

**ATIK DEPOLAMA ALANLARININ  
TABANLARINDA KULLANILMASI ÖNGÖRÜLEN  
SEPIYOLİT/ZEOLİT KARIŞIMININ GEOTEKNİK  
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Ebru Mihriban KABAKÇI**  
Yüksek Lisans Tezi

**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**  
Mayıs - 2004

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ebru Mihriban KABAĞCI 'nın 'Atık Depolama Alanlarının Tabanlarında Kullanılan Malzemelerin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi' başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi ~~27.05.2004~~ tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Yard. Doç. Dr. Yücel GÜNEY

Üye : Prof. Dr. Hasan MANDAL

Üye : Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~14.07.2004~~ tarih ve ~~24/1~~ sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Aytuğ İFTAR  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ATIK DEPOLAMA ALANLARININ TABANLARINDA KULLANILMASI ÖNGÖRÜLEN SEPIYOLİT/ZEOLİT KARIŞIMININ GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ebru Mihriban KABAKÇI

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Yücel GÜNEY  
2004, 113 sayfa

Çöp deponi alanlarının tabanlarında meydana gelen en önemli sorun, çöp suyu sızıntısıdır. Yüksek miktarda ağır metal içeren bu sızıntı suyunun çevreye zararını engellemek için depo alanı tabanı olabildiğince geçirimsizliği az olan bir malzeme ile teşkil edilmelidir. Çöp deponi alanlarının tabanında; kaplama malzemesi olarak kullanılan kil karışımlar istenilen geçirimsizliği sağlamaya yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, çöp depolama alanlarının tabanlarında kullanılmak üzere yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip sepiyolit ve zeolit kili karışımı bir kaplama malzemesi önerilmiştir. Bu karışımların değişik karışım oranları üzerinde laboratuvarında standart kompaksiyon deneyi, indeks deneyleri, mekanik deneylerden olan serbest basınç deneyi, permeabilite deneyi, permeabilite deneyi sonrası serbest basınç deneyi, konsolidasyon deneyi, serbest şişme deneyi, pH değerinin belirlenmesi, elektriksel iletkenlik, toplam ağır metal miktarı tayini ve adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi gibi deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre istenilen geçirimsizlik için uygun (S/Z) oranı belirlenmiştir.

Deneyler sonucunda %20 (S/Z) karışımının, çöp deponi alt tabakası için istenilen sınırlar geçirimsizlik şartının çok altında bir değere sahip olması ayrıca yüksek bir ağır metal tutma kapasitesi göstermesinden dolayı çöp deponi alanı alt tabakası olarak kullanılması uygun görülmüştür. Diğer karışımlar altında en uygun değerlere sahip olan bu karışım, çöp deponi alanı alt tabakası olarak kullanılan geosentetiklere de maliyet açısından da uygun bir alternatif olarak önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çöp Deponi Alanı, Çöp Deponi Alanı Tabanları, Kil Karışımlar, Zeolit, Sepiyolit.

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### DETERMINING GEOTECHNICAL PROPERTIES OF SEPIOLITE AND ZEOLITE MIXTURES USED PROPOSED IN THE SANITARY LANDFILL LINER

Ebru Mihriban KABAKÇI

Anadolu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Program

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yücel GÜNEY  
2004, 113 pages

Main problem is waste water leachate in the sanitary landfill liners. High metal content of the waste water health risks and also causes underground water and soil pollution. To prevent this effect low permeability material should be used in the sanitary landfill liner. Clay mixtures used in the sanitary landfill liner as lining materials reducing permeability.

In this study, sepiolite and zeolite mixtures which have high adsorption capacity proposed as liner material in the sanitary landfill liner. Different experiments made like standard compaction test, index tests, unconfined compressive strength test, hydraulic conductivity test, unconfined compressive strength test after, hydraulic conductivity test, consolidation test, free swell test, determining pH values, electrical conductivity, total quantity of heavy metal and adsorption capacity by using different mixtures rate of this clays. According to experiment results, appropriate (S/Z) ratio determined.

As a result %20 (S/Z) mixture is convenient for sanitary landfill liner because of low permeability value and high adsorption capacity. (S/Z) mixtures used in sanitary landfill liner can be an alternative to geosynthetic materials. In addition, (S/Z) mixtures is more economical than geosynthetic materials.

**Keywords:** Sanitary Landfill, Sanitary Landfill Liner, Clay Mixtures, Zeolite, Sepiolite

## TEŞEKKÜR

Tüm öğrenim hayatım boyunca benden, hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, aileme, yüksek lisans ve öğrenimim ve tez çalışmam süresince, yardımlarından dolayı danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Yücel GÜNEY 'e, Arş. Gör. Emre KIYAK 'a, dosyalarımı ulaştırmada büyük sabır gösteren kardeşim Öğr. Görv. Işıl KABAĞÇI 'ya ve bana bu çalışmam sırasında teknik ve moral desteğinde bulunan bütün arkadaşlarıma, teşekkürlerimi sunarım.

Ebru Mihriban KABAĞÇI

Mayıs 2004

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Giriş .....	1
1.2. Önceki Çalışmalar .....	5
1.3. Tezin Amacı .....	5
<b>2. KİRLENMENİN FİZYOLOJİSİ</b> .....	<b>6</b>
2.1. Suya Doygun Tabaka Altındaki Katı Atık Reaksiyonu .....	7
2.2. Kirlenmenin Geokimyasal Süreçler Yardımıyla Modellenmesi .....	7
<b>3. ÇÖP DEPOLAMA ALANLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>12</b>
3.1. Atık Çeşitleri Ve Özellikleri.....	12
3.1.1. Katı atık kaynakları .....	13
3.1.2. Katı atık türleri .....	15
3.1.2.1. Evsel atıklar .....	15
3.1.2.2. Endüstriyel atıklar .....	17
3.1.2.3. Kağıt sanayi atıkları.....	18
3.1.2.4. Baca gazı atıkları .....	18
3.1.2.5. Maden atıkları.....	19
3.1.2.6. Kül ve kömür atıklar.....	19
3.1.2.7. Fosfatik atıklar.....	21
3.1.2.8. Tarama atıkları.....	21

3.1.2.9. Tehlikeli atıklar .....	22
3.1.3. Ülkemizde katı atık kompozisyonu .....	23
3.2. Çöp Depolama Alanları.....	25
3.3. Katı Atık Depolama Alanları Seçimi Kriterleri .....	28
3.4. Yer Seçiminde Son İdari Aşama: ÇED .....	29
3.5. Çöplerin Depolanmasında Uygulanan Yöntemler .....	30
3.5.1. Hendek yöntemi .....	30
3.5.2. Alan yöntemi .....	31
3.5.3. Kanyon (çukur) yöntemi .....	32
3.6. Düzenli Depolama Alanlarında Meydana Gelen Olaylar .....	33
3.6.1. Sızıntı suyunun yol açtığı riskler.....	33
3.7. Deponi Alanı Dizaynı Önerileri .....	35
3.8. Depolama Sahasının İşletilmesi .....	36
3.9. Katı Atıkların Kontrol Altında Depolanması Teknolojisi.....	36
3.10. Katı Atıklar İçin Oluşturulan Yasal Düzenlemeler .....	38
3.10.1. D programı (40 CRF 258 Maddesi) .....	38
3.10.2. C programı (40 CRF 264 Maddesi).....	39
3.11. Örtü Tabakası .....	41
<b>4. ÇÖP DEPONİ ALANI ALT TABAKA SİSTEMLERİ.....</b>	<b>42</b>
4.1. Çöp Deponi Alanı Alt Tabakası İle İlgili Genel Bilgiler .....	42
4.2. Çöp Deponi Alanı Alt Tabakasını Oluşturan Malzemeler .....	43
4.2.1. Doğal malzemeler .....	44
4.2.2. Sentetik malzemeler .....	45
4.3. Çöp Deponi Alanı Alt Tabakası Birimlerinin Fonksiyonları .....	45
4.4. Çöp Deponi Alanı Alt Tabakalarının Yapısı .....	47
4.5. Kil Alt Tabaka Sistemleri .....	49
4.5.1. Doğal kil alt tabaka sistemleri .....	49
4.5.2. Sıkıştırılmış kil alt tabaka kaplamalar .....	50
4.5.3. Sıkıştırma koşulları .....	51
4.5.3.1. Su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi.....	53

<b>5. KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>56</b>
5.1. Zeolit .....	56
5.2. Sepiyotik Kil.....	58
5.3. Bakır (Cu).....	63
5.4. Krom (Cr).....	64
5.5. Kurşun (Pb) .....	65
<b>6. DENEY METODLARI .....</b>	<b>67</b>
6.1. Standart Kompaksiyon Deneyi.....	67
6.2. İndeks Deneyleri.....	68
6.2.1. Su muhtevası .....	68
6.2.2. Tane özgül ağırlığı .....	68
6.2.3. Tane çapı dağılımı .....	69
6.2.4. Atterberg kıvam limitleri.....	69
6.3. Mekanik Deneyler .....	70
6.3.1. Serbest basınç deneyi .....	70
6.3.2. Permeabilite deneyi.....	71
6.3.3. Permeabilite sonrası serbest basınç deneyi .....	73
6.3.4. Konsolidasyon deneyi .....	73
6.3.5. Serbest şişme deneyi .....	74
6.4. Fiziko - Kimyasal Özellikler .....	75
6.4.1. Adsorpsiyon deneyi.....	75
6.4.1.1. Freundlich denklemi .....	76
6.4.1.2. Langmuir denklemi .....	77
6.5. Çevresel Şartlara Ait Özellikler .....	78
6.5.1. Sızıntı deneyi .....	78
6.5.2. Sızıntı deneyi sonrası ph .....	79
6.5.3. Sızıntı deneyi sonrası elektriksel iletkenlik .....	80
6.5.4. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç .....	80



<b>7. DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>81</b>
7.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	81
7.2. Karışım Oranları .....	81
7.3. İndeks Deney Sonuçları.....	82
7.3.1. Tane özgül ağırlığı (spesifik gravite) .....	82
7.3.2. Tane çapı dağılımı .....	82
7.3.3. Atterberg kıvam limitleri.....	83
7.4. Mekanik Deney Sonuçları .....	84
7.4.1. Kompaksiyon deneyi.....	85
7.4.2. Permeabilite katsayısı .....	86
7.4.3. Serbest basınç mukavemeti .....	89
7.4.4. Konsolidasyon deneyi .....	95
7.4.5. Serbest şişme deneyi .....	96
7.5. Sızıntı Deneyi.....	97
7.5.1. Sızıntı deneyi sonrası ph .....	97
7.5.2. Sızıntı deneyi sonrası elektriksel iletkenlik .....	99
7.5.3. Ağır metal miktarları .....	101
7.5.4. Adsorpsiyon deneyi sonucu .....	103
7.6. Çevresel Şartlara Ait Özellikler .....	104
7.6.1. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç .....	104
<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>108</b>
<b>9. KAYNAKLAR .....</b>	<b>111</b>

## 10. EKLER.....

**Ek-1** Literatürde içme suyunda müsaade edilen metallerin maksimum limitleri

**Ek-2** Literatürde sızıntı suyu içinde müsaade edilen metallerin max. limitleri

**Ek-3** Literatürde permeabilite katsayısına bağlı olarak alt tabaka kalınlıkları

**Ek-4** Literatürde kirli zeminler için verilen max. mineral miktarı

**Ek-5** Karışımlara uygulanan serbest basınç deneyi sonuçları

**Ek-6** Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası pH ölçümü sonuç grafikleri

**Ek-7** Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası elektriksel iletkenlik ölçümü sonuç grafikleri

## ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Kirlenme döngüleri ve etkileşimi.....	6
2.2. Hidrolojik çevrimde atık depolanması .....	7
2.3. Kirlenme izinin kavramsal geokimyasal modeli.....	8
2.4. Daneler arası akımın gerçekleştiği bir akiferin içindeki kirlenici.....	10
3.1. Tipik bir evsel atık kümesi.....	16
3.2. Endüstriyel atık kümesi.....	17
3.3. AB.'de 1995 yılında kullanılan katı atık bertaraf yöntemleri .....	27
3.4. Hendek yönteminin şematik gösterimi .....	31
3.5. Alan yönteminin şematik gösterimi ve hücrelerin oluşturulması .....	32
3.6. Katı atık depolama tesisleri.....	37
3.7. D tabakası ve MSWLF örtü tabakası .....	38
3.8. Katı atık alanları için karışık tabaka sistemlerinin diyagramı.....	40
3.9. Zararlı atık alanlarının çift tabakalı ve çöp suyu kontrollü sist. kesiti ....	41
3.10. Zararlı atık alanlarının şematik olarak örtü gösterimi.....	41
4.1. Geçirimsizlik için yapılan alt tabaka sistemlerine bir örnek.....	43
4.2. Bir atık depo alanı alt tabaka sistemi için potansiyel elem. kullanımı....	47
4.3. USEPA'nın geçirimsizlik tabakalarında sağlanması ist. min. şartlar ..	48
4.4. Paralel ve yatay tabakalardan oluşturulmuş yamaç şevleri.....	51
4.5. Yoğurma ve su muhtevasının permeabiliteye etkisi .....	52
4.6. Sıkıştırılmış kil alt tabaka sist. tabakalar arası dokanakların durumu....	53
4.7. Kabul edilebilir bölge oluşturulması için oluşturulmuş bölge .....	54
4.8. Permeabilite, k.m. ve k.b.'ye bağlı ortak kabul edilebilir bölgeler.....	55
5.1. Bentonit kilinin SEM fotoğrafı .....	56
5.2. Zeolit kilinin SEM fotoğrafı .....	57
5.3. Sepiyolit kilinin SEM fotoğrafı.....	60
6.1. Permeabilite deney düzeneği.....	72
6.2. Sızıntı deney düzeneği .....	79
7.1. %10, %20, %30 (S/Z) karışımları için granülometri eğrisi .....	83
7.2. Plastisite kartı .....	84

7.3. Numunelerin optimum su muhtevası değerleri .....	85
7.4. Karışım yüzd. göre taze numunelerin permeabilite katsayısı .....	87
7.5. Karışım yüzd. göre (7) gün kür uyg. num. permeabilite katsayısı .....	88
7.6. Karışım yüzd. göre (28) gün kür uyg. num. permeabilite katsayısı .....	88
7.7. Taze numunelerin serbest basınç değerleri .....	91
7.8. (7) gün kür uyg. num.serbest basınç değerleri .....	92
7.9. (28) gün kür uyg. num.serbest basınç değerleri .....	93
7.10. %10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z) gerilme değerleri oranları .....	94
7.11. %10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z) eksenel şekil değiştirme oranl. ....	94
7.12. Taze numunelerin konsolidasyon deneyi grafiği .....	95
7.13. Serbest şişme deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	96
7.14. Sızıntı sonrası 1-2. günlere ait pH deneyi sonuçları .....	98
7.15. Sızıntı sonrası 3-4. günlere ait pH deneyi sonuçları .....	98
7.16. Sızıntı sonrası 5. güne ait pH deneyi sonuçları .....	99
7.17. Sızıntı sonrası 1-2. günlere ait elektriksel iletkenlik deneyi son. ....	100
7.18. Sızıntı sonrası 3-4. günlere ait elektriksel iletkenlik deneyi son.....	100
7.19. Sızıntı sonrası 5. güne ait elektriksel iletkenlik deneyi son. ....	101
7.20. Sızıntı sonrası ağır metal (Cu) okuması deney sonuçları.....	102
7.21. Sızıntı sonrası ağır metal (Pb) okuması deney sonuçları .....	103
7.22. Zeolit için langmuir izotermi .....	104
7.23. Sızıntı sonrası bazı num. gerilme-şekil değ. grafiği .....	105
7.24. Sızıntı sonrası çeşitli num. serbest basınç mukavemeti değ.....	106
7.25. Sızıntı sonrası çeşitli num. serbest basınç mukavemeti değ.....	106
7.26. Sızıntı sonrası çeşitli num. serbest basınç mukavemeti değ.....	107

## ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. ABD’de yıllık ortalama tehlikesiz atık miktarları.....	12
3.2. Bir şehirdeki katı atık kaynakları .....	14
3.3. Endüstriyel baca gazlarındaki danecikler ve boyutları .....	18
3.4. Çeşitli endüstrilerin üretiminde ortaya çıkan tehlikeli atıklar.....	23
3.5. Büyük Şehir Belediye’lerinde yaz ve kış aylarında ort. katı atık mikt ...	24
3.6. Yaz dönemi evsel katı atık karakterizasyonu.....	24
3.7. Kış dönemi evsel katı atık karakterizasyonu.....	25
3.8. Tehlikeli atık düzenli depolama alanlarından etkilenen yer altı sularında sıklıkla rastlanan organik bileşikler .....	34
3.9. Sızıntı suyunun özellikleri .....	35
3.10. Maksimum konsantrasyonlu yer altı suyu koruması.....	40
5.1. Zeolit minerallerinin başlıca fiziksel özellikleri .....	58
5.2. Tipik kil minerallerinin pH=7’de belirlenmiş KDK değerleri.....	62
5.3. Deneylerde kullanılan sepiyolit ve zeolit killerinin indeks özellikleri ...	63
7.1. Numunelerin spesifik gravite değerleri .....	82
7.2. Numunelerin atterberg kıvam limitleri değerleri .....	83
7.3. Kompaksiyon deneyi sonuçları .....	86
7.4. Permeabilite deneyi sonuçları.....	89
7.5. Konsolidasyon deneyi sonuçları .....	95
7.6. Zeolit kili için adsorpsiyon deneyi derişim değerleri .....	103

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: American Society of Testing Materials
$a_v$	: Sıkışma Sayısı
B/Z	: Bentonit ve Zeolit Kili Karışımı
C	: Derişim
$C_c$	: Sıkışma Katsayısı
$C_s$	: Şişme veya Kabarma İndisi
$C_v$	: Konsolidasyon Katsayısı
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirmesi
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirmesi
EDS	: Energy Dispersive Spectrometer
EI	: Elektriksel İletkenlik
EPA	: Environmental Protection Agency of United States of America
k	: Permeabilite Katsayısı
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
LL	: Likit Limit
mS/cm	: mili Simens/cm
MSW	: Municipal Solid Waste
MSW	: Municipal Solid Waste
$m_v$	: Hacimsel Sıkışma Katsayısı
P	: Basınç
$P_e$	: Denge Basıncı
PI	: Pilastik Limit
PI	: Plastisite İndeksi
S	: Sepiyolit Kili
S/Z	: Sepiyolit ve Zeolit Kili Karışımı
SEM	: Scanning Electron Microscopy
T	: Sıcaklık
Z	: Zeolit Kili
$\gamma_k$	: Kuru Birim Hacim Ağırlığı

# 1.GİRİŞ

## 1.1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde hızlı nüfus artışı, yaşam koşullarının iyileşmesi ve teknolojik gelişmelerdeki artış sebebiyle evsel ve endüstriyel kaynaklı katı atıkların çeşit ve miktarları artmıştır. İlk zamanlarda oluşan katı atıkların azlığı ve de doğanın özümleme kapasitesinin yüksek olması sebebi ile katı atıkların bertarafı bir problem olarak kabul edilmiyordu. Fakat günümüzde bu durum büyük bir sorun haline gelmiştir.

Günümüzde sanayileşmiş ve sanayileşme sürecini yaşayan bütün ülkelerin ciddi miktarda ve çok çeşitli atıklar ürettikleri ortadadır. Tüm çabalara rağmen atıkların ortadan kesin şekilde kaldırılabileceği bir yöntem yoktur. Amaç olabildiğince azaltılmış kütlelerin en az zarar verecek ve yer kaplayacak şekilde depolanması yolu ile çevre sağlığını bozmayacak biçimde tasfiyesidir. Kısaca kalıcı nitelikli atıkların mutlaka genel sağlık koşullarını etkilemeyecek, çevreye etkilerinin kontrol edilebilecek şekilde yönetiminin sağlanması gereklidir. Örneğin atığın içindeki tepkimeler sonucu oluşacak tehlikeli gazların, uygun havalandırma tasarlanıp, inşa edilerek alınması sağlanmalıdır.

Atık içinde oluşan zehirli ve toksik bileşenleri çok fazla olan sıvı oluşumuna çöp suyu sızıntısı denmektedir. Uygun drenaj ile toplanmalı, alttaki zemin tabakalarına yayılması kontrol edilmeli ve yer altı suyuna sızarak kirletmesi engellenmeli, toplanabilen bu sıvıların mümkünse arıtıldıktan sonra uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Çöp depolama alanlarından, sızıntı sularının yayılmaları engellemek amacıyla ve tesisi tecrit edebilmek için deponi alanı tabanında çeşitli kaplama sistemleri kullanılmaktadır. Bu kaplama sistemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Kaplama sistemlerinin seçiminde kaplamanın kullanılacağı deponi alanının yeri, büyüklüğü, tabakanın kalınlığı ve işlevi gibi özellikler etkili olmaktadır.





Bu malzemelerin uygulama sırasında hasar gördüğünü ve bunun da kullanım ömürlerini etkilediğini, ayrıca sentetik malzemelerin maliyetlerinin yüksek olmasının da oldukça büyük bir dezavantaj olduğunu belirtmişlerdir [2].

Van Ree'nin 1992 yılında yapmış olduğu bir çalışmada, deponi alanı tabanlarında kullanılan taban kaplaması sistemlerinin geçirimsizlik kapasitesinde, tane boyutu dağılımı ve malzemenin kimyasal özellikleri gibi konuların etkililiğine değinmiştir [3].

Daniel ve Benson'un, 1990 yılında yaptıkları çalışmalarında bu kaplamalarda, bir metre ve üzeri bir kalınlığın uygun olduğunu ve atık depolama alanlarında geçirimsizlik katsayısı değerinin  $1 \times 10^{-7}$  cm/sn değerine eşit veya bu değerden düşük olması gerektiğini göstermişlerdir [4].

Bish ve Guthrie'nin 1994 yılındaki çalışmalarında, karışım malzemeler kullanılarak da literatür değerleri, bir deponi alt tabaka sistemi için sağlanabildiğinden bahsedilmiştir. Örnek olarak, kum-bentonit karışımları, taban kaplama sistemi olarak maliyet açısından uygun bir çözüm sağlayan karışımlardır denmiştir [5]. Marcotte ise 1994 yılındaki çalışmasında, bu kaplama sisteminin geçirimsizliğini, kumun dane boyutu dağılımı, malzemenin matris yapısı ve kum miktarı gibi faktörler etkilediğinden bahsetmiştir [6].

Bish ve Guthrie'nin 1994 yılı çalışmalarında, kaplama sisteminin hidrolik bariyer olarak görev yapmasında en önemli etkenlerden biri de, kaplama malzemesinin kation değişim kapasitesi olduğu söylenmiştir. Doğal zeolit kilinin kation değişim kapasitesi 200 ile 400 meq/100 gr arasında değiştiğine işaret edilmiştir [5].

Kayabalı ise 1997 yılında yaptığı bir çalışmada, çöp deponi alanı kaplama malzemesi olarak bentonit ve zeolit killeri karışımını önermiştir. Bu karışımın, zeolit kilinin yüksek kation değişim kapasitesine sahip olması ve bentonitin bu karışımda bağlayıcı bir malzeme özelliği göstermesinden dolayı ideal bir taban malzemesi özelliği gösterdiğini söylemiştir. Ayrıca, >%5 (B/Z) oranının kaplama malzemesi olarak uygun bir karışım olduğunu göstermiştir [1].

Bentonit kili, kullanıldığı karışım için birtakım negatif özelliklerde sergilediği görülmüştür. Othman ve Benson, 1993 yılında yaptıkları bir çalışmada, bentonit kilinin şişme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle rötre çatlakları ve donma-çözülme çevriminde çatlaklara maruz kalabileceğine değinmişlerdir [7].

Kaya ve Fang 2000 yılında yaptıkları çalışmalarında, bariyer olarak kullanılan malzemelerin, geçirimsizlik katsayıları ortamın sıcaklığı ve nem miktarı ile de değişim göstermişlerdir [8].

