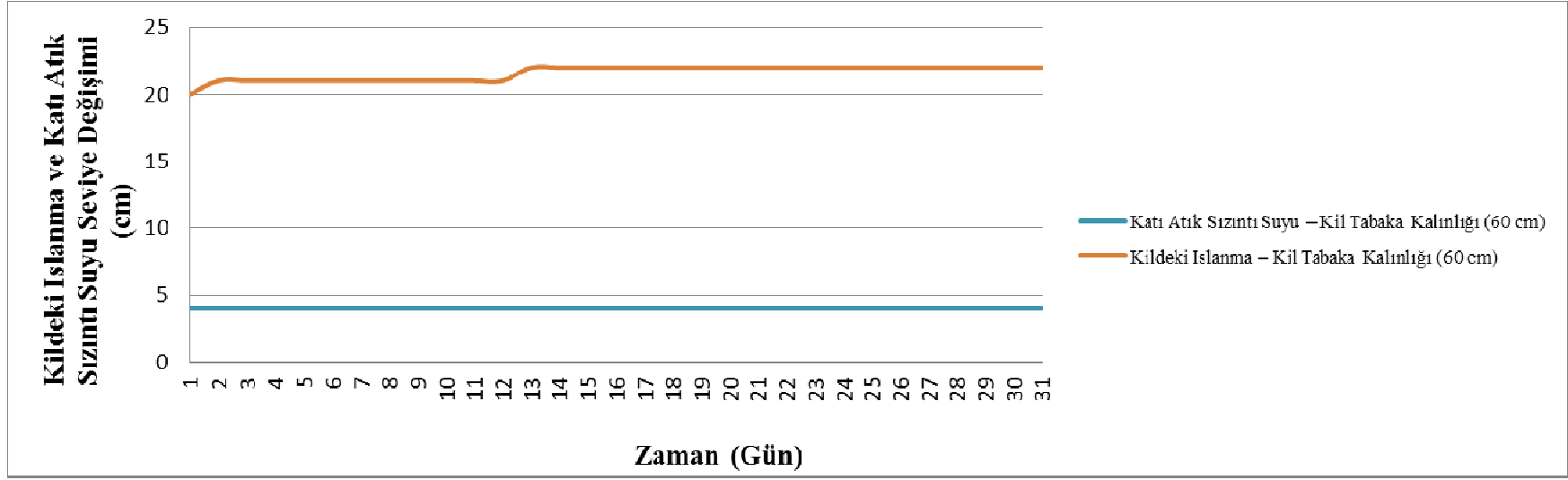
EK-35 Ekim Ayı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



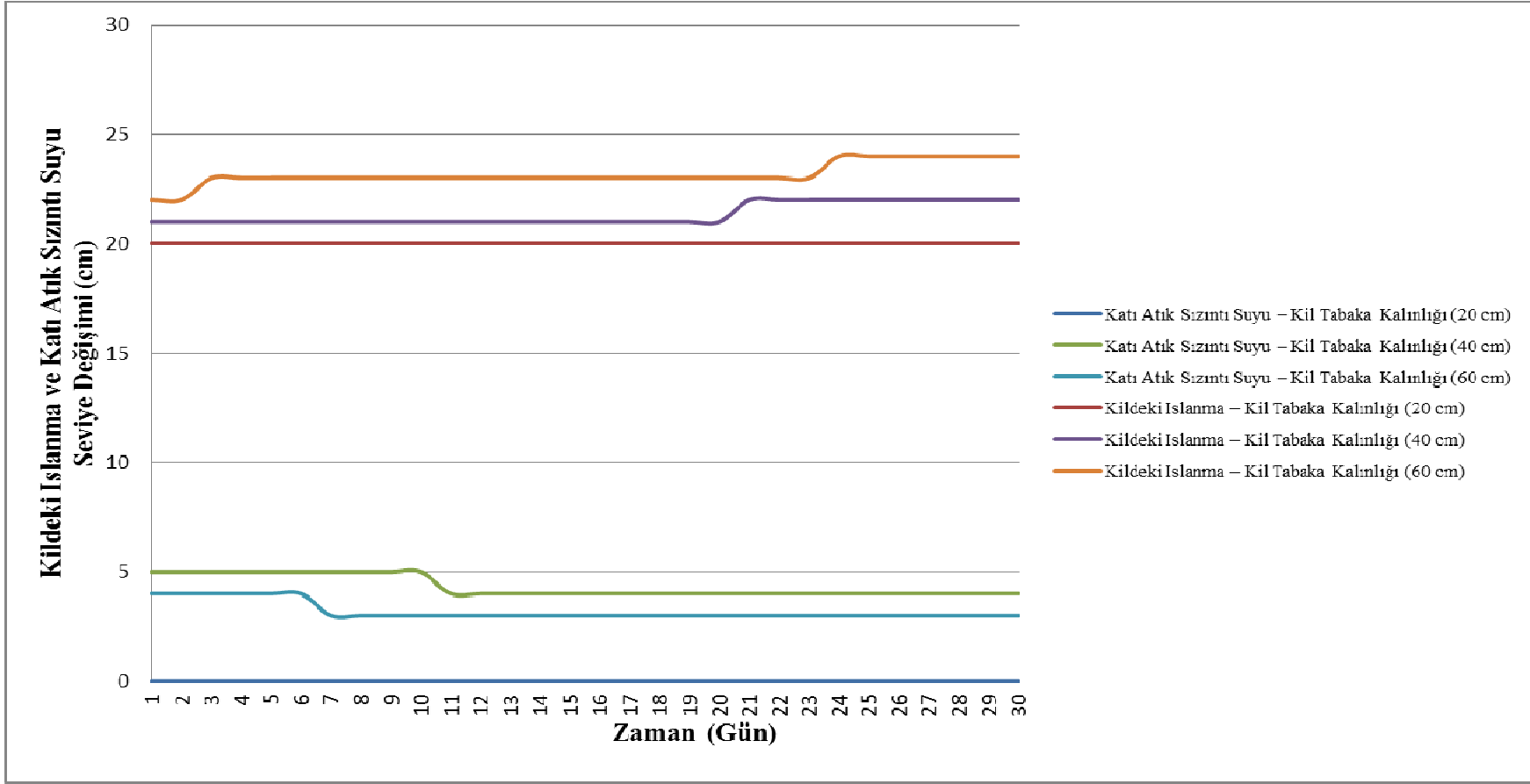
EK-36 Ekim Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