Kaya ve Durukan, 2003 yılındaki çalışmalarında, killi zeminlerin geçirimsizlik katsayıları, zeminin asit-baz dengesi, organik madde konsantrasyonu ile zeminin şişmesi ve kil partiküllerinin kimyasal malzemelerle etkileşimi gibi durumlara bağlı olarak önemli artışlar göstermişlerdir [9].

Di Maio ve Fenelli, 1994 yılındaki çalışmalarında, bentonit ve zeolit karışımlarının tane çapı dağılımları ve mukavemet açısından birbirlerine zıt iki malzeme özelliği gösterdiklerini söylemişlerdir. Bentonit kilinin yüksek kohezyon değerine dikkat çekmişlerdir [10].

Kenny, 1992 yılında yaptığı çalışmada bentonit kilinin yüksek şişme kapasitesinden bahsetmiştir [11]. Komine ve Ogat ise, 1994 yılındaki çalışmalarında, bentonit ve zeolit kili karışımlarında bentonit kilinin, zeolitin tanelerinin arasındaki boşlukları şişerek doldurduğundan bahsetmişlerdir [12].

Pusch, 1992 yılında deneysel çalışmaları sonucu (B/Z) karışımının, geçirimsizlik katsayısı değerinin, karışımın kompaksiyon derecesine, zeolitin tane boyutu dağılımına ve bentonit oranına bağlı olduğunu söylemişlerdir. Bentonitin geçirimsizlik katsayısı değerinin  $10^{-12}$  ve  $10^{-11}$  cm/sn değerleri arasında değiştiğini göstermişlerdir [13].

Kayabalı, 1997 yılında bir makalesinde B/Z ile yaptığı çalışmada en uygun kaplama malzemesi olarak %5 (B/Z) karışımını göstermiştir. Bentonit oranının böyle düşük tutulmasının sebebinin ise bentonitin pahalı bir malzeme olmasına ve zeolitin yüksek katyon değişim kapasitesine bağlamıştır. Kayabalı bu çalışmasında, çöp deponi alanı dizaynı sırasında sızıntıya karşı iki farklı önlem alınabileceğini, taban kaplamasının kalınlığının arttırılabileceğini veya geomembran kullanılabileceğini belirtmiş ve bir başka yaklaşımı ise killerin katyon değişim ve adsorpsiyon kapasitelerinin deponi alanlarındaki sızıntıya karşı

önleminde çok önemli olduğundan da bahsetmiştir. Aynı çalışmada (B/Z) ile yapılan karışımın alt tabaka kalınlığının %25 azalmasına sebep olduğu söylenmiştir [1].

Kaya ve Durukan'ın, 2003 yılındaki çalışmalarında bentonit ve kum karışımı bir alt kaplama tabakası yerine bentonit ve zeolit karışımı bir alt taban kaplaması önermişlerdir [9].

Tuncan ve arkadaşlarının 2003 yılındaki bir çalışmasında %10 (B/Z) karışımı, deponi alanı alt tabakası olarak önerilmiştir. Bu karışımın kaplama tabakasının kalınlığının azaltılmasındaki etkisinden bahsedilmiştir. Karışımın 7,14 ve 28 günlük kürleri üzerinde serbest basınç deneyi sonuçlarına göre dayanım grafiklerini belirlemişlerdir. Buna göre kür zamanındaki artışın numunelerin dayanımlarında da bir artış getirdiği gösterilmiştir. Bu çalışmada, bentonit, zeolit karışımının düşük permeabiliteye sahip etkili bir kimyasal filtre sistemi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca zeolit katyon değişim kapasitesinin, bentonite göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir [14].

Fernandez'in 1989 yılındaki bir çalışmasında belirttiği gibi deponi alanı alt tabakalarında en önemli sorun inşaa aşaması öncesi yapılan geoteknik araştırmalar ve sahanın yapımı sırasında ve sonrasında kalite kontrol çalışmalarının en doğru ve en uygun şekilde yapılmasıdır [15].

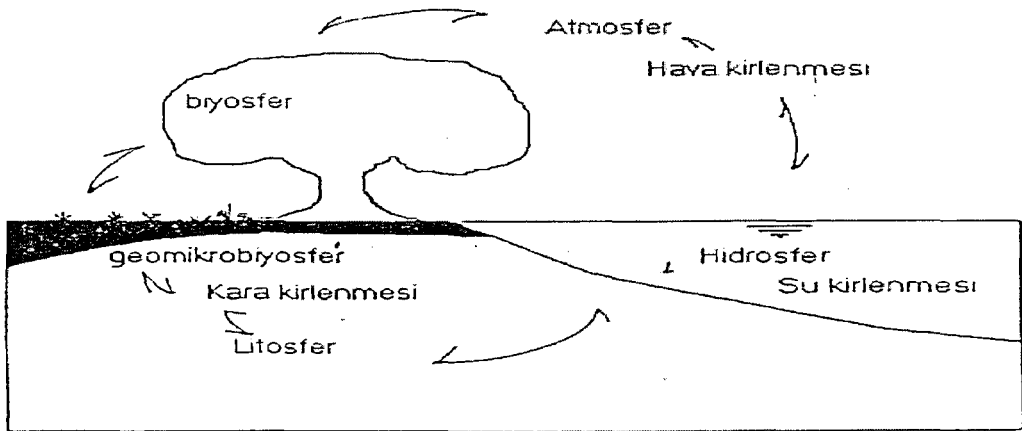
### **1.3. Tezin Amacı**

Bu çalışmada, atık depolama alanlarının tabanlarında kullanılmak üzere, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip zeolit ve sepiyolit killerinin taze ve kür uygulanan karışımları (%5, %10, %20, %30 ve %35) arasından geoteknik özellikler bakımından en elverişli olan karışım oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen en uygun oran, çöp deponi alanları alt tabakasında kullanılmak üzere alternatif bir malzeme olarak önerilmiştir.

## 2. KİRLENMENİN FİZYOLOJİSİ

Kirlenme olayı, atmosfer, biyosfer, geomikrobiyosfer, litosfer ve hidrosfer ortamları arasındaki çevrim hareketleri sonucu oluşmaktadır. Bu süreçlerin gerçekleştiği ortama kısaca geo-çevre denmektedir. Günümüzde sanayileşmiş ve sanayileşme sürecini yaşayan bütün ülkelerin ciddi miktarda ve çok çeşitli atıklar ürettikleri ortadadır. Tüm çabalara rağmen atıkların ortadan kesin şekilde kaldırılabileceği bir yöntem yoktur. Dolayısıyla amaç olabildiğince azaltılmış kütlelerin en az zarar verecek ve yer kaplayacak şekilde depolanmasıdır. Kısaca kalıcı nitelikli atıkların mutlaka genel sağlık koşullarını etkilemeyecek, çevreye etkilerinin kontrol edilebilecek şekilde yönetiminin sağlanması gereklidir. Örneğin atığın içindeki tepkimeler sonucu oluşacak tehlikeli gazların, uygun havalandırma tasarlanıp, inşa edilerek alınması sağlanmalıdır. Atık içinde oluşan zehirli ve toksik bileşenleri çok fazla olan sıvı oluşumu (çöp suyu sızıntısı) uygun drenaj ile toplanmalı, alttaki zemin tabakalarına yayılması kontrol edilmeli ve yer altı suyuna sızarak kirlenmesi engellenmeli, toplanabilen bu sıvıların mümkünse arıtıldıktan sonra uzaklaştırılması sağlanmalıdır [16].

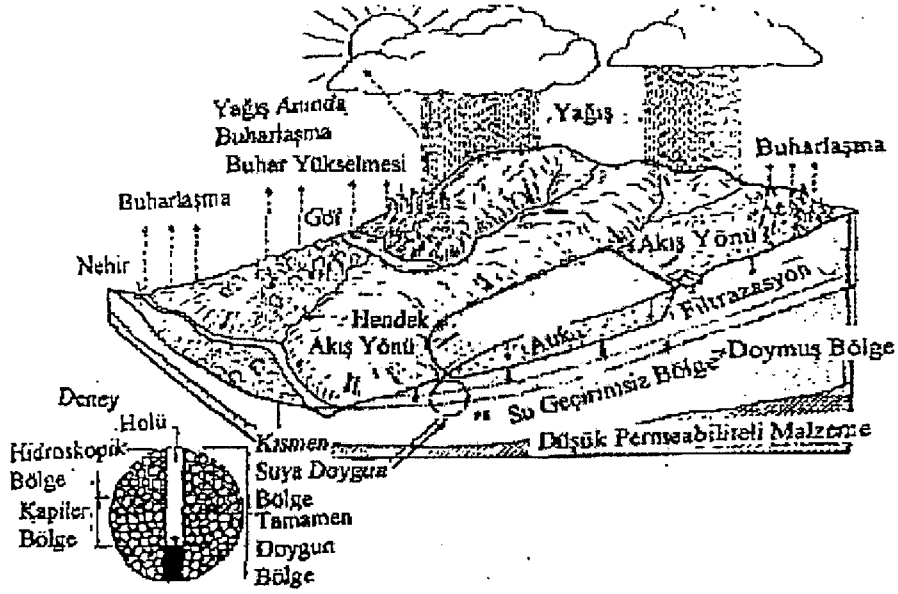
Zemin-çevre etkileşimi, zemin-su etkileşimi, zemin-kaya arası etkileşimler istenmeyen kirlilik etkilerini azaltma kapasitesine sahip olduğu halde, dağıtma, azaltma, emme vb. oluşan bu ekolojik denge olayı kendi kapasitesini aşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kirlenme döngüleri ve etkileşimi [16]

## 2.1. Suyu Doymun Tabaka Altındaki Katı Atık Reaksiyonu

Şekil 2.2’de katı atık alanından filtre edilerek çöp suyu aşağılara doğru ilerlemektedir. Bu sızıntı suyu doymun tabakaya ve yer altı su seviyesine ulaşmadan ilerlemesi gerekmektedir. Bu doymun durumdaki zeminin ana bölümleri, Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Hidrolojik çevrimde atık depolanması [16]

## 2.2. Kirlenmenin Geokimyasal Süreçler Yardımıyla Modellenmesi

Yer altı suyunu kirlenme riski olan kirlenmelerin, ortamdaki hareketlerinin açıklanabilmesi için bazı kirlenme mekanizması modelleri ileri sürülmüştür. Bunlardan birisi, basitleştirilmiş “geokimyasal süreç” kavramsal modelidir. Kirlenmenin yeraltında yayılırken zeminin diğer bileşenleri ile karşılaşmasıyla, akışında yavaşlama ve gecikmeler görülebilmektedir.

Akımın bu davranışı, diğer modellere göre daha basit ve kolay anlaşılabilir olan “geokimyasal süreç” modeli, Şekil 2.3’te resmedilmiştir.



Porozite ile bağlantılı olup, doygun olmayan akımların analizinde en az onun kadar yer tutan bir kavram da su muhtevasıdır. Zemin boşluklarını dolduran su hacminin tüm numune hacmine oranı su muhtevası olarak tanımlanmıştır.

Yer altı suyu hareketi mekanik bir süreç olarak yorumlanmaktadır. Mekanik enerjiyle hareket etmekte olan su molekülleri, malzeme matrisinin boşluklarında ilerlerken oluşan sürtünmeyle enerjilerini termal enerjiye dönüştürmektedir. Akışkanın birim kütlede sahip olduğu mekanik enerji “piyezometrik kot” olarak adlandırılmıştır. Yeryüzüne yağışla düşen su önce doygun olmayan ortamlara sızacak, zamanla buralardan süzülecektir. Süzülen bu sular doygun ortamlarla karşılaştıklarında, söz konusu havzanın su girdileri olarak bölgesel yer altı suyu akışına katılabileceklerdir [17].

Doygun olmayan ortamda hareket, emme kuvvetleri ve yerçekimi etkisinde oluşmaktadır. Su moleküllerinin birbirini çekmesi yani kohezyon ya da su moleküllerinin zemin danecikleri veya kaya yüzeyine çekilmesi ile oluşan adhezyon tipi emme kuvvetlerinin, bu hareketi sağladıkları ileri sürülmüştür. Bu faktörlerin tümüne kapiler kuvvetler denilmektedir. Kapiler kuvvetler, ortam kuru iken etkin olmaktadır. Ortamdaki su muhtevasındaki artışın sonrasında yerçekimi kuvvetleri, hareketi kontrol eder duruma gelmektedir. Doygun olmayan ortamdaki akım, su muhtevası ve basınç yüksekliğinin fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

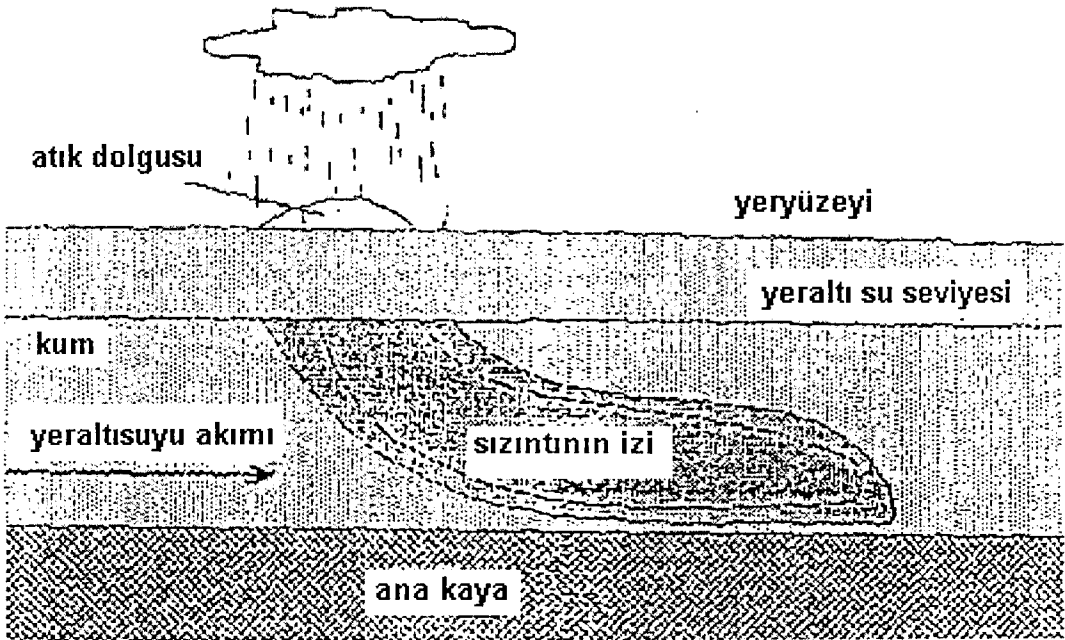
Doygun birimler içinde akış ise, yüksek enerji seviyeli bölgelerden, düşük enerji seviyeli bölgelere doğru bir akım söz konusu olmaktadır. Termal, elektriksel, kimyasal, enerji farkları ve yoğunluktaki farktan oluşan uçlar arası kararsızlıkların akımın oluşmasını sağladığı belirtilmektedir. Enerji farklarının oluşturduğu hidrolik eğim, akımın niteliğini kontrol eden bir faktör olarak tariflenmektedir.

Homojen ve izotrop koşullar, gerçek malzeme ve zemin koşullarını temsil etmemesine karşın, yer altı suyu problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Homojenlik ve izotropinin, yer altı suyu akımı problemlerinin çözümüne etkisinin, ölçeğe bağlı olacağına dikkat çekilmektedir.

Örneğin, alüvyonik bir vadi dolgusunda bulunan akiferin değişik noktalarında, farklı boyutlar için permeabilite 2-10 kat artabilmektedir. Bunun yanında rüzgar etkisiyle oluşmuş bir kum tabakasında ise homojen ve izotrop sayılabilecek bir ortam oluşabilmektedir.

Suyun toplanması, doymun olmayan zemin ortamının, permeabilitesine bağlı olarak ortalama topografik eğime, genel su muhtevası değerlerinin değişimi vb. koşullardaki değişimlerden etkilenebilmektedir. Genellikle kaba daneli malzemelerden oluşan havzalarda su toplanmasının daha hızlı gerçekleştiği izlenmiştir.

Mikro ölçekte bakıldığında kirletici ve su molekülleri, danecikler etrafında dolambaçlı bir akım yolu izlemektedir. Akım yönünde ilerledikçe kirletici etken yer altı suyu ile karışarak yayılmakta, bu durumda akıma kirleticinin katıldığı noktadan uzaklaştıkça akımın içerdiği kirletici bileşen konsantrasyonunda azalma izlenebilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Daneler arası akımın gerçekleştiği bir akiferin içindeki kirletici  
USEPA (1980).



Yer altı suyu akımının, atık sahaları altında nasıl oluştuğunu açıklayabilmek için akiferin çevresel jeolojik koşullarını ve su taşıyan tabakayı sınırlayan oluşumları çok iyi tanımlamalıdır. Hidrolojik yönden bir tabakalaşmanın sadece kaya veya zemin çeşidine göre “sınırlayıcı tabaka” olarak nitelendirilmemesi gerekmektedir.

Atıkların depolanmasında kullanılacak, sınırlanmış bir tabakayı tanımlarken birimlerin ayrıntılı hidrojeolojik özellikleri belirlenmelidir. Kısaca birimin katmanlaşarak oluşması sırasında ve sonrasında, geçirdiği jeolojik süreç iyi saptanmalıdır.

### 3. ÇÖP DEPOLAMA ALANLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

#### 3.1. Atık Çeşitleri Ve Özellikleri

Ülkemizde ve dünyada hızlı nüfus artışı, yaşam koşullarının iyileşmesi ve teknolojik gelişmelerdeki artış sebebiyle evsel ve endüstriyel kaynaklı katı atıkların çeşit ve miktarları artmıştır.

Üreticisi tarafından atılmak istenen ve düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken maddeler atıktır. Artan sanayileşmeden dolayı, atık oluşumunda hızlı bir artış görülmektedir. Atıklar oluşumun ana kaynağı olarak zararsız bileşenlerine ayrılabilirken, kimileri ise çok tehlikeli, zararlı bileşenler içerebilmekte ve ayrışmamaktadır. Genel olarak sanayileşmiş ülkelerde toplam atıkların %15-25'i tehlikeli olarak nitelendirilen atıklar grubunda yer almaktadır. Bu gruptaki atıklar insan sağlığı açısından açık ve doğrudan bir risk oluşturmaktadır.

Çizelge 3.1'de ABD'de ortalama yıllık tehlikesiz atık miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.1. ABD'de ortalama yıllık tehlikesiz atık miktarları [18]

Atık Tipi	Miktarı (x 10 <sup>6</sup> ton)	Tasfiye Yöntemi *							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Evsel	133	x	X	x	x				
Mutfak	0.1-0.001	x				x	x		
Kanalizasyon Çamuru	8.4	x	X	x				x	X
Su Temizleme Çamuru	0.21-0.83	x							
Atık Külü	2.3	x				x	x		
Tehlikesiz Endüstriyeler	430	x						x	X
İnşaat Molozları	31.5	x							
Madensel	1400							x	
Tarımsal (galon/gün)	1000							x	
Petrol ve Gaz (galon/gün)	6250							x	

\* 1. Karada tasfiye; 2. Denize deşarj; 3. Yüksek fırında yakma; 4. Kaynak ıslahı; 5. Kanalizasyonla tasfiye; 6. Septik tanklara depolama; 7. Yüzeysel biriktirme; 8. Yere(karaya) uyumlandırma.

Adı geçen grubun atıkları hastalık yapıcı organizmaları, zehirli malzemeleri barındırmaktadır. İçerdikleri itibarı ile kimyasal olarak ayrışmamak suretiyle zamanla tehlike riskini kaybetmeyen tehlikeli atıklar, esas geo-çevresel problemin kaynağını oluşturmaktadır [16].

Atıklar, üretim çıktısı oldukları yerin kaynağına bağlı olarak beş ana başlık altında toplanabilmektedir.

- I) Evsel Atıklar
- II) Endüstri Atıkları
- III) Maden Atıkları
- IV) Tarama Atıkları
- V) Tehlikeli Atıklar

Bir şehirdeki toplumda katı atık kaynakları genelde evsel, ticari, endüstriyel, yapı ve yapı molozları, fabrikalara ait atıklar ve tarımsal atıklardır. Çizelge 3.2’de bir şehirdeki katı atık kaynakları tesislere, meskenlere ve katı atık tiplerine göre guruplandırılarak verilmiştir.

Hiçbir amaca hizmet etmeyen, tüketen için bir değer taşımayan, gereksiz oldukları için atılan, evsel, ticari ve endüstriyel aktiviteler sonucu oluşan bu maddelere “katı atık” denir [19]. Katı atıkları öncelikle endüstri ve katı atıklar olarak iki bölümde incelemek mümkündür.

### **3.1.1. Katı atık kaynakları**

Katı atıkları kaynaklarına göre şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- Evsel atıklar
- Ticari atıklar
- Endüstriyel atıklar
- Yol ve park atıkları
- Hafriyat ve yıkım atıkları
- Atık su arıtma tesisi atıkları
- Zirai atıklar
- Diğer (hastahane vs.)

Çizelge 3.2. Bir şehirdeki katı atık kaynakları [16]

Kaynak	Tipik tesisler, aktiviteler veya meskenler	Katı Atık Tipleri
Evsel	Tek ve çok ailelerin oluşturduğu ikametgahlar, küçük, orta ve yüksek apartmanlar, vs.	Yiyecek atıkları, kağıt, mukavva, plastik, tekstil, deri, ağaç, cam, küçük kutular, alüminyum, diğer metaller, küller, cadde atıkları, özel atıklar (büyükçe maddeler, elektronik maddeler, elektronik eşyalar, beyaz eşyalar, yaygınca toplanan yard. Atıkları, piller, yağ ve tekerlekler), ev halkına ait zararlı atıklar
Ticari	Mağazalar, Restoranlar, Marketler, işhanları, oteller, moteller, kahve-haneler, servis istasyonları, otomobil tamir servisleri, vs.	Kağıt, mukavva, plastik ağaç, yiyecek atıkları, cam, metaller, özel atıklar, zararlı atıklar, vs.
Enstitüler	Okullar, hastaneler, hapishaneler, resmi daireler	Ticari merkezlerde olduğu gibi
Yapı ve yıkıntılar	Yeni yapı bölgeleri, yol onarımları/yenileme bölgeleri, yıkık binalar, asfalt parçaları	Ağaç, çelik, beton, toz toprak, vs.
Belediye servisleri	Caddelerin temizlenmesi, bahçe temizliği, parklar, sahiller, diğer yerleşim birimleri	Özel atıklar, çöp, sokak süprüntüleri, kır ve ağaç süprüntüleri, vadi molozu, parklar, sahiller ve yeni oluşum bölgelerinden toplanan genel atıklar
İşletilen fabrika bölgeleri, belediye firmaları	Su, atıksu ve endüstriyel işleme yöntemleri vs.	Başlıca tortu çamurdan oluşmuş işletilen fabrika atıkları
Belediye katı atığı	Yukarıdakilerin hepsi	Yukarıdakilerin hepsi
Endüstriyel	Yapı, fabrika, hafif ve ağır imalathaneler, rafineler, kimyasal fabrikalar, elektrik santralleri, yıkıntılar, vs.	Endüstriyel atıklar, artık materyaller, vs., Endüstriyel olmayan atıklar (yiyecek atıkları, çöp, kül, yıkıntı ve yapı atıkları, özel atıklar, zararlı atıklar)
Tarımsal	Tarla veya kaba bitkiler veya pancarlar, bağlar, meralar	Bozulmuş yiyecek atıkları, tarımsal atıklar, çöp, zararlı atıklar

### 3.1.2. Katı atık türleri

Katı atıklar genelde özelliklerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

**Organik atıklar:**Bozulabilen bu atıklar hoş olmayan kokular meydana getirebilir.

En önemli örnek yemek atıklarıdır. Özgül ağırlıkları, 500-900 kg/ m<sup>3</sup>

**Organiklerin haricindeki atıklar :** Kül haricinde, bozuşamayan tüm atıklar, özgül ağırlıkları 60-400 kg/ m<sup>3</sup> arasında değişebilen bu atıklar;

- a) yanan – kağıt, plastik, tekstil, odun, lastik vs.
- b) yanmayan – cam, teneke vs.

olmak üzere ikiye ayrılırlar.

**Küller :** Yanma sonucunda kalan malzeme, özgül ağırlıkları 700-850 kg/ m<sup>3</sup> olan bu atıklar tehlikeli atık yanmasından kaynaklanmadığı taktirde çevresel açıdan hiçbir sorun teşkil etmez ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Tehlikeli atıkların yanmasından kaynaklanıyorsa özel tedbirlerle uzaklaştırılmalı.

**Atık su arıtma tesisi atıkları :** Atık su arıtma tesislerinin ızgaralarında, kum tutucularında ve çökeltme tanklarında biriken atıklar. Atılan su özelliklerine ve arıtma prosesine bağlı olarak tehlikeli atık olabilir.

**Özel atıklar :** Spesifik olmayan dağınık kaynaklardan kaynaklanan yol süprüntüsü, ölü hayvanlar, terkedilmiş vasıtalar vs'dir.

**Tehlikeli atıklar :** Bulaşıcı hastalıklara neden olabilen, parlayabilen, patlayabilen, okside olabilen, toksik, korrosif ve benzeri özelliklere sahip olan atıklardır [20].

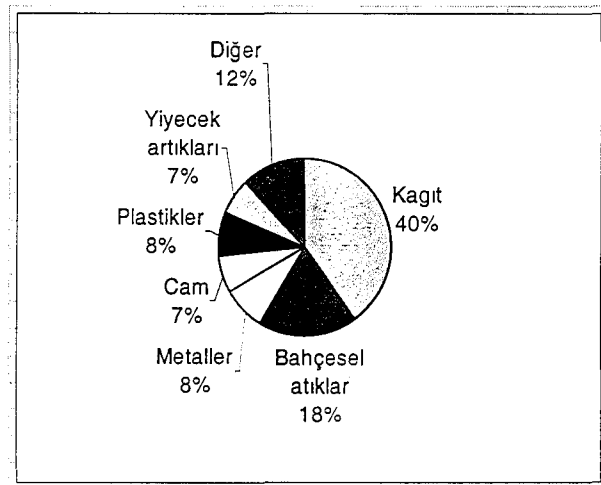
#### 3.1.2.1 Evsel atıklar

Bu atıklar ticari malların şehirlerde, özellikle evlerde ve benzer yerlerde tüketilmesiyle oluşan atıklardır. MSW (Municipal Solid Waste) harfleri ile sembolize edilmektedir. Heterojen karışımlar halinde bulunurlar.

Tipik olarak bir evsel atık kümesi, yiyecek artıkları, kağıt ve plastik ambalajlar, plastik, lastik, tekstil ürünleri, ahşap talaşı ve yongaları, küller, bahçesel artıklardan oluşmaktadır. Şekil 3.1’de tipik bir evsel atık kümesinin yüzde olarak dağılımı verilmiştir.

Evsel atıkların katı kısmı karaya depo edilerek ortadan kaldırılmaktadır. Depo yapılacak alanların yetersizliği durumunda ise atıklar yüksek fırınlarda kurutulmakta ve yakılmaktadır.

Yapılan araştırmalar (ülkelerin tüketim alışkanlıkları göz önüne alınarak) kişi başına ortalama günlük üretilen evsel atık miktarının 1500 gr. olduğunu göstermektedir. Bu atıkların uygun tekniklerle depolanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra hacim ve ağırlık olarak daha büyük ölçekte olan ağaç kütükleri, otomobil karoserleri, makine parçaları, buzdolapları, vb. gibi hurda olarak adlandırılan atıklarda üretilmektedir. Bu atıklar kısa zamanda tekrar kullanılmak üzere toplanmaktadır.



Şekil 3.1. Tipik bir evsel atık kümesi [21]

Evsel atıklar çeşitli sıklıklarda ayrılıp, incelenerek, içerdikleri malzeme ve malzemelerin içeriklerinin dağılımı saptanmaktadır. Ekonomik zorlanmaların ve yoksulluğun baş gösterdiği ülkelerde kağıt, karton ve hurda metal atıkları oldukça az görülmektedir. Çünkü bu atıklar hızla tekrar kullanım çevrimine girmektedir.

Koşullarında düzelme olan ve refah seviyesinde yükselme görülen ülkelerde, yukarıda anlatılan tip atıkların oranlarında bir artış izlenmektedir.

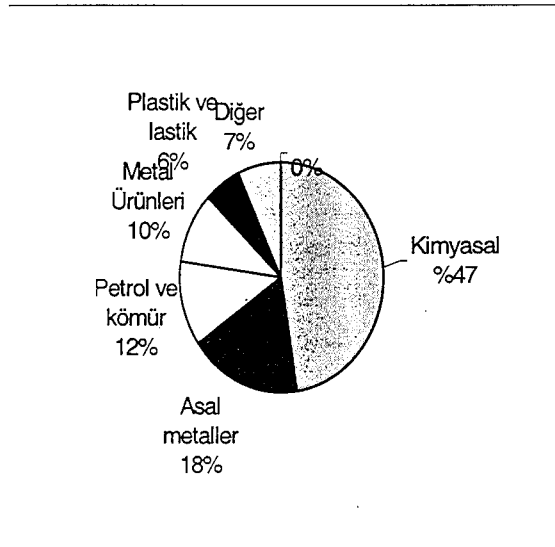
Termal yol ile bu atıkların parçalanması, yakılması ve atıkların hacim ve ağırlıklarında azalma sağlanması son yıllarda uygulanan metotlardandır. Bu yolla çöp kümeleri üzerinde ciddi bir hacim küçülmesine gidilebilmektedir.

Evsel atığın kompozisyonu, nem durumu, kısaca yakılabilecek durumda olup olmadığı incelenmeli ve yakma için gerekli enerji miktarı belirlenmeli, termal yöntemin uygun olup olmadığına bakılmalıdır. Çoğu zaman bu yöntemin uygulanması (yüksek nem içeriğinden dolayı) aşırı maliyetli olmakta ve ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır.

Termal yol ile yüksek fırınlarda atıkların yakılması sonucu elde edilen uçucu ve çökmüş kiler inşaat mühendisliğinde stabilizasyon amaçlı kullanılabilir. Yapılan kimyasal analizlerde, küller içerisinde zerrecikler halinde poliklorin bifeniller (PCF), metaller, diyoksinler, polivinil kloridler (PVC) ve diğer toksik bileşiklere rastlanmıştır. Bu bileşikler yüksek kimyasal adsorpsiyon yeteneğine sahiptirler [22].

### 3.1.2.2 Endüstriyel atıklar

Endüstriyel atıklar sanayi faaliyetleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Kimya, gıda, petrol, plastik, kağıt, kauçuk, reçine, ahşap, kereste, ilaç vb., endüstrilerin atıkları bu grubu oluştururlar. Şekil 3.2'de endüstriyel atıklara ait oranlar verilmiştir.



Şekil 3.2. Endüstriyel atık kümesi [23]

Üretilen toplam yıllık endüstriyel atığın en az %15'i tehlikeli atık sınıfındadır. Hızlı teknolojik gelişimin bir etkisi olarak endüstriyel atıklar içerisindeki tehlikeli atık oranı giderek artmaktadır.

### 3.1.2.3 Kağıt sanayi atıkları

Kağıt sanayinin atık çamurları, ağaç kabuklarının parçacıkları, lifler, lif parçaları, talk, silt ve kilden oluşmaktadır. Bu dengesiz karışım, lifli organik bileşenler ve yüksek başlangıç su muhtevası içermesi sebebi ile uygulanacak yükler altında yüksek oturma değerlerine sahip olabilmektedir.

### 3.1.2.4 Baca gazı atıkları

Toz taneciklerinin boyutları 1-100 µm arası değişmektedir. Çizelge 3.3'de endüstriyel baca gazlarındaki danecikler ve boyutları gösterilmektedir. Toz zerrecikleri aynı kayalarda olduğu gibi metaloksitten oluşmaktadır.

Çizelge 3.3. Endüstriyel baca gazlarındaki danecikler ve boyutları [23]

Malzemenin Tipi	Danecik Boyutu (µm)
Siyah Karbon	0.01-0.2
Çinko Oksit Dumanı	0.01-0.3
Metalurjik Buhar	0.01-2.5
Petrol Dumanı	0.03-1.0
Metalurjik Toz	0.7-100
Pulverize Uçucu Kömür Külü	1-100
Çimento Tozu	6-200
Pulverize Kömür	10-200
Doğal Kireçtaşı	20-800

Baca gazının içerdiği parçacıklar, maden cevherinin işlenmesi, çimento üretimi, kurşunu ergitme, termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi sırasında, kömürün yakılması vb. diğer faaliyetlerden oluşan uçucu külden oluşmaktadır.



Parçacıkların gazdan süzülmesi mekanik ayırıcılar, özel filtre kollektörler, elektrostatik hızlandırıcılar veya ıslak fırçalarla yapılabilir. Kullanılacak düzeneğin seçiminin gazın oluşmasına sebep olan sürece bağlı olarak yapılması gerekmektedir.

Mekanik ayırıcılar yüksek gaz akışı için etkili olurken, özel filtre kollektörler kurşunu eritme işleminde oluşan çinko asidi dumanını toplamada yararlıdır, elektrostatik hızlandırıcılar ve ıslak fırçalar uçucu küle karşı kullanımı yaygın aletlerdir.

### **3.1.2.5 Maden atıkları**

Metaller, yakıtlar, kimyasallar, killer vb. diğer madenlerin çıkartılması işlemleri sırasında oluşan atıklar maden atıklarıdır. Bu atıkların düzenli biriktirilmemesi ve kontrol altına alınmaması durumunda zemin, hava ve su kirlenmesi sonucu riskli durumlar ortaya çıkabilmektedir.

Maden ocağının işletilmesi sırasında cevher içeren kayalar yada tabakalar, basınçlı, hidro mekanik vb. yöntemlerle parçalanmaktadır. Ardından iki ana grup olarak boyutlarına ayrılarak madenin alınması işlemi yürütülmektedir. Atıklar ayrılmadan, malzeme kendi içinde boyutlarına göre kaba daneli malzemeler ve ince daneli malzemeler olarak ayrılırlar. Kalan kumlu malzemeye çökel katı-atık, diğer suda yüzer halde olan kısma ise atık-balçık denmektedir.

Madensel katı atıklar ve iri daneli maden atıkları eğer tehlikeli bileşenler içermiyorsa inşaat amaçlı beton dökümünde agrega yada dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler.

### **3.1.2.6 Kül ve kömür atıklar**

Gelişen maden teknolojisi sebebi ile fosil bir yakıt olan kömüre ilgi artmıştır. Bu nedenle, düşük verimli damarlar işletmeye alınmıştır. Yeni işletmelerin çalışmaya başlamasının ardından eskiye oranla çok daha fazla yan ürün, moloz kısaca depolanma ihtiyacı olan artıklar ortaya çıkmaktadır.

Özellikle verimsiz ve yoğun olmayan damarların da işletilmesi sırasında jeolojik örtüye bağlı olarak, çok miktarda silttaşı, kumtaşı, kiltası, şeyl, çamurtaşı ve kil açığa çıkmaktadır. Damarlardan maden açığa çıkarılırken ve maden kayası parçalarının kopartılması sırasında kaba daneli sayılabilecek (76 mm.), işleme ve parçalama yongası biçiminde atık zerrecikleri oluşmaktadır.

İnce daneli malzemelerin özgül ağırlığı  $G_s$ , kaba boyutlu atıklardakinden daha azdır. Eğer kaba ve ince boyutlu atıklar, karıştırılırlarsa oldukça dengesiz bir malzeme ile karşılaşılabilir. Karışımın depolanacağı biriktirme hendeği için büyükçe alanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Açık işletilen kömür madenlerinde, yukarıda sözü edilen atık sorunlarının yanı sıra, maden damarlarının olduğu derinliğe kadar inebilmek için üstteki jeolojik örtünün kaldırılması gerekmektedir. Oluşacak yüksek kütleli malzemenin tasfiyesi ve dolayısıyla bu zararsız atıkların yönetilmesi mali problemler oluşturmaktadır.

Termik santrallerde yakılan kömürün %12-15'lik kısmı uçucu kül veya çökmiş kül şeklinde artmaktadır. Düşük bitümlü ve linyit kömürünün yakılmasıyla oluşan uçucu küle "C sınıfı" kül denmektedir. C sınıfı küller kireç tozu içerdikleri için, çimentolanma özelliğine sahip olmaktadır. Bitümlü kömürü ve antrasit yakılmasıyla "F sınıfı" kül oluşmaktadır [22].

Eskiden bu tip uçucu küller tozlaşmayı engellemek için ısıtıldıktan sonra bulamaç haline getirilerek açık suni göllerde depolanmaktaydı. Son yıllarda artan çevresel duyarlılık ve çevre etki değerlendirmelerinin verileri ışığında bu yöntem terk edilmiştir.

Geliştirilen yeni yöntem ise öncelikle kuru tarafta kalacak şekilde, uçucu kül tipi atıkların su muhtevalarını kontrol altında tutulmasını öngörmektedir. Bu tür yapıların, belli enerji altında kompaksiyonla sıkıştırılarak depolanması önerilmektedir. Bir diğer alternatif ise konsolidasyona terk edip, oturmasının sağlanması yolu ile atığın tasfiyesinin sağlanmasıdır. Uçucu külün mühendislik özellikleri içerdiği serbest (aktif) kireç ve yanmamış karbon tarafından kontrol edilmektedir.

Maden işletmelerinin çalıştırılmaları için gerekli enerji çoğu kez çıkardıkları kömürün bir kısmının yakılması ile giderilmektedir. Böyle tesislerde oluşan atıklardan uygun olan bazıları, kömürle karıştırılıp tekrar yakılabilmektedir. Oluşan atığın hacmi böylece azaltılmaya çalışılmaktadır.

### **3.1.2.7 Fosfatik atıklar**

Kimyasal gübrelere katkı yapmak amacı ile fosfat kayaları çıkarılarak işlenmektedir. Fosfat cevherinin üçte ikilik kısmı kum ve kilden oluşmaktadır. Oluşumdaki kum ve kilin oranının hemen hemen eşit olduğu saptanmıştır. Kum boyutundaki madensel katı-atıklar kolayca ayrılarak stabilize edilmektedirler. Fakat oldukça fazla hacim işgal eden kil süspansiyonunun uygun biçimde depolanarak tasfiyesi gerekmektedir. Kil minerallerinin yüzeysel alanlarının geniş olması, çok su tutmalarını ve süspansiyon biçimlerini korumayı sürdürmelerine sebep olmaktadır. Suyun, kararlı süspansiyonun bünyesinden çekilememesi, kilin stabilizasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu süspansiyonlar, 3.0-15.0 m derinlikteki hendeklere pompalanmaktadır. Hendeklerdeki süspansiyonun içeriğinde bulunan, %2-6 katı parçacığın sedimantasyon yapması beklenir.

Serbest çökeltme yardımıyla birkaç hafta içinde süspansiyondaki katı madde içeriği %10'lar seviyesine çıkmaktadır. On ile yüz gün içinde kendi ağırlığı altında hacim küçülmesinin ve oturmanın tamamlandığı gözlenmiştir.

### **3.1.2.8 Tarama atıkları**

Tarama malzemesi bir çeşit dip çökeli veya malzemesi olup, ticari amaçlı deniz veya akarsu taşımacılığı yapılan su yollarının, yataklarının taranması veya temizlenmesi ile ortaya çıkmaktadır. Tarama malzemesi kaya, çakıl, kum, silt, kil gibi doğal çökellerden oluşmaktadır. Bu bileşenler çoğunlukla kara kaynaklı faktörler tarafından kirletilmektedirler. Tarama sonucu yoğun kirlenmeye uğramış bulamaçlar yada balçıklar çıkartılmaktadır.

Tarama atıklarının karada depolanması yeni bir gelişmedir. Kirilenmiş bileşenler veya kirleticinin bulanıklığa yol açmadan, ekonomik bir biçimde temizlenememesi, atıkların kütleli olarak tarama yolu ile alınıp karada depolanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dipten taranmış malzemenin %20'si karadaki dolgularda depolanır. Bulamaçlar, bentlere yerleştirilip, hidrolik olarak dolgular oluşturulmak sureti ile tasfiye edilmektedir.

Taramanın sonucu ortaya çıkan bulamaç kıvamlı malzemenin su muhtevası %200 ile %300 civarında olmaktadır.

Tarama atıklarıyla oluşturulmuş dolguların matriksi çok uyumlu, homojen dağılımlardan oldukça ayrılmış, homojen olmayan dokulanmalara uzanan bir çeşitlilik gösterebilmektedir. Taramadan çıkan ince daneli malzeme, yani silt ve kilin yüksek kompresibilite ve düşük kaya mukavemeti özellikleri sebebi ile iyi bir dolgu malzemesi olamayacağı tespit edilmiştir.

### **3.1.2.9 Tehlikeli atıklar**

Tehlikeli atıklar genellikle sıvı fazda olurlar ve çoğunlukla endüstriyel üretim faaliyetleri sırasında ya da sonucunda oluşurlar. Çeşitli endüstrilerde üretim faaliyetleri sonucu oluşan tehlikeli atıklar Çizelge 3.4 'de gösterilmiştir.

ABD'de tehlikeli atıkların %90'ının endüstriyel atıklardan oluştuğu saptanmıştır.

Tehlikeli sıvı atıklar dört tipte toplanabilirler. Tip 1, sulu çözeltileri içermektedir. Çözelti içinde genellikle anorganik madde bulunmaktadır. Örneğin metal kaplama sanayiinde kullanılan kadmiyum, siyanid ve metal atıklar Tip 1 sınıfında yer almaktadır.

Tehlikeli atıkların depolanmasında özel önlemler alınmalıdır. Depo tabanındaki sızıntı suları sebebiyle çevreye yayılabilecek zararlı bileşenler bu atık sınıfında özel bir önem taşımaktadır.

Tehlikeli atıklar için tasarlanan deponi alanları taban kaplamaları özel birtakım şartları yerine getirmelidir.

Çizelge 3.4. Çeşitli endüstrilerin üretiminde ortaya çıkan tehlikeli atıklar [24]

ENDÜSTRİ	As	Cd	CH	Cr	Cu	CN	Pb	Hg	Mo	Se	Zn
Pil ve Akü		x		x	x						X
Kimyasal Üretim			X	x	x			X	x		
Elektrik-Elektronik			X		x	x	x	X		x	
Metal Kaplama		x		x	x	x					X
Patlayıcı	x				x		x	X	x		
Deri				x					x		
Metalurji-Maden	x	x		x	x	x	x	x		x	X
Boya		x		x	x	x	x	x	x	x	
Pestisit	x		X			x	x	x	x		X
Petrol-Kömür	x		X				x				
İlaç	x							x	x		
Matbaacılık	x			x	x		x		x	x	
Kağıt-Selüloz								x	x		
Tekstil				x	x				x		

Karbon bileşenli organiklerin çözeltileri Tip 2'yi oluşturmaktadır. Pestisid endüstrisinin atıkları Tip 2 kapsamındadır. Tip 3'te atıkların hem çözen hem de çözülen kısmı organikdir.

Petrol bazlı boyalar ve motor yağları Tip 3'e örnek gösterilmektedir. Suyu arıtma, sudan arındırma, filtrasyon, temizleme işlevli bulamaç kıvamlı atıklar Tip 4 içinde yer almaktadır. Petrol kuyularında ve rafinerilerinde kullanılan çamurlar ve bulamaçlarda Tip 4 sınıfı tehlikeli atıklardır.

### 3.1.3. Ülkemizde Katı Atık Kompozisyonu

Ülkemizde Devlet İstatistik Enstitüsü'nün sistematik bir çalışması sonucunda evsel katı atık miktarı hakkında nispeten güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 3.5'de, Türkiye'deki Büyükşehir Belediyeleri'nde üretilen kişi başına evsel katı atık miktarı, Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7'de ise atıkların yaz ve kış karakterizasyonu verilmektedir.

Bu verilere göre, Türkiye’de kişi başına düşen ortalama çöp miktarı yazın 605 gr/gün ve kışın 506 gr/gün olarak hesaplanabilmektedir. Ülkemizde yaz aylarında kışa nazaran %20 daha fazla çöp üretilmektedir.

Çizelge 3.5. Büyükşehir Belediye’lerinde yaz ve kış aylarında ortalama katı atık miktarı (DİE 1993)

İL	Yaz Aylarında Katı Atık Miktarı gr/gün-kişi	Kış Aylarında Katı Atık Miktarı gr/gün-kişi
Adana	865	473
Ankara	615	635
Bursa	613	793
Diyarbakır	365	250
Gaziantep	221	175
İskenderun	597	443
İstanbul	554	514
İzmir	724	484
Kayseri	752	374
Konya	683	539

Çizelge 3.6. Yaz dönemi evsel atık karakterizasyonu (DİE 1993)

İL	Yaş Evsel Atık (%)	Kül, Cüruf, vs. (%)	Geri Kazanılabılır (%)
Adana	75.42	1.66	22.91
Ankara	80.50	2.74	16.77
Bursa	77.16	3.33	19.51
Diyarbakır	85.99	4.34	9.64
Gaziantep	83.30	0.17	16.53
İskenderun	78.86	0.19	20.94
İstanbul	80.53	1.29	18.18
İzmir	84.01	1.13	14.86
Kayseri	76.87	11.61	11.52
Konya	76.84	14.73	8.42
Samsun	87.79	1.68	15.00

Çizelge 3.7. Kış dönemi evsel katı atık karakterizasyonu (DİE 1993)

İL	Yaş Evsel Atık (%)	Kül, Cüruf, vs. (%)	Geri Kazanılabılır (%)
Adana	70.12	16.95	12.93
Ankara	46.29	49.46	4.25
Bursa	33.74	57.96	8.3
Diyarbakır	46.56	47.88	5.56
Gaziantep	39.71	48.91	11.38
İskenderun	71.75	12.68	15.57
İstanbul	43.59	47.64	8.77
İzmir	51.85	37.31	10.84
Kayseri	49.26	47.00	3.74
Konya	37.53	58.16	4.31
Samsun	63.04	27.76	9.20

### 3.2. Çöp Depolama Alanları

Kullanılmayan ve istenmeyen atıkların en son depolandıkları yerlere atık dolguları ya da daha güncel adıyla -katı atık depolama tesisi- denmektedir. Atıklar önceleri doğal topografyası uygun olan sahalara kontrolsüz ve açık şekilde boşaltılmaktaydı. II. Dünya savaşının ardından “sıhhi atık depolama” uygulamalarının ilk örnekleri verilmeye başlanılmıştır. Böyle bir saha kalınlıkları 5.00 m.’ yi bulan atık depolama hücrelerinden oluşmaktaydı. Her bir hücre, atıkların düzgünce depolanması sonrasında 150/300 mm. lik örtü tabakasıyla kapatılmaktaydı. Günümüzde özel tasarımı şilte tabakaları ve suni köpüklerle tecritin gerçekleştirildiği görülmektedir.

Depolama, katı atıklar için mevcut teknolojik koşullarda, büyük veya küçük, çeşitli ölçeklerde yapılması ve işletilmesi kaçınılmaz olan bir adımdır.

Ancak burada önemli olan depolamanın ne şekilde yapılacağıdır; depolama için:

- Düzenli depolama
- Düzensiz (vahşi) depolama,

tanımları yapılmaktadır. Düzensiz depolama, çöplerin gelişigüzel toprağa atılması demektir ve gerek mühendislik açısından gerekse modern yaşamın bir bileşeni olarak kabul edilemeyecek bir uygulamadır.

Düzenli depolamadan kasıt ise, katı atıkların depolanmasından kaynaklanan sızıntı sularının toprak katmanları arasından geçip yer altı veya yüzeysel sulara karışmasının önlenmesi, çıkan gazın toplanıp bertaraf edildiği, katı atıkların çevreye en az olumsuz etki yapacak şekilde serilip sıkıştırılıp her gün üstünün örtüldüğü, mühendislik temel ilkelerine göre planlanıp inşa edilen, bir plan program dahilinde işletilen sahalardır.