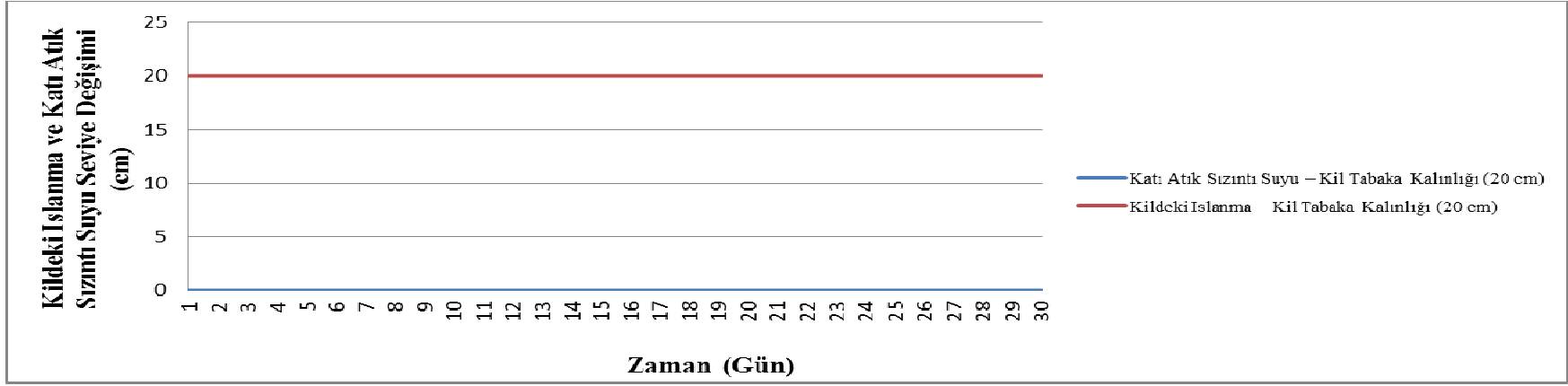
EK-37 Ekim Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



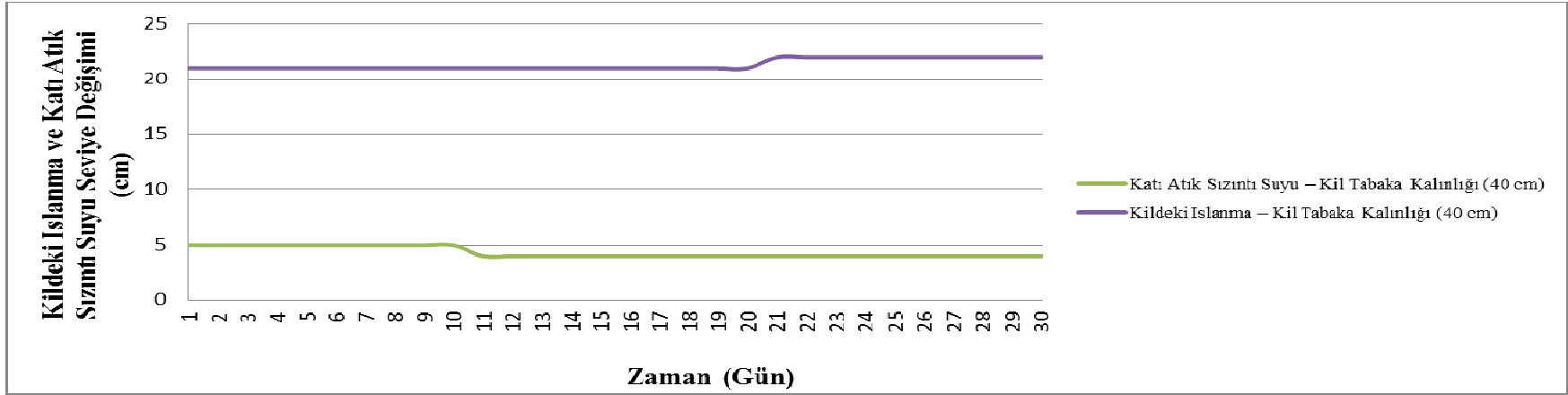
EK-38 Ekim Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