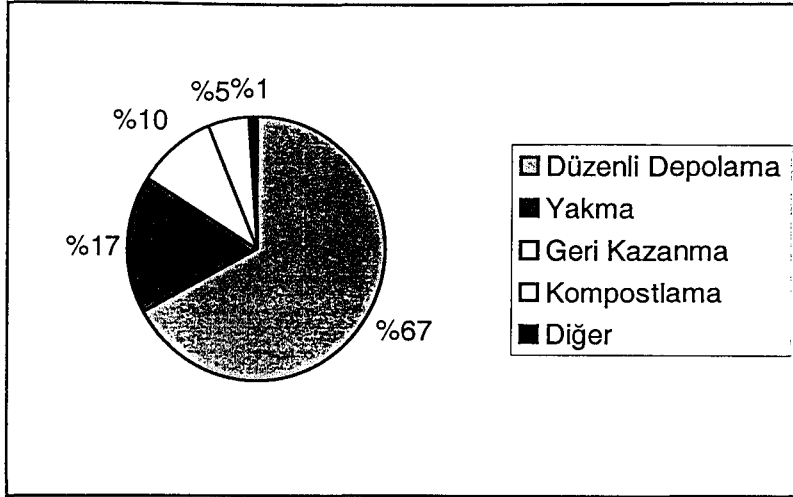
Katı atık depolama tesislerinin yapım amacı, dizayn eden mühendis tarafından yeterli ve sağlıklı bir depolamayı uygun bir maliyetle gerçekleştirebilmektir. Ayrıca katı atık depolama tesisinin varlığından dolayı doğabilecek olumsuz etkiler asgariye indirilmeli ve çevreye olan etki minimize edilebilmelidir.

Katı atıkların uzaklaştırılmasında, halihazırda kullanılan başlıca metodlar arasında düzenli depolama, kompostlama, yakma (insinerasyon), piroliz ve biyogaz üretimi sayılabilir. Katı atıkların bertarafında yöntem belirlerken aşağıdaki ana unsurlara dikkat edilmelidir.

- Halkın bedeni ve ruh sağlığını olumsuz etkilememeli,
- Yerüstü ve yer altı suları ile toprak kirlenmemeli,
- Flora ve fauna olumsuz etkilenmemeli,
- Hava kirlenmemeli,
- Çevreye estetik açıdan zarar vermemelidir.

Avrupa Birliği (AB) genelinde, 1995 yılında kullanılan katı atık bertaraf yöntemlerinin dağılımı Şekil 3.3'de verilmiştir.





Şekil 3.3. AB’de 1995 yılında kullanılan katı atık bertaraf yöntemleri [20]

İlk uygulamalarının İngiltere’de 1930’larda, ABD’de 1940’larda yapıldığı düzenli depolama yöntemi hala önemini korusa da, insinerasyon ve yeni gelişen teknolojilerin kullanım oranı da her geçen gün artmaktadır.

Katı atık depolama tesislerinin içinde “çöp suyu sızıntısı” oluşup, oluşamayacağı katı atık depolama üniteleri için en sık akla gelen sorulardan biridir. Tesisin içinde, çöp suyu sızıntısının oluşum mekanizmasının iyi bilinmesi gerekmektedir.

Tesisten sızıntı oluşumu, ani boşalmalar sebebi ile olabileceği gibi beklenen bir yayılmanın uzantısı olarak da ortaya çıkabilmektedir. Bu tür yayılmaları engellemek ve tesisi tecrit edebilmek için atık deponi alanı alt tabaka kaplamaları (geçirimsizlik sağlayabilecek engel tabakaları) kullanılabilir. Bu tabakalardan %100 geçirimsizlik beklemek mümkün değildir.

Katı atıkların çevreye zarar vermeden arazide depolanmasında istenen verimin sağlanabilmesi için aşağıdaki işlem sırasının doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

- İhtiyaç duyulan depolama için gerekli alan ve hacmin hesaplanması
- Düzenli depolamanın yapılacağı yerin seçimi
- Depolama esnasında uygulanacak boşaltma ve örtme yöntemlerinin seçimi
- Oluşan gazların toplanması ve uzaklaştırılması
- Oluşan sızıntı suyunun toplanması ve zararsız hale getirilmesi

- Depolama sonucu elde edilebilecek enerji ve malzeme geri kazanma olanaklarının araştırılması
- Depolama alanının dolumunu (kapanması) takiben bu alanın hangi amaç (lar) için kullanılacağı belirlenmesi
- Depolama alanı civarında mevcut yüzeysel ve yer altı sularının işletme öncesi, işletme süresi ve işletme sonrası kalitesinin ölçümünü sağlayan gözlem ağının planlanması

### 3.3. Katı Atık Depolama Alanları Seçimi Kriterleri

Depo yerlerinin belirlenmesinde üzerinde çalışılması gerekli ana koşullar:

1. Ulaşım ve meskun mahal durumu,
2. Meteorolojik durum,
3. Jeomorfolojik durum,
4. Jeolojik ve hidrojeolojik durum,
5. Jeoteknik inceleme,

olarak sıralanabilir [25].

Bu aşamada etkin olan faktörler ise aşağıda özetlenmektedir:

- Düzenli depolama zemini, mümkün mertebe sızdırmaz özellikte olmalıdır.
- Düzenli depolama yeri sahasında yer altı suyu seviyesi derinde, yüzeysel su kaynakları uzakta olmalıdır.
- Düzenli depolama yerinin ulaşımı uygun ve kolay olmalıdır. Bir başka deyişle çöp taşıma mesafesi ekonomik uzaklıkta olmalıdır.
- Düzenli depolama yeri meskun bölgelerden uzakta olmalıdır. (en az 1000 m.)
- Düzenli depolama yeri taşkın, heyelan, çığ ve erozyon risklerinin bulunduğu bölgelerde olmamalıdır.
- Düzenli depolama yeri seçiminde kuşların hava trafiğini engelleyip engellemediği göz önüne alınmalıdır.
- Düzenli depolama yapılacak yerde veya yakınında yeterince örtü malzemesi bulunmalıdır.

Deponi sahasının işletmesi esnasında depo üzerine düşen yağışlardan ve/veya katı atığın kendi bünyesinde oluşabilecek yer altı ve yüzey sularını kirletmesine engel olmak için özellikle sızıntı suyunun miktarını azaltmak, bu suyun zemine sızmasını önleyerek drene etmek ve toplanan suları arıtmak gerekmektedir. Ayrıca uygun zemin koşulları oluşturulan depo tabanı özel bir izolasyon tasarımıyla inşa edilmektedir [8].

### 3.4. Yer Seçiminde Son İdari Aşama : Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED)

ÇED, bir gelişme programı veya projesi için ortaya konabilecek çeşitli seçenekler arasında kıyaslama ve seçim yapmak için uygulanan bir yaklaşımdır. Gerek ülkemizde gerekse birçok ülkede, düzenli çöp depolamasının nerede yapılacağı ile ilgili son nokta bu durumun bir ÇED raporuyla onaylanmasıdır. Bu raporda çöp depolamayla ilgili her türlü sosyal, teknik, ekonomik vb. bileşenler, koşullar ve kısıtlar ele alınarak ; ve çeşitli yer seçenekleri irdelenerek bir sonuca varılır ve bu sonuç bir onay işleminden geçer [20].

Depolama alanlarının çevresel etkileri kapsamında depolama tesisi inşası, işletimi ve kapanma sonrası aşamaları esnasında aşağıdaki noktalar değerlendirilebilir:

- Toprak kompozisyonu
- Toprak stabilitesi, geçirgenlik ve su tutma kapasitesi
- Yüzeysel suların niceliği ve niteliği (miktar ve kalite)
- Yeraltısu kaynaklarının niceliği ve niteliği (miktar ve kalite)
- Hidrojeolojik koşullarda ve su kaynakları yönetiminde meydana gelebilecek değişiklikler
- Kirleticilerin hareketleri
- Oluşan depo gazı miktar ve kompozisyonu
- Normal koşullarda ve acil durumlarda atmosfere gidebilecek metan gazı miktarı
- Hakim iklim koşulları, rüzgar hızı ve yönüne göre emisyonların yayılma büyüklüğü
- Mevcut hava kalitesindeki değişimler

- Her türlü atık toplama, taşıma ve tesisin inşası (ve işletmesi) sırasında gerçekleştirilen sıkıştırma ve örtme faaliyetlerinden oluşan gürültü
- Sağlık etkileri
- Sosyal çevre ve güvenlik

### **3.5. Çöplerin Depolanmasında Uygulanan Yöntemler**

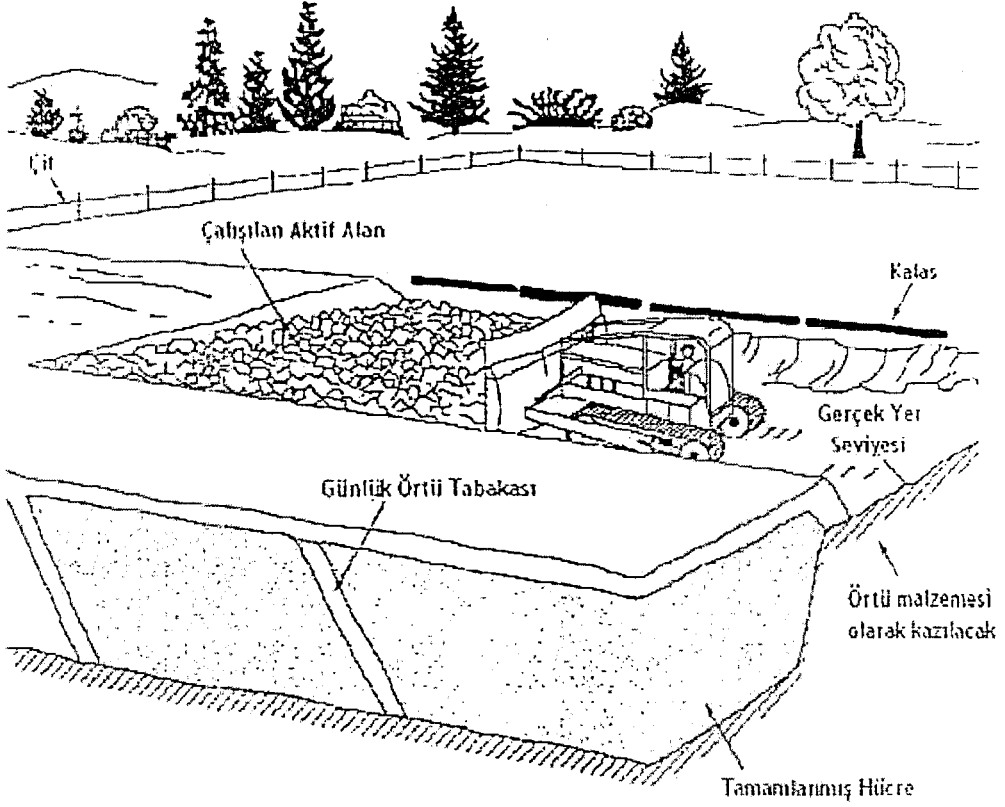
Düzenli depolama yapılacak bölgedeki mevcut alan ve hacmi en etkin şekilde kullanmak için katı atıkların depolama alanına yerleştirilmesi ile ilgili çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu metotlar depolama alanındaki topografya koşulları (eğim, tümsek veya çukurların mevcudiyeti) zemin özellikleri, civardaki malzeme (çöpün üzerine örtmek için kullanılan toprak) ocaklarının kapasitesi, ocaklardaki malzemenin karakteristiği, ocakların depolama alanına olan mesafeleri, depolamada kullanılacak ekipmanlar ve depo sahasının seçilen işletme özelliklerine göre farklılık gösterir.

Burada temel prensip, ayrılan alanın etkin bir şekilde, uzun süre kullanımı için çöpleri bir işletme planı dahilinde düzenli bir şekilde yerleştirip, sıkıştırması ve üzerinin örtülmesidir. Bu farklı yöntemler içinde sık uygulananları aşağıdaki gibidir.

#### **3.5.1. Hendek yöntemi**

Hendek içine serilen çöp tabakalarının kalınlığı 1 m.'yi geçmemeli ve üzeri 15 cm toprakla örtülmelidir. İşletme sırasında birkaç hendeğin aynı anda açılarak farklı çöp özelliklerine göre farklı hendeklerin kullanımı önerilmektedir.

Şekil 3.4'de bu yöntem şematik olarak gösterilmiştir.



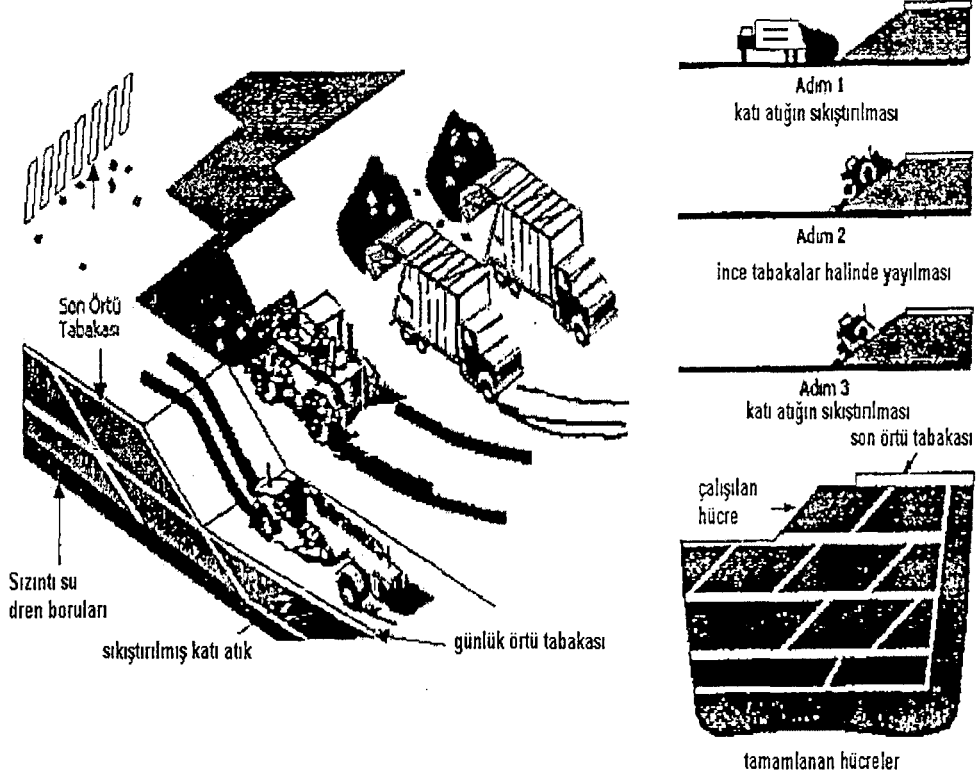
Şekil 3.4. Hendek yönteminin şematik gösterimi [20]

### 3.5.2. Alan yöntemi

Depolama için kullanılması planlanan arazinin hendek kazımı için uygun olmadığı durumlarda kullanılır. Bir başka deyişle bu yöntemde çöp arazinin üzerine yayılır. Bu nedenle arazi üzerinde kalan çöp yığınının aktif tarafı (yüzü) çöplerin uçmasını en aza indirecek şekilde olmalıdır.

Bu özellik, yükseklik ve uzunlukların düşük tutulması ve rüzgarın hakim esme yönünün dikkate alınmasıyla sağlanabilir. Şekil 3.5’de bu yöntem şematik olarak gösterilmiştir.

İşletme sırasında, kamyonlardan boşaltılan çöpler arazi üzerinde dar şeritler halinde serilir; şeritlerin yükseklikleri (kalınlıkları), 0.40-0.80 m. (30-60 cm) arasında değişir. Günlük işletme periyodunun sonunda sıkıştırılan çöplerin üzerine 20-30 cm toprak örtü tabakası serilmelidir. Böylece oluşturulan çeşitli hücrelerin genişlikleri 250-600 m arasında olabilir.



Şekil 3.5. Alan yönteminin şematik gösterimi ve hücrelerin oluşturulması [20]

### 3.5.3. Kanyon (çukur) yöntemi

Doğal ve yapay şartlarla mevcut vadi, kanyon, yatak, taş ocağı veya büyük çukurlarda çöpün depolanması işlemidir. Bu tür yerlerdeki çöp depolama yöntemi (boşaltma, sıkıştırma, vb.) tamamen arazinin şekli, geometrisi, jeolojisi, hidrolojisi, ulaşım özellikleri ve örtü malzemesi karakteristiklerine bağlıdır.

Bu yöntemde dikkate alınması gereken en önemli problem çöp dolgusundan ötürü herhangi bir vadide veya benzeri alanda geçişin kapanacağı ve bunun yaratacağı sorunlardır.

Bu tür yerler çevresine oranla hemen daima düşük seviyede bulunduğu için yüzey suyu drenajı kritik bir faktör olmaktadır.

Ayrıca bu yerlerin tabanları genelde kırılğan (fay kırığı) ve yüksek geçirgen özellik gösterdiğinden çöp depolama açısından çok uygun olmayabilirler.

### **3.6 Düzenli Depolama Alanlarında Meydana Gelen Olaylar**

Düzenli depolama tesislerinin etkin planlanması ve projelendirilmesi için, deponi sahalarında oluşan olayların bilinmesinde yarar vardır. Bu olaylar şu şekilde özetlenebilir:

- Organik maddelerin anaerobik veya aerobik olarak ayrışmaları ve aynı zamanda gaz ve sıvı ürünleri ortaya çıkması,
- Maddelerin kimyasal olarak oksitlenmesi,
- Oluşan gazların dolgu sahasından sızması,
- Deponi alanına giren suların, çözücü veya yıkayıcı etkisi,
- Çözünmüş maddelerin osmoz veya konsantrasyon farklılıkları sebebiyle hareketleri,
- Düzensiz çökmeler [17].

#### **3.6.1. Sızıntı suyunun yol açtığı riskler**

Önemli miktarda kirletici bileşen, düzenli depolama alanlarından sızarak yer altı sularına karışmaktadır. Sızıntı nedeniyle yer altı suyunun kirlenmesi önemli bir problemdir. Örneğin 1977'de ABD'de 50 adet katı atık düzenli depolama alanında yapılan bir araştırmada; alanların altındaki yer altı sularının büyük oranda kirlendiği saptanmıştır. Bunların 49'unda yer altı suyunda ağır metallere ve 40 alanda da yer altı suyunda PCBS ve benzen gibi çeşitli organik çözücülere rastlanmıştır. 1944'de yine ABD'de yapılan bir araştırmada, katı atık düzenli depolama alanlarından yer altı sularına sızma ile karışan organik bileşikler aşağıda Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Tehlikeli atık düzenli depolama alanlarından etkilenen yer altı sularında sıklıkla rastlanan organik bileşikler [16]

Bileşen	En Yaygın Kaynak
Trikloroetilen	Kuru temizleme, metal işleme atıklarında
Benzen	Kuru temizleme, metal işleme
Toluen	Gazolin
Metilen Klorür	Boya giderimi, Solventler
1,1,1-Trikloroetan	Metal ve plastik temizleme
Kloroform	Solventler
1,1-dikloroetan	Solventler
1,2- dikloroetan (trans-)	1,1,1-Trikloroetan üretimi

Düzenli çöp depolama alanlarından süzülen sular, atık maddelerden serbest kalan veya biyotik ve abiyotik reaksiyonlardan kaynaklanan organik ve inorganik maddeleri içerir. Bu maddeler sızıntı suyu ile taşınabilir ve çevresel tehlikelere sebep olabilir. Bunu değerlendirebilmek için tüm bileşenler tanımlanmalıdır. Sızıntı sularının bileşenleri ile ilgili yapılan araştırmalar son derece azdır. Bununla birlikte tanımlanabilen organik maddelerin yapısında çok önemli farklılıklar mevcuttur. Bu, en azından sızıntı suyu kalitesini etkileyen çeşitli faktörlere de kısmi olarak bağlıdır.

Düzenli depolama alanlarında çok çeşitli biyolojik, fiziksel ve kimyasal prosesler yer alır ve bunlar hem sızıntı suyunu hem de gaz üretimini önemli ölçüde etkiler. Katı atığın biyolojik ayrışması ile ilgili araştırmalardan elde edilen sonuçlar düzenli depolama alanında meydana gelen biyolojik süreçlerin ideal sırası üzerinde tahmin yürütme şansı doğurur ve bu süreçler sızıntı suyunun analizi ile monitörlenebilir.

Bir diğer önemli faktörde örnekleme noktasıdır. Örneğin bir düzenli depolama alanının iç kısmından alınan örneklerle yüzeye yakın noktalardan veya kenarlarından alınan örneklerin özellikleri çok farklılık gösterir. Sızıntı suyu kalitesini etkileyen diğer faktörler de düzenli depolama alanında depolanan katı atığın çeşidi, yapısı ve süzülen suyun miktarıdır.



Sızıntı suyundaki organik maddelerin orijininin tam anlamıyla belirlenmesi çok zordur. Bunlar depolanan atıklardan direkt olarak salınmış olabildiği gibi, dönüşüm prosesleri, ürünleri veya mikrobiyolojik veya abiyotik hidroliz sonucu da meydana gelmiş olabilir.

Sızıntı suyunun özellikleri çeşitli sızıntı suyu örnekleriyle yapılan deneysel araştırmalarla belirlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları aşağıda Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Sızıntı suyunun özellikleri [16]

Parametre (mg/L)							
PH	TOK	COD	BOD	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe	Mn	
8.0	-	3000	180	80	15	0.65	A
7.0	2100	7000	50	-	40	0.24	B
7.6	190	600	64	<20	35	0.32	C <sub>1</sub>
7.2	130	460	43	<20	53	1.0	C <sub>2</sub>
7.4	630	2100	910	<20	130	2.0	C <sub>3</sub>

**A:** Almanya'da toplam 20 düzenli depolama alanından alınan örneklerin ortalama değeri,

**B:** Hollanda'da toplam 20 düzenli depolama alanından alınan örneklerin ortalama değeri,

**C:** Sonuç değerler.

### 3.7. Deponi Alanı Dizaynı Önerileri

Uygun arazi koşulları elde edildikten sonra düşük permeabiliteye sahip bir dolgu elde etmek için uygun bir kil tabakası oluşturulur. Dolgunun esas amacı, atığın çevreye zarar vermeyecek şekilde depolanmasıdır. Sızıntı suyundaki mevcut ağır metaller kil tabakası ile tutulmaya çalışılacaktır. Dolgu alanındaki ilk şart demir metalinin yer altı suyuna ulaşmamasıdır. Katı Atık Yönetmeliği madde 26'da, depo tabanı, tabi yer altı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 m yüksekte olması gerektiğinden söz edilmektedir. Depo tabanı, kalınlığı en az 60 cm olan kil zeminle sıkıştırılır. Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanır.

Ayrıca dren boruları çevresine kum-çakıl filtre yerleştirilir. Katı Atık Yönetmeliğinde sıkıştırılacak çöp katmanının 2m'yi aşmaması öngörülür. Kil tabakası 30 cm kalınlığında ve gevşek olarak seçilmeli ve kompaksiyon yapılmadan 1-3 gün beklenmelidir.

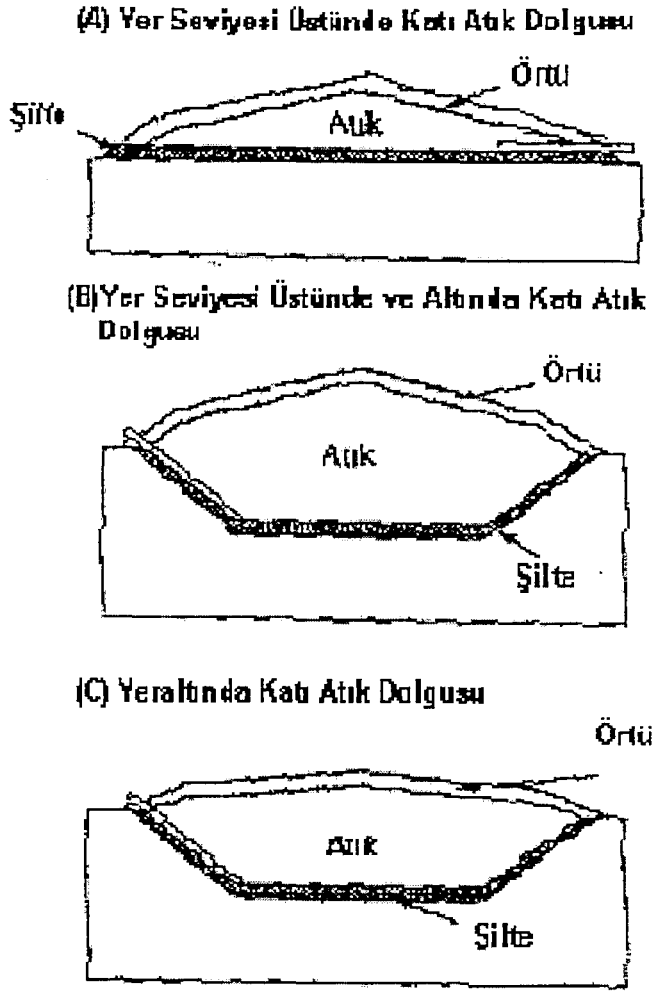
Boyutları, temel eğimi, geçirimsiz alt tabaka kalınlığı, gaz havalandırma bacaları, sıkıştırılacak atık madde tabakası yüksekliği, atık tabaka üstündeki kaplama tabakası kalınlığı, kaplama eğimi ve üst kaplama kil tabakası belirlendikten sonra deponi dizayn hesabı yapılmış olur [26].

### **3.8. Depolama Sahasının İşletilmesi**

Çevreye zarar vermeyen sağlıklı bir çöp dolgusu elde etmek ve depo sahası kapasitesinin planlanan süreden önce doldurulmasını önlemek için işletmenin tekniğine uygun olarak yapılması gerekmektedir. Her işletme için bir işletme planı hazırlanmalıdır. İşletme (depolama) planı, saha koşulları, tabaka oluşturma detayları, kaplama malzemesi kalınlığı gibi kriterlere göre geliştirilmelidir.

### **3.9. Katı Atıkların Kontrol Altında Depolanması Teknolojisi**

Katı atık depolama tesislerinin dolguları zemin üzerine ya da içerisine yapılabileceği gibi, bunun kombinasyonu da uygulanabilmektedir (Şekil 3.6). Yer altı su seviyesinin zemin profili içinde sığ bir hat izlediği durumlarda zeminin hemen üzerinde dolgular oluşturmak daha uygun bir yöntem olabilmektedir. Bu yöntemde dolgu inşa ederek oluşacak çöp suyu sızıntısının drenajı mümkün olabilecektir. Zeminin hemen üzerine dolgu yapılırken, modern bir katı atık depolama tesisinin vazgeçilmez parçaları olan şilteler ve çöp suyu sızıntılarını toplayacak drenaj ağı sistemlerinin yapımı da tek aşama da kolayca tamamlanabilmektedir.



Şekil 3.6. Katı atık depolama tesisleri [27]

Zemin üzerinde veya yer yüzeyi seviyesi altına inşa edilecek dolgular sayesinde daha çok katı atık depo edebilmek mümkün olabilmektedir. Kazıdan çıkan malzeme inşaat malzemesi olarak yada günlük dolguların atmosferden tecriti amacıyla serilmek üzere kullanılmaktadır.

Atığın depolandığı yerde, içsel tepkimelerden ötürü, kirletici özellikle kimyasallar serbest kalmakta, bu kimyasalların gaz veya sıvı fazında dolgu içinde ilerlemeye çalışmaları söz konusu olabilmektedir. Bu istenmeyen oluşumların zararlı etkiler doğurması birkaç farklı sistem yardımıyla kontrol edilmeye çalışılmaktadır.

Bu kontrol sistemleri sayesinde atığa, üstteki örtü ve yandaki tabakalardan suyun sızmasını en aza indirmek, atığın içinde oluşan gazı ve çöp suyu sızıntısını toplayarak, uzaklaştırmak ve de oluşan çöp suyu sızıntısının yüzeye çıkmasını, çevreye yayılmasını en aza indirmek mümkün olabilmektedir.

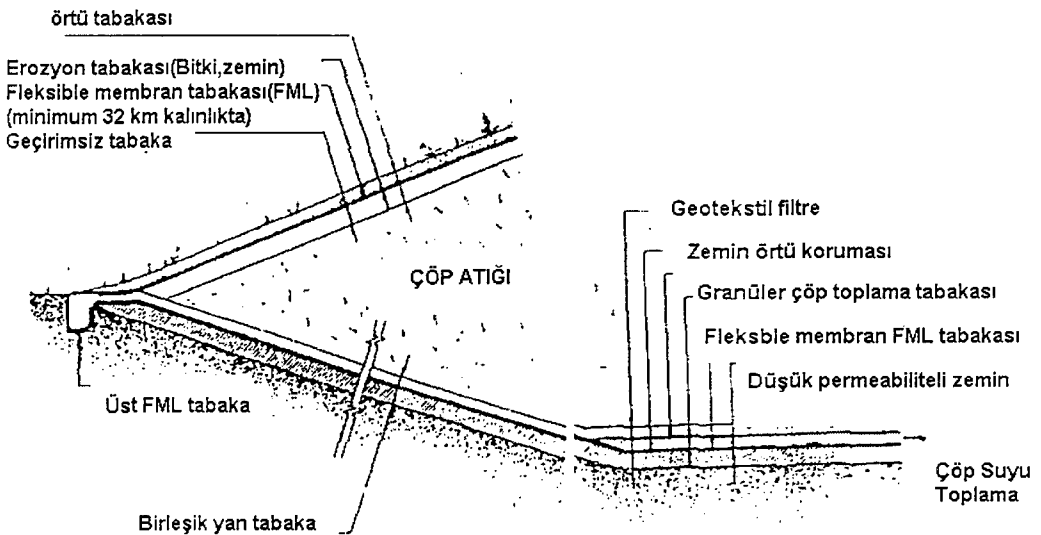
### 3.10. Katı Atıklar İçin Oluşturulan Yasal Düzenlemeler

#### 3.10.1. D programı (40 CFR 258 Maddesi)

RCRA'nın başlık altı D programı (40 CFR 258) belediyeye ait (MSWLF) katı atık toplama alanlarında, insan sağlığını ve çevreyi korumak için gerekli minimum şartları belirtmiştir. Bu kriterler, MSWLF adı altındaki maddelerde belirtilmiştir [10].

- Yerleşim alanı sınırlandırılmalı
- İnşa aşaması
- Dizayn aşaması
- Örtü amacı
- Finans sağlama amacı

Yukarıdaki kriterleri göz önüne alarak RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) 40 CFR 258 adı altındaki maddesi, Şekil 3.7'de detaylandırılmıştır.



Şekil 3.7. D tabakası ve MSWLF örtü tabakası [16]

### 3.10.2. C programı (40 CFR 264)

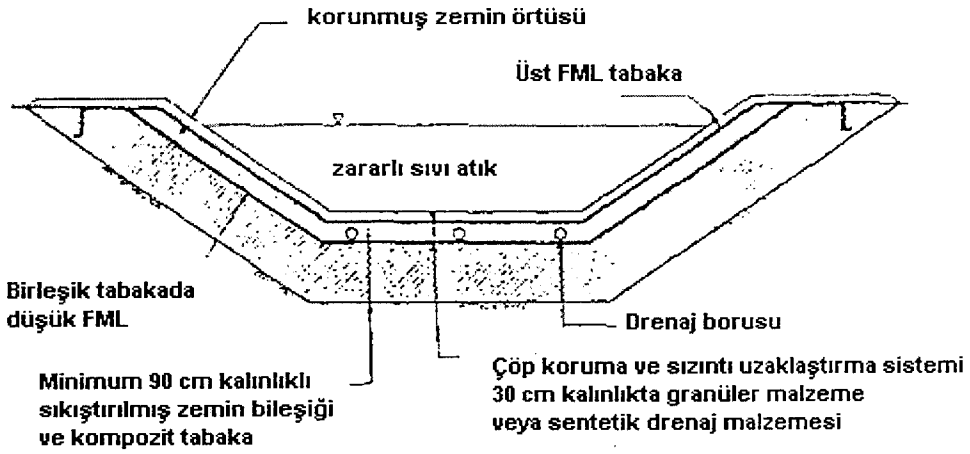
RCRA'nın C Programı (40 CFR 264), zararlı atıklarda müsaade edilebilen minimum ulusal standartları tanımlamaktadır. 40 CFR 264 maddesi aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır [16].

- Yerleşim standartları
- Hazırlık ve önlem alma
- Olabilme planı ve yardım prosedürleri
- Açık sistem, önerge
- Katı atık yönetim ünitelerinden ayrılma
- Örtü
- Finans sağlama
- Konteyner yönetimi ve kullanımı
- Tank sistemi
- Yüzey su tutucular
- Atık kazıkları
- Katı atık alanı
- Yakma fırınları

40 CFR 264 maddesi Çizelge 3.10'daki, katı atığı oluşturan maddelerin miktarlarını göstermektedir. Bunların yer altı suyuna karışmasını engellemek için en alt tabaka bir zararlı madde tutucu geçirimsiz bölüm oluşturulmalıdır. Bunun için oluşturulan dizaynda, Şekil 3.8'de en üst tabakada geomembran ve en alt tabakada ise kompozit bir sistem oluşturulmaktadır [16].

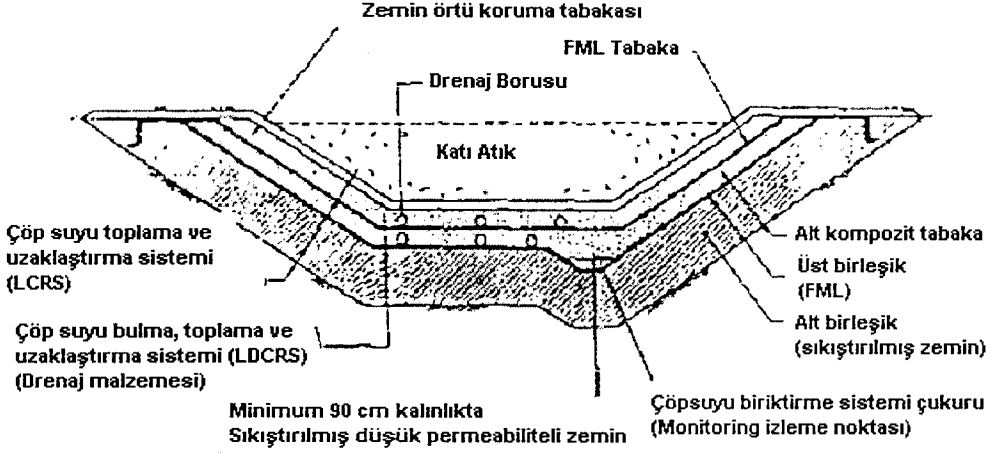
Çizelge 3.10. Maksimum konsantrasyonlu yer altı suyu koruması [16]

Maddeler (mg/l)	Maksimum Konsantrasyon
Arsenik	0.05
Baryum	1.0
Kadyum	0.01
Krom	0.05
Merkürü	0.002
Selenyum	0.01
Gümüş	0.05
Endrin	0.0002
Lindan	0.004
Methoksiklor	0.1
Toksophen	0.005
2,4-D (2,4-Dikloropenoksetik asit)	0.1
2,4,5-TP Silveks	0.01



Şekil 3.8. Katı atık alanları için karışık tabaka sistemlerinin diyagramı [16]

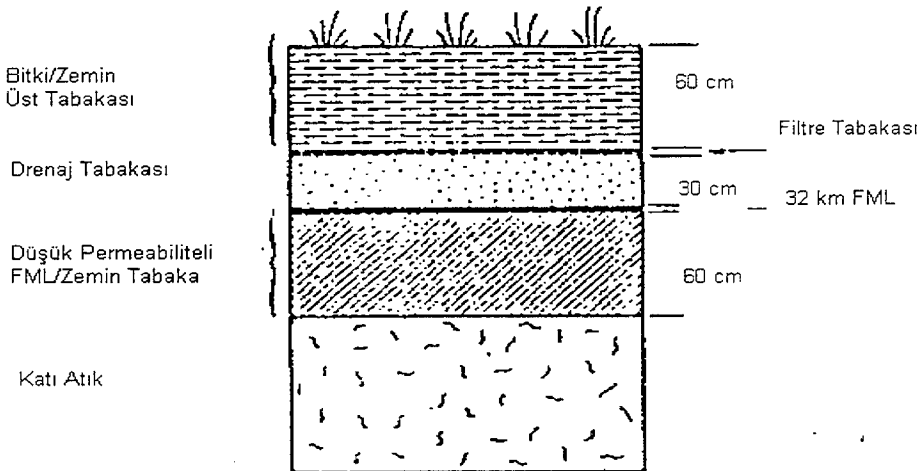
Ayrıca iki katlı tabaka da Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9. Zararlı atık alanlarının çift tabakalı ve çöp suyu kontrollü sistem kesiti (USEPA,1989b)

### 3.11. Örtü Tabakası

Şekil 3.10’da görülen uygulanmalıdır. En üst bölgede bitki bölgesi sonra drenaj tabakası, oturmaya sebebiyet vermeyen zemin tabakası ve CFR 2642’deki kurala uyan son bölgedeki ve baş bölgedeki aynı geçirimsizliğe sahip bir drenaj tabakası olmalıdır.



Şekil 3.10. Zararlı atık alanlarının şematik olarak örtü gösterimi (Landreth, 1990)

## 4. ÇÖP DEPONİ ALANI ALT TABAKA SİSTEMLERİ

### 4.1. Çöp Deponi Alanı Alt Tabakası İle İlgili Genel Bilgiler

Atık depolama alanlarında uzun zaman içerisinde sızıntı ve gaz yayılımı görülmektedir. Gaz fazı bir dereceye kadar kontrol edilebilmekte ve çevresel etkileri sınırlandırılabilen sızıntı kontrolü oldukça güçtür. Sızıntı, bir depo alanı içerisindeki çözülebilir malzemeler tarafından çevreye zamanla taşınmaktadır. Bu kontrolsüz durumu engellemek için dolgu alanlarının tabanlarına tabaka sistemleri yerleştirilmektedir. Bu şekilde sızıntının toplanması ve iyileştirilmesi mümkün hale gelmektedir.

Çöp deponi alanı alt tabaka sistemlerinin yapımında ve dizaynındaki en büyük problem dolgu tabanındaki sızıntının engellenmesi ve dışarıdan dolguya sızıntı durumunun kontrol altına alınmasıdır. Bir şilte sisteminin dolgu alanı tabanında yer almasına rağmen bu tamamıyla güvenli bir durum kabul edilmemelidir.

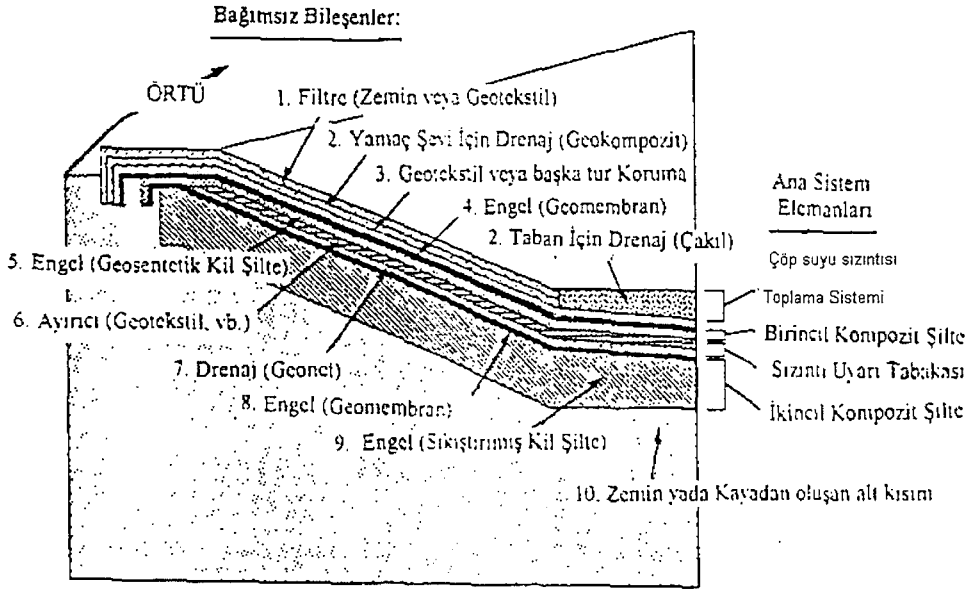
Çöp deponi alanı alt tabaka sistemini oluşturan elemanların fonksiyonları aşağıda gösterildiği gibidir [28]:

- **Taban Kaplamaları** : Sızıntıya karşı geçirimsizlik sağlamak, biyogazın çevreye yayılmasını engellemek, atık kütlesi için mekanik destek sağlamak, sızıntının toplanmasını sağlamak için drenaj ve toplama sistemleri bu taban kaplamaları üzerine yerleştirilmiştir.
- **Yan Kaplamalar** : Dolgu alanlarında yüzey seviyesi altına yerleştirilir. Yüzeysel su akışı ve sızıntı için geçirimsizliği sağlamakta, su basıncı için mekanik bir direnç oluşturmakta, yüzeysel suyun ve sızıntının drenajı, biyogazın yanal yayılımına engel olmaktadır.
- **Örtü Kaplamaları** : Biyogazın çevreye yayılmasına engel olmakta, yağmur suları için geçirimsizliği sağlamakta ve erozyon kontrolünü desteklemektedir.



## 4.2 Çöp Deponi Alanı Alt Tabakasını Oluşturan Malzemeler

Çöp deponi alanı alt tabakasının yapımında farklı özellikte malzemeler kullanılmaktadır. Doğal ve sentetik malzemeler ayrı ayrı kullanılabilirdiği gibi birlikte kullanılmaları da mümkün olabilmektedir. Şekil 4.1'de bu malzemelerin işlevleri ve çeşitleri özetlenmiştir.



Şekil 4.1. Geçirimsizlik için yapılan alt tabaka sistemlerine bir örnek [16]

Çöp depolama alanlarında geçirimsiz tabaka olarak aşağıda verilen çeşitli malzemeler kullanılabilir [29].

- Kil, granüler filtre malzemesi,
- Geotekstil ve kil karışımı,
- Kil ve geotekstil/geonet karışımı,
- Kil ve geomembran karışımı,
- Geomembran ve granüler filtre malzemesi karışımı,
- Geotekstil ve geomembran karışımı,
- Geomembran ve geonet karışımı.

Sızdırmazlık için doğal malzeme olarak sıkıştırılmış kil, sızıntı suyu drenaj tabakası olarak granüler filtre malzemesi kullanılmaktadır. USCS sınıflandırma sistemine ait CH, CL, ve MH tipi killeri kullanım için tavsiye edilir [29].

Kil, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan doğal bir ikincil mineraldir. Tane boyutu 2 mikron veya daha küçüktür. Kilin su ortamında bulunması halinde, su içinde bulunan ve özgül ağırlığı suyun özgül ağırlığının üç katına varan kilin çok uzun süre çok uzun süre dibe çökmeden yüzebildiği görülmektedir (Brown Devinimi). Kil taneleri su içinde, negatif elektriksel yükten dolayı yapısına suyu tutar. Ayrıca tabakalar arasındaki hidrojen bağı tabakalarının birbirine sıkıca bağlı olması nedeniyle de taneler su ortamında bozulmadan durur. Bu özelliğinden de anlaşıldığı gibi kilin yapısı diğer zeminlerden farklıdır. Bunun yanında bentonit, zeolit veya ince kil ile karıştırılarak hazırlanan düşük permeabiliteli kil tabakası da sızdırmazlık tabakası olarak kullanılabilir. Kil sızdırmazlık tabakalarında aranan özellikler; düşük permeabilite, mukavemet, az sıkışabilirlik, yeterli kompaksiyonun sağlanması, kirleticilerin difüzyon yolu ile düşük yayılımı gibi. Bentonit, kolloidal alüminim hidrosilikattır ve hacmi su ile 10 ile 30 kat artar [29].

#### **4.2.1. Doğal malzemeler**

**Killi zemin** – Bu malzeme çeşidi en yaygın doğal kaplama malzemesidir. Kil tabakalarının kalitesini belirleyen ana faktörler: permeabilite katsayısı, kompaksiyon derecesi, nem oranı, kil kompozisyonu, arazi yerleşim teknikleri ve tabaka kalınlığıdır.

**Bentonit** – Bentonit ve kumlu zeminlerin karışımından elde edilen bir çöp deponi alanı alt tabakası ile düşük bir permeabilitede bir kaplama elde etmek mümkündür.

**Kum** – Bu malzeme çöp deponi alanı tabaka sistemlerinde sentetik kaplamaların korunması ve filtre stabilitesinin artırılmasında yaygın olarak kullanılır.

**Çakıl** – Bu malzemenin temel işlevi drenaj ve filtrelemedir.

#### 4.2.2. Sentetik malzemeler

Bu malzemeler bir dolgu alanında alt kaplama malzemesi olarak gerekli özelliklerin çoğunu karşılayabilmektedirler. Örneğin kaplama, farklı malzemelerin dağılımı, drenaj, filtrasyon ve donatılandırma gibi fonksiyonlarda etkindirler.

Geosentetik olarak isimlendirilen bu malzemeleri doğal malzemelere göre daha avantajlı hale getiren hazır elde edilebilmeleri, küçük hacim kullanılması ve iyi bir performans sergilemeleri gibi özellikleridir. Bir atık depolama alanında kullanılan geosentetik çeşitleri olarak geomembranları, geotekstilleri, geonetleri, geogridler ve geokompozitleri sayabiliriz.

#### 4.3. Çöp Deponi Alanı Alt Tabakasını Oluşturan Birimlerin Fonksiyonları

Çöp deponi alanı alt tabaka kaplama sistemlerinin kaplama, sızıntının süzülmesi ve drenaj (yatay ve düşey akımın), güçlendirme, mekanik koruma, ayırma, erozyon kontrolü, su filtrasyonu ve drenajı, biyogaz yayılımının kontrolü gibi fonksiyonları vardır.