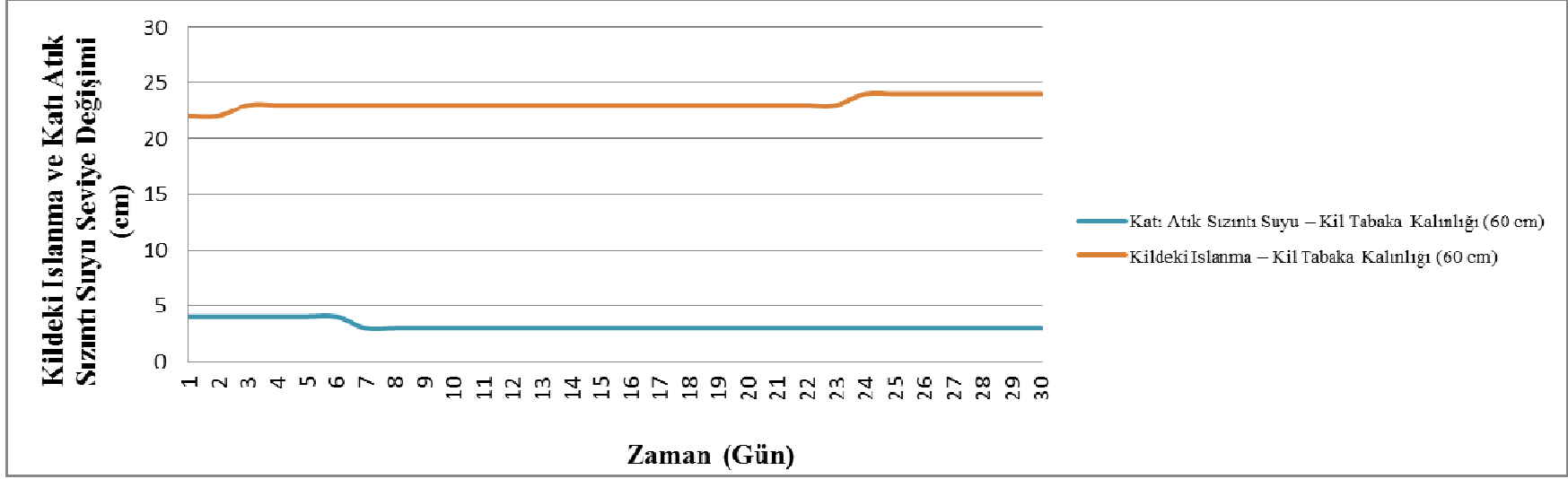
EK-39 Kasım Ayı Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi



EK-40 Kasım Ayı 20 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



EK-41 Kasım Ayı 40 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki Islanma Değişimi



EK-42 Kasım Ayı 60 cm Katı Atık Sızıntı Suyu-Kildeki İslanma Değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Hayrullah AKYILDIZ, 25.06.1974 te Diyarbakır'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Diyarbakır'da tamamladı. 1993 yılında başladığı KKTC Yakın Doğu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 1997 yılında bitirdi. 2001 yılında sakarya üniversitesi inşaat mühendisliği yapı anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlayıp, 2003 yılında mezun oldu. 2004 yılında sakarya üniversitesi inşaat mühendisliği geoteknik anabilim dalında doktora eğitime başladı. İstanbul büyükşehir belediyesinde 1997 yılında işe başladı. 1997-2000 yılları arasında İSFALT, 2000-2004 yılları arasında İSTAÇ ve 2004-2005 yıllarında İSKİ'de yönetici kadrolarında çalıştı. İSTAÇ ta çalıştığı beş yıl boyunca katı atık biriminde teknik müdür olarak çalışan Mehmet Hayrullah AKYILDIZ katı atık ile ilgili birçok projeye imza atmış ve uygulamalarda bulunmuştur. Ayrıca yurt içi ve yurt dışında bu konular ile ilgili birçok seminer ve eğitime katıldı. 2005 yılından sonra katı atık uygulamaları ile ilgili firma kurup, birçok ilde katı atık düzenli depolama alanları inşaa etmiş ve uygulamalarda bulunmuştur.