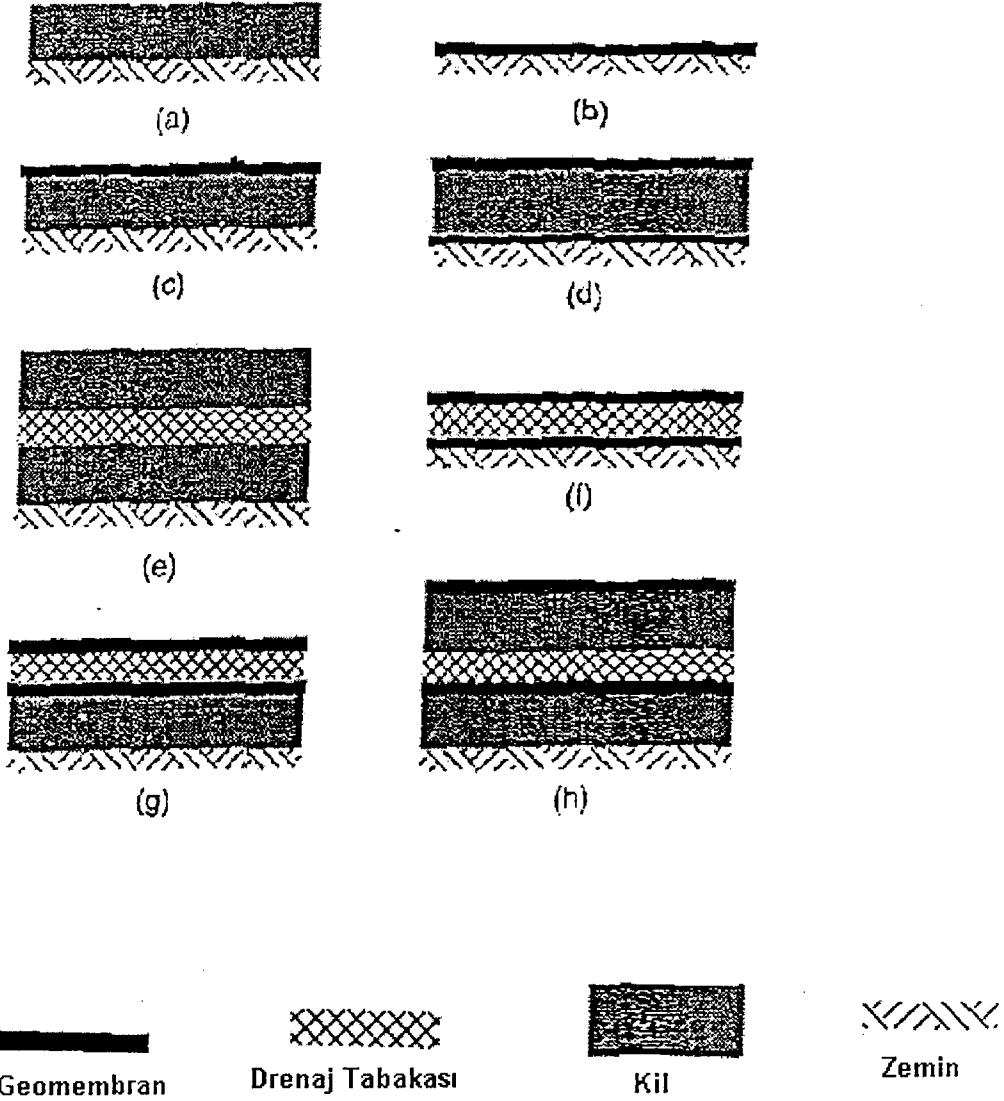
- **Kaplama :** Doğal zemin kaplamaları (bentonit karışımlar,kil) ve sentetik membranlar içeren düşük permeabiliteli malzemelerin kullanımına temel oluşturur ve kaplama ana fonksiyonudur.
- **Sızıntının Süzülmesi :** Sızıntının atık alanı tabanına doğru yatay hareketinde atık kütleinde su tabakalarının yerleşmesine engel olmak. İri daneli malzemeler dolgu alanlarının tabanında ve altında yaygın olarak kullanılmaktadır. İri daneli çakıl dolgu alanı tabanının tamamının kaplanması için önerilmektedir. Bunun yanında geotekstillere de bu durum için uygun malzemeler olarak önerilmektedir.
- **Sızıntı Drenajı ve Toplanması :** Sızıntı bir drenaj ve toplama sistemi ile doğrudan taşınabilmektedir. Bu amaçla dren boruları ile kombine doğal iri daneli malzemeler kullanılmaktadır. Drenaj yatağının geometrisi ve iri daneli malzemenin boyutu, dren borularının hasar görmemesi ve tıkanmasına engel

olmak için dikkatlice göz önüne alınmalıdır. Geonet ve geokompozit drenler toplama ve drenaj için önerilmektedir.

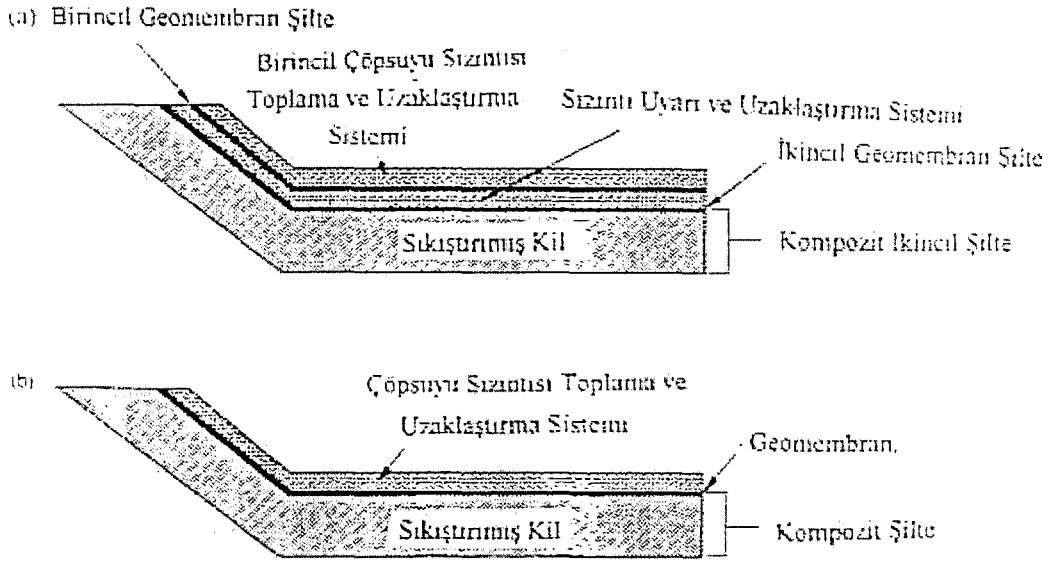
- Zeminin Güçlendirilmesi : Çöp deponi alanı kaplama sistemlerine stabil bir zemin sağlamak için depo alanının eğimi ve tabanının oturmasında zeminin güçlendirilmesi önemlidir. Stabilite problemleri deforme olmuş zeminlerden dolayı atık depo alanlarının kenarlarındaki eğim boyunca meydana gelebilmektedir. Zeminlere mekanik destek olacak malzemeler olarak geogridler, geotekstilller, geonetler ve geomembranlar önerilmektedir.
- Mekanik Koruma : Geomembranlar gibi sentetik kaplamalar, atıkların içerisinde yer alan keskin objelerin yaratacağı zımbalama etkisinden, dolgu alanındaki hareketli elemanların ve tekerleklerin etkisinden ve iri daneli drenaj malzemelerinin yaratacağı basınç etkisinden kaplama sistemini korumaktadır. Küçük boyutlu, yuvarlak çakıl veya kumun kaplama olarak kullanılması ile sentetik kaplamaların mekanik koruması yapılabilmektedir.
- Ayırma : Farklı boyutlarda granüler malzemenin bir kaplama tabakasında bir araya getirilmesi, bir malzemenin diğerlerinin içine nüfuz etmesini engellemek için yapılan bir uygulamadır.
- Erozyon Kontrolü : Atık depo alanı yüzeyi tamamlandığında suya ve rüzgara karşı koruma sağlanmış olmaktadır.
- Su Filtrasyonu : Yer altı suyunu başka bir yöne çekmek veya yüzey suyunu dolgu alanı içerisine sızdırmak gerekebilmektedir. Bu durumda doğal granüler malzemeler, dalgalı ve dalgasız geotekstilller ve geokompozitler başarı ile kullanılabilir.
- Su Drenajı ve Toplanması : Atık depolama alanına sızan yağmur suyu drene edilebilmektedir.
- Biyogaz Yayılım Kontrolü : Atık depo alanından yayılan biyogaz, depo alanı içerisine gömülen özel kuyular tarafından toplanmaktadır. Bundan dolayı yatayda ve depo alanı yüzeyinde biyogazın toplanmasını kontrol etmek biyogaz için bir drenaj tabakası sağlamak açısından oldukça önemlidir.

#### 4.4. Çöp Deponi Alt Tabakalarının Yapısı

Bir atık depolama alanındaki alt tabaka sistemleri farklı güvenlik seviyelerinde dizayn edilebilmektedir. Şekil 4.2’de atık depo alanı alt tabaka sistemleri için malzeme alternatifleri ve farklı kullanımları gösterilmiştir.



Bir atık depolama alanında uygulanabilecek alt tabaka sistemlerinde sağlanmasını istediği minimum şartlar Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. USEPA'nın geçirimsizlik tabakalarında sağlanmasını istediği minimum şartlar

- (a) Doğal Malzemeli (Düşük permeabiliteli zemin) Tek Tabakalı Alt Tabaka Sistemi : Bu düzenleme en yaygın kullanılan ve en basit tabaka sistemidir. Buna rağmen özel ve tam güvenli hidrojeolojik durumlarda kullanılabilirliği göz önüne alınmalıdır.
- (b) Sentetik Malzemeli (Geomembran) Tek Tabakalı Alt Tabaka Sistemi : Bu sistemde tam güvenli olduğu söylenemez. (a) seçeneğindeki durum burada da geçerlidir.
- (c) Kompozit (Killi zemin+geomembran), Tek Tabakalı Sistem : Bu şilte sisteminden evsel atıkların depolanmasında bahsedilecektir. Son zamanlarda evsel katı atık depolaması için minimum kil tabakasının kalınlığı 1.0 m.dir. Maksimum permeabilite değeri ise  $10^{-9} \text{ ms}^{-1}$  dir.
- (d) Sandviç Kompozit (Geomembran+killi zemin+geomembran), Tek Tabakalı Alt Tabaka Sistemi : Bu sistem (c)'de verilen sistemden mineral tabakasında çatlama sebep vermek ve ilerlemesine engel olmak açısından daha güvenlidir.

## 4.5. Kil Alt Tabaka Sistemleri

Doğal malzemeden yapılmış düşük permeabiliteye sahip çöp deponi alanı alt tabaka sistemlerine, -zemin alt tabaka- veya -kil alt tabaka- gibi değişik adlar verilmektedir. Alt tabaka kaplamasının “kil” olarak adlandırılmasının en önemli sebebi beklenen geçirimsizlik görevini, düşük permeabilite özelliğinden dolayı kilin üstlenmesidir. Kil alt tabaka kaplamaları üç grupta ele alınarak incelenebilmektedir:

- Doğal haliyle kullanılan kil ,
- Sıkıştırılmış kil alt tabaka kaplamaları,
- Geosentetik kil kaplamalar,

### 4.5.1. Doğal kil alt tabaka sistemleri

Doğal kil alt tabaka sistemleri, kil yönünden zengin, doğal yapıları itibarı ile düşük permeabiliteli malzemelerden oluşturulmaktadır. Atıklar doğal alt tabaka kaplamasının üzerine veya içine gömülebilmektedir.

Doğal alt tabaka kaplamaları, normalde önemli miktarda kil mineraline ve  $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$  cm/sn' den küçük yada eşit permeabilitelere sahip olmaktadır. Doğal alt tabaka kaplamaları, günümüzde tasarlanmış alt tabaka kaplamalarını çevreleyen kısımlar olarak kullanılmaktadır. Atık depolama tesislerinde yakın geçmişte sadece doğal kil alt tabaka kaplamaları kullanılmaktaydı.

Doğal kil alt tabaka kaplamaları, süreklilik gösterememeleri, kırıklık düzlemleri, çatlaklar ve boşluklar içermeleri nedeni ile oldukça kritik durumlar oluşabilmektedir.

Doğal kil alt tabaka kaplamalarının permeabilitesi laboratuvar ve arazi permeabilite deneylerinin kombinasyonu olan bir çalışma yapılarak bulunmalıdır. Genel bir mühendislik karakteristiği olan permeabilite katsayısı, ısıdan, tehlikeli ve toksik bileşenlerin varlığından ve elektro-potansiyel, kimyasal difüzyon olaylarından doğrudan etkilenmektedir.

Kirleticinin hareketi ve zemini etkilemesi sürecinde ortamın permeabilitesi önemli bir belirleyici olarak karşımıza çıkmaktadır. Laboratuvarda yapılan deneylerin sonuçları, numunenin alındığı ortamdaki hidrolik özürler açıkça belirlenmeden sağlıklı fikirler verememektedir. Çatlaklar, delikler, fisürler ve sürtünme boşlukları gibi kusurlar, ölçülmüş permeabilite değerinin artmasına neden olabilmektedir.

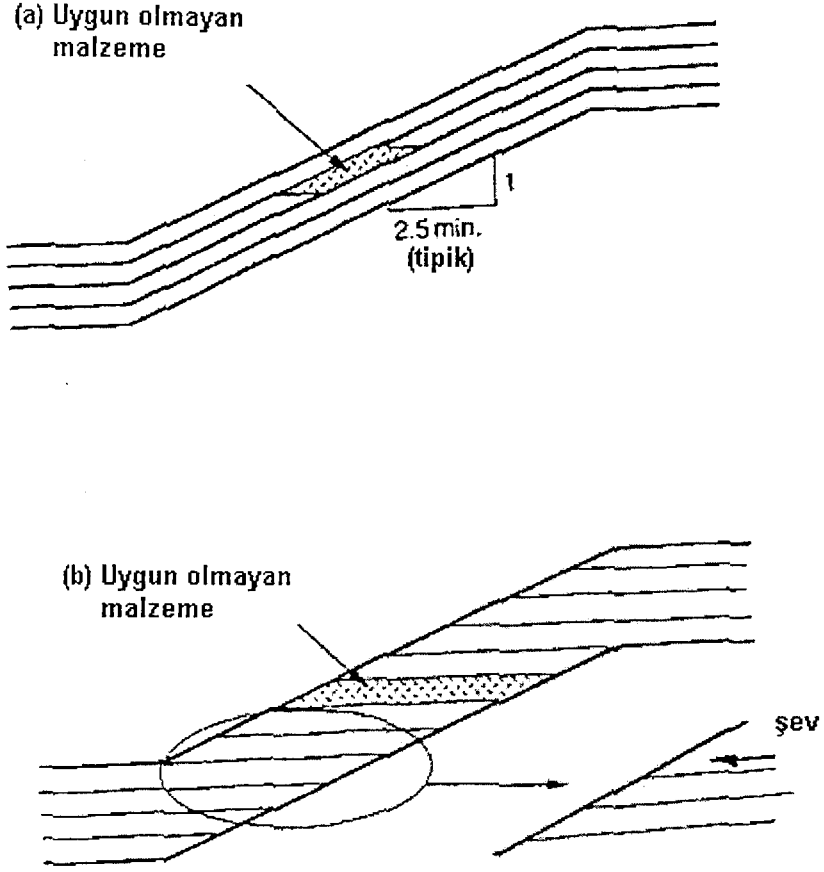
Arazi permeabilite deneyleri verdikleri sağlıklı sonuçlar yüzünden hidrolik iletkenlik araştırmalarının en önemli kısmını oluşturmaktadır. Açılan çeşitli sondaj deliklerinde sabit veya düşen seviyeli deneyler yapılmaktadır. Kaç tane deney yapılacağı öngörülen bütçe, bölgenin hidrojeolojik koşulları, istenen yaklaşıklık oranı gibi faktörlere bağlı olarak saptanmaktadır. Deney yapmak amacıyla açılmış sondaj kuyularının, deney sırasında doldurulması ve tıkanması gerekmektedir. Terk edilen sondaj kuyuları, bazen istenmeyen tabakalar arası hidrolik bağlantılara yol açabilmektedir.

Doğal alt tabaka kaplamalarının yapılarının sürekli ve düzenli olduğunu ve permeabilitesinin tüm doğrultularda üniformluk gösterdiğini ispatlamak çok pahalıya mal olmaktadır. Bu nedenle doğal alt tabaka kaplamalarının, katı atık depolama tesislerinden ve diğer atık yığınlarından kaynaklanacak kirliliğin yayılmasını engellemek için tek başına kullanılmaları önerilmemektedir.

#### **4.5.2. Sıkıştırılmış kil alt tabaka kaplamalar**

Sıkıştırılmış kil alt tabaka kaplamaları, bentonit yada sentetik polimer gibi işlenmiş yada prefabrike birimler içerseler de, öncelikli olarak doğal malzemeden yapılmaktadırlar. Kil kaplama tabakaları, ince "tabaka" parçaları halinde inşa edilmektedir. Yamaç şevleri, paralel yada yatay tabakalardan oluşturulmaktadır (Şekil 4.4). Şev eğimi 2.5:1 veya 3:1 den dik olan durumlarda, şeve paralel tabakalar yapılmaması önerilmektedir.



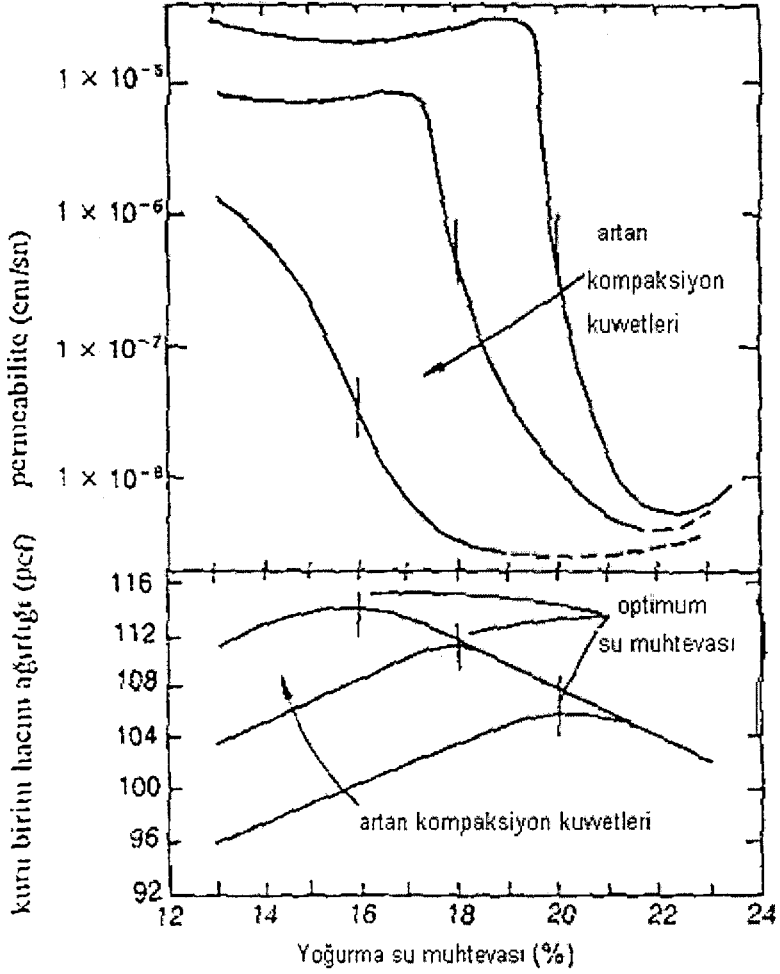


Şekil 4.4. (a) Paralel ve (b) yatay tabakalardan oluşturulmuş yamaç şevleri [17]

#### 4.5.3. Sıkıştırma koşulları

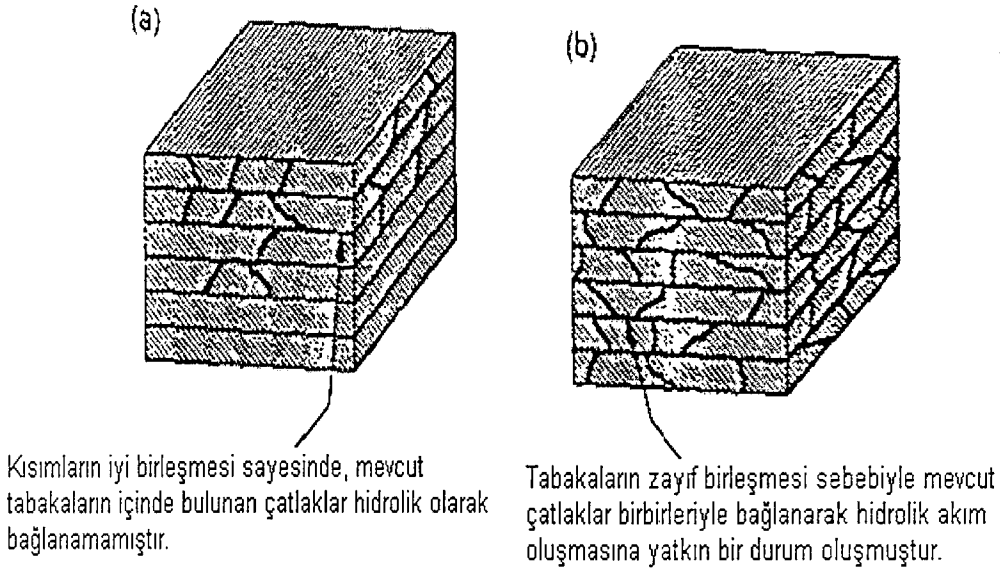
Kompaksiyonla sıkıştırmanın amacı, zemin dokusundaki boşlukları gidererek homojen ve sürekli bir yapı oluşturmaktadır. Bu amaçla uygun zemin birimlerinin sıkıştırılması,  $1 \times 10^{-7}$  cm/sn değerinden düşük permeabiliteler elde edilmesini de temin edebilmektir. İstenilen permeabilitenin sağlanmasında, zeminin doğal su muhtevası, kompaksiyon yöntemi ve uygulanan enerji ana faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Optimum su muhtevası değerinin, ıslak tarafında kompaksiyon yapıldığında kolayca düşük permeabilite değerleri elde edildiği görülmüştür [17].

Oluşturulan tabakaların birbiriyle iyice kaynaşması gerekmektedir. Araştırmalar daha düşük hidrolik iletkenlik için birimlerin iyi bağlanması gerekliliğini göstermektedir. Şekil 4.5’de yoğurma-su muhtevasının ve sıkıştırma enerjisinin permeabiliteye etkisi bir grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yoğurma ve su muhtevasının permeabiliteye etkisi [30]

Şekil 4.6'da kompaksiyonda zemine daha sıkı bir doku kazandırmak için yapılan eklemeye artan su muhtevasının, uygulanan enerjiyle değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sıkıştırılmış kil alt tabaka sistemlerinde tabakalar arası dokanakların durumu [30]

#### 4.5.3.1. Su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi

Sıkıştırılmış kil alt tabaka kaplama tasarımında kabul edilebilir su muhtevası, kuru birim hacim ağırlığı oranı aralığının belirlenmesi ön önemli aşamalardan birini oluşturmaktadır. Çok kuru zeminlerde, istenilen geçirimsizliği temin etmek oldukça zor olabilmektedir. Çok ıslak zeminlerde ise uygun mukavemeti ve stabiliteyi sağlamakta zorluklarla karşılaşmaktadır.

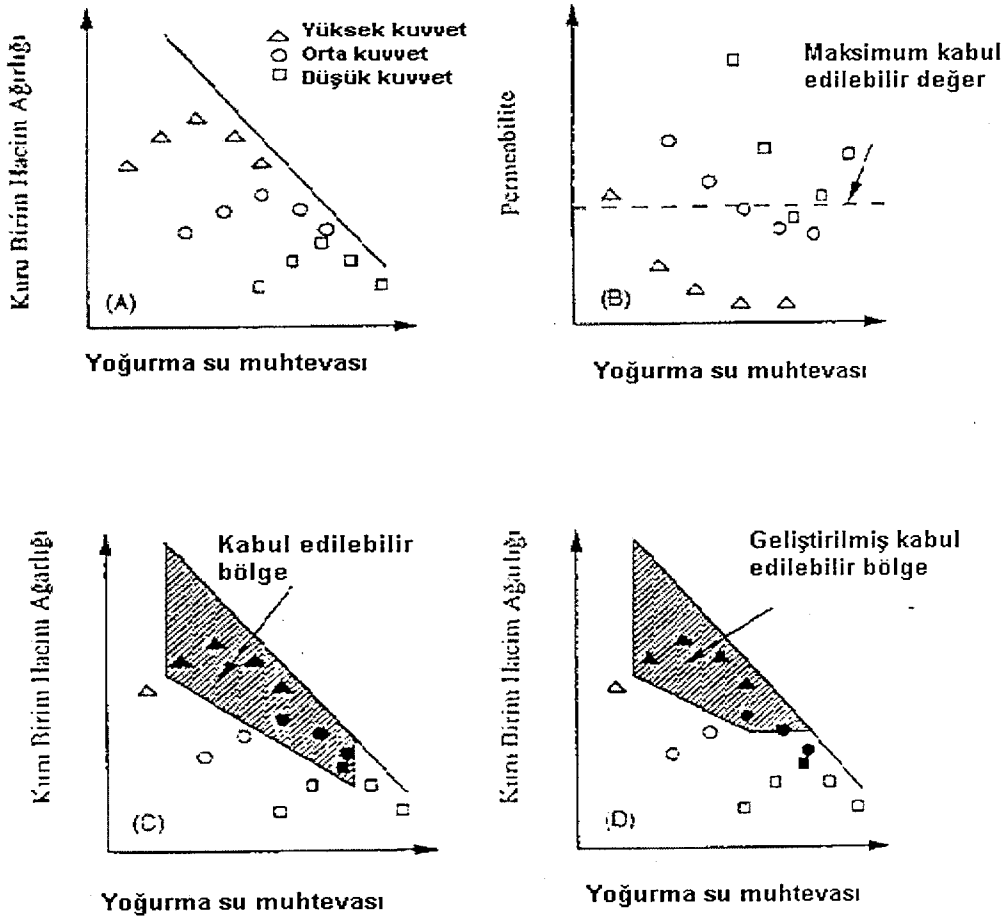
Su muhtevası aralığının tespitinden sonra, zemin yeterli enerji ile sıkıştırılmalı ve büyük boşluklar kapatılarak sürekli ve homojen ortamın oluşturulmasına çalışılmalıdır. Zeminin kuru birim hacim ağırlığı değeri, efektif kompaksiyonun kontrol edilmesinde referans olarak kullanılmaktadır.

Zeminin su muhtevası ve sıkıştırılmada uygulanan enerjinin çok değişken olduğu gözlenmektedir. Kısaca laboratuarda sağlanan sıkıştırmanın duyarlı bir biçimde tüm tabakada sağlanması oldukça güç olmaktadır.

Sağlanması tasarlanan su muhtevası aralığı biraz geniş tutularak, zemin üç farklı enerji değeri ile sıkıştırılabilecektir. Bu üç farklı değerden en büyük olanı modifiye proktor, ortalama olanı standart proktor ve küçük olanı -indirgenmiş-proktor deneyinden bulunabilmektedir. -indirgenmiş- proktor, standart proktor deneyinin bir varyasyonudur.

Buradaki tek fark sıkıştırma çekicinin 25 kez yerine, 15 kez düşürülmesi ile kompaksiyonun yapılmasıdır. İndirgemenin sebebi, düşük enerji seviyeli bir deneysel veri üretmek regresyonu duyarlı kılabilir.

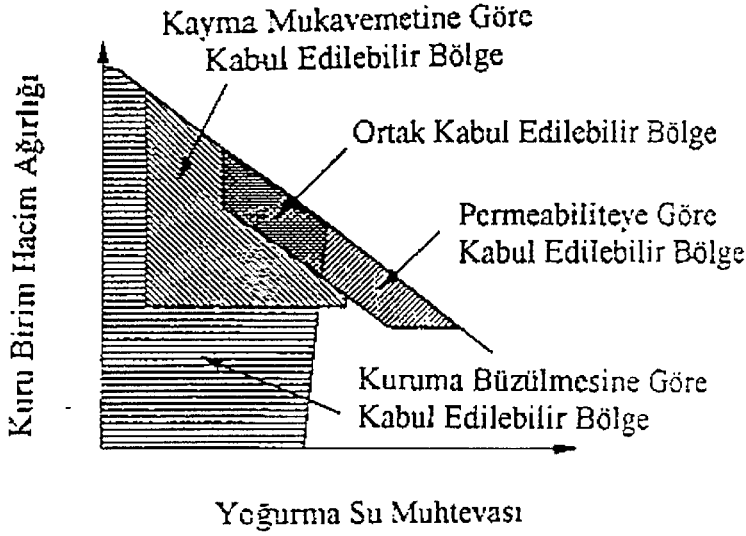
Bu yöntem Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Kabul edilebilir bölge oluşturulması için oluşturulmuş bölge [31]

Önce 5-6 numune üzerinde, üç farklı proktor deneyi, ayrı ayrı yapılarak değişik enerji seviyelerine ait optimum su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı eğrileri çizilmiştir (4.7a). Sonra, sıkıştırılmış zeminlerden alınan numuneler doygunlaştırılıp konsolidasyon deneyi yapılmıştır (4.7b). Sıkıştırma eğrisi tekrar çizilmiştir (4.7c).

Grafikteki içi dolu kutucuklar yeterli durumları, içi boş kutucuklar yüksek geçirgenliği olan numuneleri anlatmaktadır. İstenen koşullara göre, pratikte kabul edilebilecek bir bölge grafiklerde gösterilmiştir. Bu bölge bazı mukavemet değerleri ve inşaat tecrübelerinden alınan bilgilerle geliştirilerek, daraltılmıştır (Şekil 4.7).



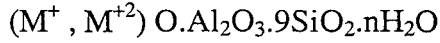
Şekil 4.8. Permeabilite, kayma mukavemeti ve kuruma büzülmesine bağlı ortak kabul edilebilir bölgeler

Şekil 4.8'de permeabilite, kayma mukavemeti ve kuruma büzülmesi kriterlerine bağlı olarak, kabul edilebilir ortak bölgenin nasıl oluşturulduğu gösterilmektedir [31].

## 5. KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

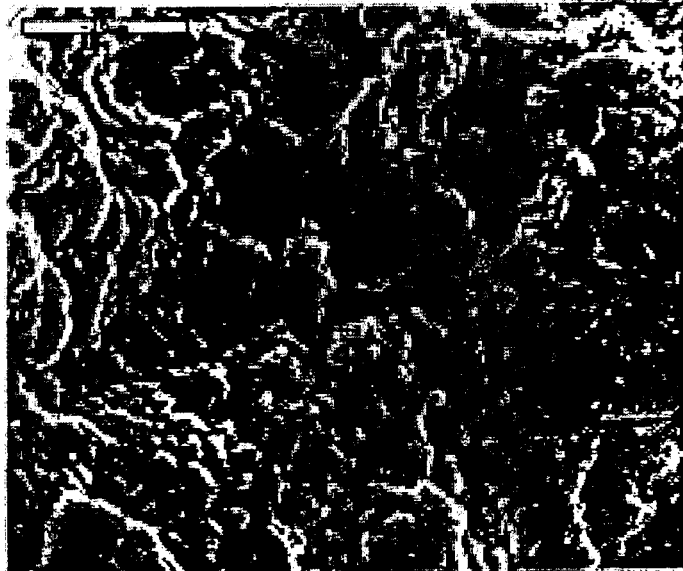
### 5.1. Zeolit

Zeolit, kelime olarak “Kaynayan Taş” anlamındadır. Alkali ve toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip sulu alümina silikatları olup çerçeve silikatlar grubundadır.



genel formülü ile ifade edilebilir. Boşluk miktarı toplam hacmin %20’si ile %50’si arasındadır. Zeolit minerallerinin en önemli özelliği; bu boşluklar ve bu boşluklara kolayca girebilen ve yer değiştirebilen sıvı ve gaz molekülleri ile toprak alkali iyonlardan ileri gelen “moleküler elek” olmasıdır. Bugün için 40 adet doğal zeolit minerali bilinmektedir.

Dünyada zeolit oluşumları 1950’lerden sonra saptanmaya başlamış ve hemen, hemen tüm kıtalarda yaygın olduğu görülmüştür. Ülkeler arasında ise Küba, Eski S.S.C.B, A.B.D., Japonya, İtalya, Güney Afrika, Macaristan ve Bulgaristan’ın önemli rezervlere sahip olduğu söylenebilir. Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme adsorbsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur. Şekil 5.1’de bentonit kili SEM fotoğrafı görülmektedir.

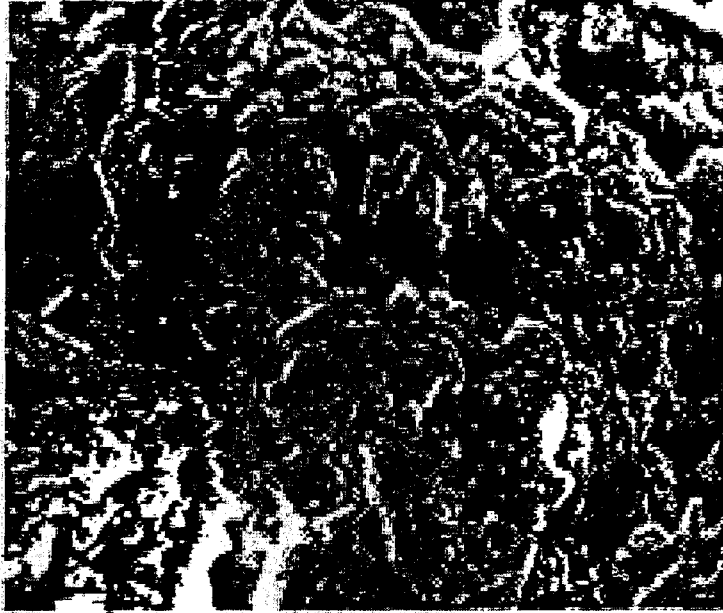


Şekil 5.1. Bentonit kili SEM fotoğrafı (1500X) [14]

Son yıllarda önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerin bu özelliklerinden biri veya birinden fazlasının istediği kullanım alanları: kirlilik kontrolü, enerji, tarım-hayvancılık, maden-metalurji ve diğer alanlar olmak üzere 5 ana bölümde toplanabilir.

Zeolit fiyatları hakkında kesin bilgiler elde edilememekle beraber yıllara göre üretim artışına paralel olarak fiyatlarda da artış olduğu bilinmektedir. 1992 yılında Doğu Avrupa ve Rusya zeolit çeşitlerini ABD limanlarında tüketicilere 100-200 \$/ton fiyatla teslim etmişlerdir.

Şekil 5.2'de zeolit kili SEM fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.2. Zeolit kili SEM fotoğrafı (1500X) [14]

Zeolit, kullanım alanlarına göre ufalanabilmeleri ve belirli boyutlarda gruplanabilmeleri büyük önem taşımaktadır. Zeolitler iyon değiştirici olarak kullanılacakları zaman, (0.84-0.50 mm), (0.60-0.40 mm), (0.60-0.17mm) gibi yakın boyut gruplarına sınıflandırılmaları gerekmektedir. Şekil 5.2'de zeolit kili SEM fotoğrafı gösterilmiştir.

Adsorbsiyon amacı ile kullanılacakları zaman, (0.50 mm), (0.30 mm), (0.17 mm) ve (0.14 mm) eleklerle sınıflandırılarak kullanılırlar. Dolgu malzemesi olarak kullanılacakları zaman ise boyutlar mikronize boyutlara inmektedir.

Etibank Bigadiç Kolemanit İşletmesinde, zeolit Balıkesir ve Söke çimento fabrikalarına KDV hariç 3-4 S/ton olarak satılmaktadır [33].

Çizelge 5.1’de zeolit minerallerinin başlıca fiziksel özellikleri verilmiştir.

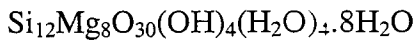
Çizelge 5.1. Zeolit minerallerinin başlıca fiziksel özellikleri [33]

İsim	Boşluk Mikt.	Isıl Kararlılık	İyon Değişirme Kapasitesi	Özgül Ağırlık
Analsim	18	Yüksek	4,84	2,24-2,29
Şabazit	47	Yüksek	3,84	2,05-2,10
Klinoptilolit	34	Yüksek	2,16	2,16
Erionit	35	Yüksek	3,12	2,02-2,08
Fojasit	47	Yüksek	3,39	-
Ferrierit	28	Yüksek	2,33	-
Hölandit	39	Düşük	2,91	2,18-2,20
Lamontit	34	Düşük	4,25	2,20-2,30
Mordenit	28	Yüksek	2,29	2,12-2,15
Filipsit	31	Orta	3,31	2,15-2,20
Natrolit	23	Düşük	5,26	2,20-2,28
Stilbit	39	Düşük	-	2,10-2,20
Linda A	47	Yüksek	5,48	1,99

Bu çalışmada zeolit kili ana malzeme olarak kullanılmıştır. Zeolit kili, silt oranı yüksek bir yapıya sahiptir. Bu özelliğinden dolayı boşluk miktarı yüksek olup moleküler bir elek gibi davranmaktadır. Zeolit kili içerisine sepiyolit kili belirli oranlarda karıştırılarak bir anlamda bağlayıcılığı artırılmıştır. Ayrıca zeolit kilinin yüksek kation değişim kapasitesi özelliğinden de bu çalışmada faydalanılmıştır.

## 5.2. Sepiyolit Kili

Sepiyolit, fillosilikat grubundan bir kil mineralidir. magnezyum hidrosilikattan ibaret doğal bir kil mineralidir. Tetrahedral ve oktahedral oksit tabakalarının istiflenmesi sonucu oluşan lifsi bir yapısı vardır ve lif eksenine boyunca uzanan kanal boşluklarına sahiptir.





Sepiyolit başlığı altındaki ticari killer ülkemizde lületaşı ve sepiyolitik kil olmak üzere iki ayrı grupta değerlendirilmektedir. Lületaşı Eskişehir yöresine has bir sepiyolit türüdür. Süs eşyası vb. yapımında kullanılmaktadır.

Sepiyolitik kil ise tabakalı sepiyolit tipi olup puslu bir yapı gösterir. Bu tip sepiyolit ( $\beta$  – sepiyolit) sanayi sepiyoliti olarak tanınmaktadır. Dünyadaki en büyük üretici İspanya'dır.

Tabiatta ortorombik yapıda kristalleşen sepiyolit, genellikle iki tip oluşum sergilemektedir. Birinci tip sepiyolit oluşumu özellikle Eskişehir ve Konya yörelerinde rastlanan lületaşı ( $\alpha$ -sepiyolit); diğeri ise sanayi ve tabakalı sepiyolit olarak adlandırılan sedimanter ( $\beta$ -sepiyolit) sepiyolittir. İkinci tip oluşumlar daha çok Eskişehir- Sivrihisar civarında görülmektedir.

Günümüzde sepiyolit, yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli duraylı süspansiyonlar oluşturması vs. gibi teknolojik uygulamalara baz teşkil eden sorptif, katalitik ve reolojik özelliklerinden dolayı sayısız kullanım alanına sahip bulunmaktadır. Sepiyolitin yapısı, ısı işlemlere karşı duyarlıdır. Zeolit ve adsorbe su molekülleri, ısı derecesi yükseldikçe yapıdan uzaklaşır. Bu mineral ayrıca asitle muameleye karşı da duyarlı olup bu işlem sonucu kristal yapısı hemen tahrip olabilir. Hem ısı, hem de asitle muameleleri, sepiyolitin yüzey özelliklerini ve porozitesini değiştirebilir. Böylece, mineralin sorptif, katalitik ve reolojik özelliklerini değiştirmek mümkün olabilmektedir.

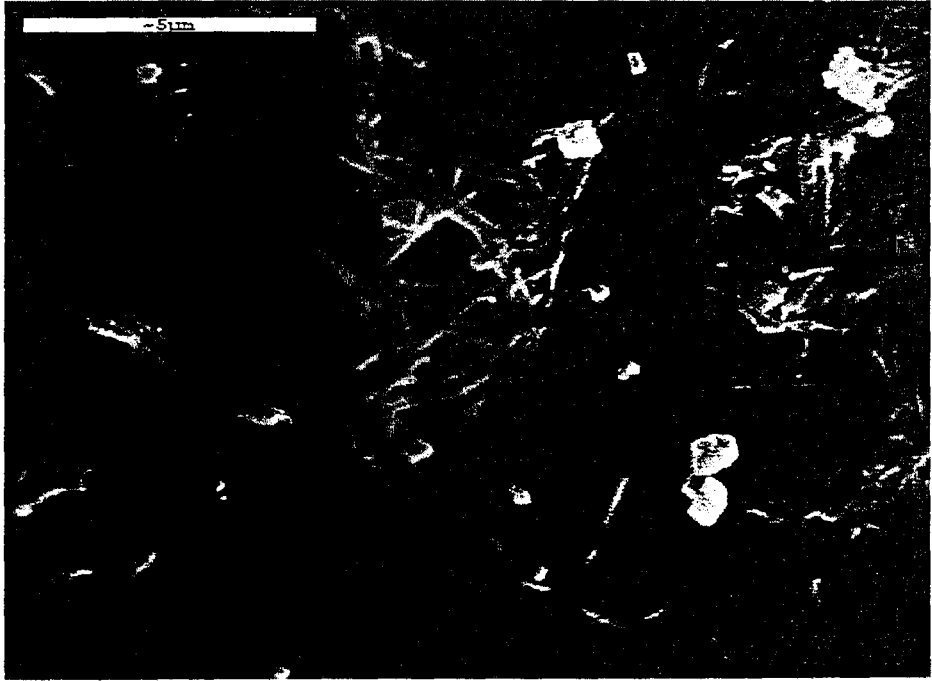
Sepiyolitle ilgili çalışmalar ve bu mineralin sentezini amaçlayan araştırmalar, sepiyolitin oluşması için gerekli olan pH değerinin 8-8,5 olduğunu göstermiştir [21].

Kaygan görünümlü, ince taneli, toprağımsı bir yapıya sahip tabakalı sepiyolit, genellikle beyaz,krem, gri veya pembe renkli olabilmektedir. Sepiyolit gözenekli (poroz) bir yapıya sahiptir. Yoğunluğu  $2-2,5 \text{ g/cm}^3$  arasında olup, çok gözenekli olan türlerin yoğunluğu zaman zaman birin altına düşebilmektedir. Kuruduğu zaman yoğunluğu düşeceğinden suda yüzme özelliği gösterir. Sepiyolitin kuruma sıcaklığı  $40^\circ \text{C}$ 'dir. Erime sıcaklığı ise  $1400-1450^\circ \text{C}$  arasında değişmektedir.

Kil mineralleri bazı katyon ve anyonları adsorbe ederek onları değişebilen durumda tutarlar. Sepiyolit in ihtiva ettiği değişebilir katyonlar, oktahedral tabakada yer alan  $Mg^{+2}$  ve az miktarda  $Fe^{+3}$  iyonları ile yapraklararası katyonlar diye adlandırılan ve eser miktarda bulunan  $Ca^{+2}$ ,  $Na^{+2}$  ve  $K^{+}$  iyonlarıdır. Katyon değişim kapasitesi (KDK), 100 g mineralin adsorpladığı katyonun mili equivalent (meq/100 g) olarak ifade edilmesidir. Katyon değişim kapasitesi,  $Si^{+4}$ 'in üç değerlikli katyonlarla yer değiştirmesi sonucu açığa çıkan ve büyük lde kristal içi yer değiştirmelerle dengelenmeye çalışılan elektriksel yükün kompanse edilmesi ihtiyacına ve lif kenarlarındaki kırılmış bağları n varlığına dayalıdır.

şekil 5.3'de sepiyolit kiline ait SEM fotoğrafı gösterilmektedir.

Söz konusu kırılmış kimyasal bağlar, özellikle daha iyi kristalin formlar gösteren sepiyolitlerde, katyon değişim kapasitesinin en önemli etkenidir.



şekil 5.3. Sepiyolit kilinin SEM fotoğrafı [14]

Sepiyolit kendine has yapısı itibariyle son derece yüksek bir sorpsiyon özelliğine sahiptir ve kendi ağırlığının 200-250 katı kadar su tutabilir. Sepiyolitin genleşme özelliği yoktur. Yüzey alanı, yaklaşık olarak 800-900 m<sup>2</sup>/g'dır. Diğer killerde olduğu gibi, sepiyolitin yüzey alanı ve gözenekliliği ısı aktivasyon veya her ikisi de uygulanarak değiştirilebilmektedir.

Dünya sedimanter sepiyolit üretiminin büyük bir kısmı İspanya tarafından karşılanmaktadır. Bu durum, rezervlerinin büyüklüğünden çok, son 30 yıllık araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucunda ortaya koydukları 40'ın üzerinde ürün çeşidi ve pek çok sayıda patentten kaynaklanmaktadır. Yine hiçbir rezervi olmamasına karşın Japonya'nın sepiyolit konusunda 4000'in üzerinde patenti olduğu belirtilmektedir.

Maden Tetkik Arama Enstitüsü M.T.A'nün değişik projeler kapsamında yaptığı çalışmalarda, İspanya'dan sonra dünyanın en büyük sepiyolit rezervlerinin Türkiye'de olduğu ve üç ayrı kalitede sedimanter kökenli sepiyolitin varlığı tespit edilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü kalite sepiyolitlerin varlığı tespit edilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü kalite sepiyolitlerin % mineral içerikleri sırasıyla >90, 70-89 ve 50-69'dur. Yine Türk sepiyolitinin, yüksek kalitesi ve lif boylarının kısa olması (2-5  $\mu$ ), dolayısıyla kanserojen etkisinin olmaması nedeniyle, emsallerine nazaran daha avantajlı olduğu belirtilmiştir.

Ülkemiz madenciliği için yeni bir umut ışığı olma yolunda olan sepiyolit, ilaç sanayinden seramik sektörüne, tarım sektöründen hayvan ve besicilik sektörüne, katalitik uygulamalardan lif takviyeli çimento üretimine, kauçuk sanayinden biyoreaktörlere, endüstriyel atık suların arıtılmasından atık baca gazlarının temizlenmesine vb. gibi çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bularak, geç de olsa geleneksel endüstriyel mineraller arasında layık olduğu yeri alacaktır.

Çizelge 5.2' de değişik killere ait katyon değişim kapasitesi değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tipik kil minerallerinin pH=7'de belirlenmiş KDK değerleri (Çokça, 1993; Breck, 1974).

KİL MİNERALLERİ	KATYON DEĞİŞİM KAPASİTESİ SINIRLARI (meq/100 g)
Montmorillonit (Smektit)	80-150
Vermikülit	100-150
Zeolit	170-260
Sepiyolit-Atapulgit	20-30
Halosit.2H <sub>2</sub> O	5-10
Halosit.4H <sub>2</sub> O	10-40
İllit	10-40
Klorit	10-40
Kaolinit	3-15

Sepiyolitik kil suda kolayca dağılır. Sepiyolitik kilin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO içeriği ve ateş kaybı daha fazladır.

Sepiyolitik kil şu alanlarda kullanılmaktadır:

- Yüksek porozitesi nedeniyle gaz ve sıvıların temizlenmesinde absorban olarak,
- Leke çıkartma amacıyla,
- Otomobil sanayinde yakıt temizleme ve korozyona dayanıklı oto boyası imalinde,
- Füze ve diğer uzay araçlarının yalıtılmasında,
- Hafif yapı malzemesi olarak,
- Ülserle karşı ilaç olarak,
- İyon değiştirici olarak,
- Parafinlerin ayrılmasında,
- Evcil hayvanların altına yaygı malzemesi olarak kullanılır.



Mangan oksit ve demir oksitlere, aynı zamanda organik maddelere bağlı bulunan bakırın büyük kısmı çok kuvvetli bağlara sahip ve zor adsorbe edilir şekildedir. Bunun için değişebilir bakır içeriği pH>5 durumunda genel olarak %1 civarındadır.

Bakır birçok ürünün kullanılmasında (bakır telleri, elektrik iletim telleri, elektronik endüstrisinde) kullanılmaktadır ve endüstrilerin atık sularında da yığılan sedimentler üzerindeki değerleri ortalama 530 mg/kg kuru ağırlık, aşırı durumlarda da 5300 mg/kg kuru ağırlığa kadar çıkabilir.

Bakır çözünebilirliği ve alınabilir duruma geçmesi, pH<5 olduğu durumlarda daha belirgin olarak yükselir. Eğer toprağın pH değeri 6'nın üzerine çıkarsa, bakırca zengin kuvvetli asit topraklarda Cu toksitesi azalmaktadır. Aynı zamanda yüksek fosfat da bakır alımını etkilemektedir.

İçerisinde 100 mg/kg 'dan fazla bakır içeren atık suların ve arıtma çamurların toprağa verilmesi sınırlandırılmıştır. İçinde 100 mg/kg bakır bulunması halinde bile, mera otlarında bakır içeriği çok yüksek olur (15 mg/kg kuru madde) ve koyunlarda zehirleyici etkide bulunur [34].

Bu çalışmada kullanılan ağır metallere biri Cu ağır metalidir. Hazırlanan numunelerden beş gün boyunca 250 ml. kullanılmıştır. 2000 ppm'lik çözelti geçirilmiştir. Deney sonucunda, hazırlanan numunelerin bu ağır metalleri bünyelerinde tutma kapasiteleri belirlenmiştir.

#### 5.4. Krom (Cr)

Krom elementi zeminde (toprakta) diğer metallere farklı olarak az miktarda bulunmaktadır. Rafineri atıklarında oldukça fazla miktarlarda bulunan bir ağır metaldir. Krom inorganik bir kimyasaldır. Zemin içinde taşınabilen ve en fazla çözünebilir bir metaldir. Kromun zararlı şekli kromat ( $CrO_4^{2-}$ ) gibi kromun hexavalent veya dikromat ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) durumudur.

Kromun toprak içindeki kil minerallerine adsorbe edildiği ve çözünürlüğünün pH>4 olduğu koşullarda gerçekleştiği ve pH=5.5 civarında ise çökelindiği bilinmektedir.

Maksimum krom miktarları, Almanya'da temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg, Yeni Zelanda 'da temiz toprak içerisinde 0.5-110 mg/kg, Hollanda'da temiz toprak içerisinde 100 mg/kg 'dır. Krom elementinin içme suyundaki maksimum değeri 0.05 mg/l olmalıdır.

Endüstride paslanmaz çelik üretiminde, lehim ve pas önleme üretimlerinde, yapı malzemelerinden boya, cila, cam ve seramik malzemelerinde ve deri endüstrisinde kullanılır. Almanya'da 100.000 ton krom üretilmekte ve bunun 25.000 tonu çevrede hava, su ve toprağa verilerek meydana getirilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan ağır metallere biri Cr ağır metalidir. Hazırlanan numunelerden beş gün boyunca 250 ml. kullanılmıştır. 2000 ppm'lik çözelti geçirilmiştir. Deney sonucunda, hazırlanan numunelerin bu ağır metalleri bünyelerinde tutma kapasiteleri belirlenmiştir.

## **5.5. Kurşun (Pb)**

Kurşun elementinin çözünebilirliği zemin içinde bulunan organik madde, karbonat, hidroksit, fosfat ve sülfat miktarı ile ilgilidir. Zemin içindeki mevcut fosfor ve pH değeri azalır ise, kurşunun çözünebilirliği artar. Maksimum kurşun miktarları Almanya'da temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliği'ne göre toprak içerisinde 100 mg/kg, Yeni Zelanda 'da temiz toprak içerisinde 2-200 mg/kg, Hollanda'da temiz toprak içerisinde 85 mg/kg dır. 1991 yılında yayımlanan Resmi Gazete'de sudaki maksimum kurşun miktarı 1 mg/l olarak verilmiştir. Kurşun inorganik bir kimyasaldır.

İnsan ve hayvanda ciğer, böbrek ve özellikle kemik ve dişlerde birikmektedir. İnsanlarda gıda maddelerince ve solunum yoluyla alınabilir. Hemoglobinin sentezinde görev alan enzimleri engeller, anemi oluşur.

Kurşun çözünürlüğü, ortamın pH değeri, toplam kurşun içeriği, redoks koşulları ve diğer maddelerin durumu ile etkilenir. Kadmiyum, çinko ve nikelin aksine kurşun toprakta son derece hareketsiz bir elementtir. pH değeri 5'den büyükse çok az çözünür. Kurşun, spesifik adsorpsiyon özelliğinden dolayı diğer tüm metallere daha kuvvetli olarak toprağa bağlanır.

Toprakta kurşun taşınması ve yıkanması, çözünürlüğün düşük olması ile çok az olur. Yapılan çalışmalar, kirli ortamlarda kurşunun %80'inin ilk 20 cm' lik üst toprakta tutulduğunu göstermiştir. Asidik topraklarda verilen kurşunun %99'unun 10 yıllık sürede toprağın üst 50 cm' sinde tutulduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan ağır metallerden biri Pb ağır metalidir. Hazırlanan numunelerden beş gün boyunca 250 ml. kullanılmıştır. 2000 ppm'lik çözelti geçirilmiştir. Deney sonucunda, hazırlanan numunelerin bu ağır metalleri bünyelerinde tutma kapasiteleri belirlenmiştir.



## 6. DENEY METODLARI

### 6.1. Standart Kompaksiyon Deneyi

Kompaksiyon, zeminin tabaka serilerek, silindirleme, vibrasyon uygulama, tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına denir. Bu işlemlerle; zemin taneleri arasındaki boşluk miktarını azaltmak sureti ile zeminin taşıma gücü artırılır, geçirimsizliği azaltılır ve zeminin sabit, hareketli, dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır.

Kompaksiyonun ölçüsü olarak, zemine ait kuru birim hacim ağırlığından faydalanılır. Bu yüzden kompaksiyon deneyleri için optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının bulunması için yapılan deneyler de diyebiliriz. Kuru birim hacim ağırlığı ne kadar büyükse, zemin o derece iyi sıkışacaktır. Kuru birim hacim ağırlığının en büyük değerine ulaştığı su muhtevasına optimum su muhtevası denir. Yani en iyi sıkışma optimum su muhtevasında elde edilir. Optimum su muhtevasının belirlenebilmesi için standart proktor deneyi kullanılır.

Laboratuarda serbest basınç deneyleri için standart proktor deneyi, ASTM D698-78 (1985) belirtilen "Test Methods for Moisture – Density Relations of Soils and Soil Aggregate Mixtures, Using 5.5 – 1b (2.49- kg) Rammer and 12- inc. (305-mm) Drop" metodu ile yapılmıştır.

Standart proktor deneyinde, iç çapı 10,2 cm, yüksekliği 11,7 cm olan metal bir silindir (mold) kullanılır. Deneyde kullanılacak olan zemin numunesi, üç tabaka halinde molda serilir ve her bir tabaka 30,5 cm' den serbestçe düşen 2,5 kg ağırlığındaki bir tokmakla 25 vuruş ile sıkıştırılır. Kullanılan tokmak ve vuruş sayılarının standart olması sebebiyle zemine sıkıştırma yoluyla verilen enerji de standarttır. Standart proktor deneyinde uygulanan kompaksiyon enerjisi  $590 \text{ kJ/m}^3$  tür.

Kullanılan kabın (mold) içindeki sıkıştırılmış zeminin yaş ağırlığı belirlenir. Standart proktor kalıbının hacmi 929.37 cm<sup>3</sup> tür. Böylece zeminin birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ) belirlenmiş olur. Sıkıştırılmış zeminin su muhtevasının belirlenmesi için, alttan ve üstten olmak üzere iki yerden numune alınır ve bu iki değer in ortalaması hesaplara esas olur. Bulunan su muhtevası değeri ( $\omega$ ) kullanılarak, kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma_k$ ) bulunur. Deney değişik su muhtevaları için tekrarlanır.

## **6.2. İndeks Deneyleri**

### **6.2.1. Su muhtevası**

Su muhtevası, su ağırlığının tane ağırlığına veya zemin içerisindeki toplam katı maddeye oranı olarak tanımlanır. Su muhtevası, konsolidasyon, flokule yapı, sızıntı ve adsorpsiyon özelliklerinin anlaşılmasında önemlidir ve karışım oranlarının belirlenmesi için öncelikle belirlenmelidir.

Laboratuarda yapılan deneyler sonucunda, hazırlanan numunelerin su muhtevası değerleri ASTM D2216-80 (1985) metoduna uygun olarak belirlenmiştir. Belirlenen su muhtevası değerleri karışımdan hemen sonra, yani yaklaşık olarak 10 dakika sonra belirlendiği için “Taze Su Muhtevası” olarak adlandırılmıştır.

### **6.2.2. Tane özgül ağırlığı**

Birim hacimdeki zemin ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Zeminlerin tane özgül ağırlığı, hacim ve ağırlık ilişkisinin tespit edilebilmesi için gereklidir. Deneylerde tane özgül ağırlığı ASTM D854-83 (1985) belirtilen metoda uygun olarak belirlenmiştir.

### 6.2.3. Tane apı dağılımları

İyi derecelenmiş gronölometri eğrisine sahip zeminler, yüksek mukavemet gibi mekanik özelliklere sahiptir. İnce tane yapısına sahip zeminler, genellikle iyi işlenebilme özelliklerine sahiptir ve daha çok absorbent malzemeler içerdiği için iyi bir kimyasal stabilizasyon sağlamakta fakat bunun yanında ince taneli veya zeminlerin mukavemeti düşük olmaktadır.

Tane apı dağılımlarını belirlemek amacıyla yapılan elek analizi ASTM D421-58 (1978) belirtilen metoda ve hidrometre analizi ASTM D422-63 (1972) belirtilen metoda uygun olarak belirlenmiştir.

Numune, önce 200 nolu elekten yikanarak elek analizi yapılır, daha sonra 200 nolu elek altından 50 gr. malzeme alınarak hidrometre deneyi ile tane çapı dağılımları belirlenir.

### 6.2.4. Atterberg kıvam limitleri

Kohezyonlu zeminlerde kıvam, zeminin sertlik-yumuşaklık durumunu belirler. Bu durum su muhtevasına bağlı olarak değişim gösterir. Zemine artan miktarda su ilave edildiğinde, zemin sırasıyla katı, yarı-katı, plastik ve likit duruma geçer. Likit durumda zemin yavaşça akma özelliği gösterir. Plastik durum ise zeminde kırılma ve çatlama olmaksızın istenilen şeklin verilebildiği durumdur. Buna bağlı olarak mühendislik özelliklerinde değişiklikler meydana gelebilmektedir. Zemine ait kıvam limitleri iyi değerlendirilirse, zeminin birçok özelliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Bir zemine ait likit limitin yüksek olması, o zeminin sıkışabilirliğinin yüksek olmasını gösterir.

Atterberg tarafından tanımlanan kıvam limitleri :

1. Likit Limit ( $W_L$ ): Zeminin kendi ağırlığı altında aktığı minimum su muhtevasıdır. Başka bir deyişle zeminin viskoz bir sıvıdan plastik bir kıvama dönüştüğü su muhtevasıdır.

2. Plastik limit ( $W_P$ ): Plastik limit, ıslak zeminin yoğrulma sırasında yüzeyinde çatlakların belirlediği su muhtevası olarak tanımlanır. Plastik limit deneyinden artan bir miktar zemin buzlu cam üzerinde avuç içi ile yuvarlanır. Plastik limit el altında yuvarlama sırasında oluşan zemin makarnasının 3 mm kalınlıkta ufalandığı su muhtevasıdır. Eğer zemin makarnasının çapı 2 mm' ye düştüğü halde ufalanma meydana gelmiyorsa zeminin henüz plastik olduğu kabul edilerek bir miktar daha kurutma yapılarak deney tekrar edilir. Zemin plastik bir malzemedan yarı plastik bir malzeme haline dönüşür.

Zeminin katı halden plastiğe ve plastik halden de sıvı hale geçişini tespit eden ilgili su muhtevalarını tayin için kullanılan deneylere plastik limit ve likit limit deneyi denir.

Numunelerin likit limit ve plastik limitleri ASTM D4318-84 (1985) belirtilen metoda uygun olarak belirlenmiştir.

### **6.3. Mekanik Deneyler**

#### **6.3.1. Serbest basınç deneyi**

Serbest basınç deneyi, zeminlerin dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılır. Serbest basınç deneyi aynı zamanda üzerlerine kür uygulanan numunelerin pozolanik aktivitesini gösterir. Zeminin serbest basınç direncinin bulunduğu deneydir.

Numunelerin serbest basınç mukavemeti ASTM D2166-66 (1985) belirtilen "Test Methods for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil" metoda uygun olarak belirlenmiştir.

Bu deneyde yalnızca aksenal basınç yükü uygulandığından, yanal basınç ve onun oluşturduğu gerilmeler ( $\sigma_3$ ) yoktur. Bu yüzden serbest basınç deneyi ancak herhangi bir yanal destek olmaksızın ayakta durabilecek özelliklere sahip zeminler üzerinde uygulanabilmektedir.

Bu deneyin kum zemin numuneleri üzerinde uygulanması mümkün değildir, yalnızca killi zemin numuneleri üzerinde yapılır. Deney sırasında numunenin deney drenaj koşulları kontrol edilmediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilmektedir. Deneyde, zeminin serbest basınç mukavemeti, zemin numunesinin kırılması anında yatay enkesitte birim alana gelen basınç olarak kabul edilir. Zeminin serbest basınç mukavemeti  $q_u$  bulunur.

Serbest basınç deney aleti, biri sabit, diğeri düşey yönde hareket ettirilebilen iki yuvarlak plakadan oluşur. Numune bu iki plaka arasına konur. Düşey yük, bir yük halkası, bir yük ölçme düzeni ile düşey deformasyon biçiminde uygulanır. Halkanın yükün uygulandığı doğrultudaki çapında meydana gelen kısaltma miktarı, iç kısımdaki bir deformasyon saati ile gözlenir. Daha önce bilinen yükler altında yük halkası kalibre edilerek, ne kadarlık bir yüke karşılık geldiği belirlenir. Numunenin düşey eksenel boy kısalması ( $\Delta H$ ), sabit bir yere takılmış ayrı bir deformasyon saati ile ölçülür.

Serbest basınç deneyi, optimum su muhtevasında standart proktor kalıbında sıkıştırılan kil numunesinin eksenel doğrultuda yüklenmesi ile yapılmıştır. Eksenel yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısalması ölçülerek gerilme-şekil değiştirme eğrisi çizilmiştir. Eksenel gerilmenin en büyük değeri (veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirme seviyesine karşılık gelen değeri) kilinin serbest basınç mukavemeti değerini vermektedir.

### **6.3.2. Permeabilite deneyi**

Permeabilite katsayısı, kirliliğin fiziksel olarak izole edilme kapasitesini gösterir. Atık veya zemin içerisindeki asit veya bazlar, zemin kütleindeki mineraller ve diğer katı maddelerin erimesine sebep olur, boşluklar ve dolayısıyla permeabilite artar.

Bilinen iki yöntemden birincisi çakıl ve kum gibi iri taneli zeminlere uygulanan sabit seviyeli permeabilite deneyi, diğeri kil ve silt gibi ince taneli zeminlere uygulanan düşen seviyeli permeabilite deneyidir.

Deney hücresine optimum su muhtevasında distile su ile standart proktor kalıbında hazırlanan kil numunesi örselenmeden yerleştirildi. Hücre basıncı 10 psi olarak uygulandı. Numunenin alt ve üst drenaj muslukları ayrı ayrı basınç ayar tablosunda bulunan ölçekli bir cam tüpe bağlandı. Numunenin alt ve üst seviyelerindeki basınç farkından dolayı üstten alta doğru akım oluşmaktadır. Cam tüplerdeki seviyeler belirli zaman aralıklarında ölçüldü. Numuneye giren su miktarı ve çıkan su miktarı eşit olana kadar deneye devam edildi. Sekil 6.1.'de permeabilite deneyi düzeneği gösterilmiştir.

Permeabilite katsayısının tayini U.S EPA Method 9100 (1986)'da belirtilen, "Saturated Hydraulic Conductivity, Saturated Leachate Conductivity and Intrinsic Permeability" deney metoduna uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 6.1. Permeabilite deney düzeneği

### 6.3.3. Permeabilite sonrası serbest basınç deneyi

Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelerin, permeabilite deneyi sonrasında geçirimsizlik değerleri belirlenmiştir. Permeabilite deneyi sonrasında numunelerin serbest basınç deneyi ile doygun su muhtevasındaki mukavemetleri belirlenmiştir.

### 6.3.4. Konsolidasyon deneyi

Uygulanan yükler altında zemin tabakalarının sıkışmasının genellikle tek doğrultuda meydana geldiği kabul edilmektedir. Sabit yük altında boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu zeminlerde meydana gelen hacimsel şekil değiştirmeye zemin mekaniğinde “konsolidasyon” adı verilmektedir. Bu konsolidasyon değerini belirlemek için konsolidasyon deneyi yapılır.

Laboratuarda konsolidasyon deneyleri, ASTM D2435-96 belirtilen “Standart Test Method for One- Dimensional Consolidation Properties of Soils” metoduna uygun olarak belirlenmiştir.

Zeminlerdeki sıkışma başlangıçta hızlıdır. Zamanla yavaşlar ve belli bir süre sonra hemen hemen durur. Hacim değişiminin ve konsolidasyonun hızı zeminin permeabilitesi ile doğru orantılıdır. Eğer zemin permeabilitesi yüksekse yük artışı sırasında su kaçıışı çabuklaşır ve konsolidasyon hızı artar. Yüksek geçirimsizliğe sahip zeminlerde, sıkışma hızla ilerleyerek kısa bir süre sonunda son değere varılmaktadır. Killere gibi düşük geçirimsizliğe sahip zeminlerde sıkışma çok yavaş ilerlemektedir. Killerde sıkışma miktarı genel olarak tabii su muhtevasına bağlı olarak artmaktadır.

Killi zeminlerin konsolidasyonu zamana bağlı olarak ve yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Killerin sıkışması daha önceden maruz kaldığı yüklere bağlıdır. Killere, konsolidasyon geçmişine göre, başlıca 3'e ayrılırlar.

- 1) Normal konsolide olmuş killere : Geçmişte, şu anki yükünden daha büyük yüklere maruz kalmamış olup, o anda üzerlerinde bulunan yükler altında konsolidasyonlarını tamamlamışlardır.

2) Aşırı konsolide olmuş killer : Geçmişte, şu an üzerlerinde bulunan yükten daha büyük yüklere maruz kalmış killerdir.

3)Konsolidasyonu devam eden killer : Şimdiki yükü altında, konsolidasyonunu tamamlamamış, konsolidasyonu devam eden killerdir. Aşırı konsolide killerin daha yüksek mukavemete sahip oldukları bilinmektedir [34].

Konsolidasyon deneyi optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin ödometre haznesine yerleştirilip 24 saat arayla yük uygulanmasıyla yapılır.

Deney başında sıfır konumuna getirilen deformasyon saati, 24 saat sonunda okunarak düşey oturma miktarındaki farklılıklar belirlenir. Hesaplamalar sonucu konsolidasyon parametreleri belirlenir.

### **6.3.5. Serbest şişme deneyi**

Serbest şişme deneyi, şişen bir zeminde meydana gelebilecek maksimum hacim değişiminin düşey yöndeki şişme ile ifade edilmesi esasına dayanır. Genellikle düşey yöndeki şişme miktarı, yüksüz veya çok küçük sürşarj yükleri altında belirlenmektedir.

Laboratuarda serbest şişme deneyleri ASTM D4546-96’da belirtilen “Standart Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils” metoduna uygun olarak belirlenmiştir.

Kullanılan yöntem gereği numune ring ile çevrelendiği için yatay yöndeki şişme engellenir ve sadece düşey yöndeki değişimler belirlenir. Bu deney sonucunda bulunan büyüklük, şişen zeminlerin şişme kapasitelerinin ifade edilmesinde kullanılan büyüklüklerden biridir.



## 6.4. Fiziko- Kimyasal Özellikler

### 6.4.1. Adsorpsiyon deneyi

Adsorpsiyon, sabit basınç altında bir gaz, buhar veya çözeltilinin bir katı yüzey ile temas ederek hacminin veya derişiminin değişmesi ve bu değişimin de katı yüzey tarafından gerçekleştirilmesidir. Adsorpsiyon, fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır. Fiziksel adsorpsiyon tüm gaz, buhar ve katılar arasında gözlenir. Adsorpsiyona neden olan kuvvet, dipol dipol etkileşmesi veya Van der Waals kuvvetleridir. Fiziksel adsorpsiyondan yararlanarak, gözenekli katıların yüzey alanını, gözenek büyüklüğünü ve gözenek dağılımını tayin etmede kullanılan yöntemler geliştirilmiştir. Kimyasal adsorpsiyonda ise kirletici bileşen molekülü adsorbana kimyasal bağla bağlanmıştır ve katı yüzey üzerinde birleşme kuvvetleri tarafından tutulmuştur. Adsorpsiyonda, adsorban olarak başta aktif karbon olmak üzere alümina, boksit, bone char, magnezit, silikajel, stronsiyum sülfat vb. maddeler kullanılabilir.

Bu proses, çevre mühendisliği uygulamalarında özellikle atıksu arıtım tesislerinde, ileri ve son arıtım tekniği olarak kullanılmaktadır. Klasik arıtma ile arıtılması güç olan ve zehirlilik, renk, koku kirliliği yaratan kimyasal maddelerin adsorplayıcı bir katı madde (adsorban) yüzeyinde kimyasal ve fiziksel bağlarla tutunması ilkesinden yararlanır. Genelde bu tür uygulamalarda aktif karbon kullanılır.

Bir adsorpsiyon dengesi kurulduğunda, adsorban maddenin birim kütlesinin adsorpladığı gaz, buhar veya madde miktarı sıcaklık (T), derişim (C) ve basınç (P) veya denge basıncının ( $P_e$ ) bir fonksiyonudur. Sıcaklığın sabit tutulduğu durumda aşağıda verilen eşitlik kullanılır.

$$(x / m)_T = f(P \text{ veya } C)$$

Bu şekilde elde edilen eğrilere adsorpsiyon izotermi denir. Deneysel olarak belirlenen adsorpsiyon izotermelerini ve diğer adsorpsiyon verilerini değerlendirmek için çok sayıda denklem üretilmiştir. Adsorplanan veya adsorplayıcı için bu eşitliklerden biri yada birkaçı daha uygun olmaktadır.

#### 6.4.1.1. Freundlich denklemi

Çözeltideki madde derişimi ile adsorplanmış madde arasındaki ilişki için ilk eşitlik Freundlich tarafından üretilmiştir. Burada düşünülen ideal olarak temiz ve homojen olmayan katı yüzeylerindeki adsorpsiyonlardır.

Ampirik Freundlich izotermi deneysel olarak bulunur, sınırlı çözünen derişim aralıklarındaki adsorpsiyon dengeleri gösterir.

$$(x / m)_T = X = K_f \cdot C_e^{1/n}$$

$x$  = Adsorplanan çözünen kütlesi

$m$  = Adsorban kütlesi

$X$  = Katı fazın kütle oranı (Adsorbanın kütlesi başına adsorplanan çözünen kütlesi)

$C_e$  = Çözünenin denge derişimi (Kütle/Hacim)

$K_f, n$  = Ampirik sabitler

Bir log- log grafik kağıdına  $C_e$ 'e karşı  $(x / m)$  çizilirse, doğrunun eğimi 1, kayması da  $K$  olacaktır.

$$\log (x / m) = \log K_f + (1/n) \log C_e$$

İyonik katılardaki adsorpsiyonlarda, fiziksel adsorpsiyon nicel olarak tanımlanan iyon değişimi gibi bir kimyasal olaydan sonra başlar. Kimyasal adsorpsiyondan katyon değişim kapasitesi gibi bazı kimyasal özelliklere, fiziksel adsorpsiyondan ise özgül yüzey alanına geçilebilmektedir.

### 6.4.1.2. Langmuir denklemi

Tek tabakalı fiziksel adsorpsiyon ve çözülden adsorpsiyon için Langmuir denklemi kullanılabilir. Gaz katı aralığında her basınç aralığında sınırlı çözünen derişimler için geçerlidir.

Langmuir izotermi için kabuller;

1. Adsorpsiyon için mevcut alan sınırlıdır.
2. Yüzeyde adsorplanan çözünen materyal yalnızca 1 molekül kalınlığındadır.
3. Adsorpsiyon tersinirdir ve bir denge koşuluna ulaşılır.

Adsorban, bir çözültiye konduğunda, çözünen adsorplanır ve desorpsiyonda gerçekleşir. Fakat adsorpsiyon hızı, desorpsiyon hızından büyüktür. Sonuçta adsorpsiyon hızının desorpsiyon hızına eşit olduğu bir denge koşuluna ulaşılır.

Langmuir adsorpsiyon denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$(x / m) = (abC_e) / (1 + bC_e)$$

$(x / m)$  = Adsorbanın birim ağırlığı başına adsorplanan miktarı

a = Birim adsorban kütesinin tamamen doyması için gerekli adsorplanan çözünen kütesi,

b = Deneysel sabit

$C_e$  = Çözültideki adsorplananın adsorpsiyondan sonraki denge derişimi

$$C_e / (x/m) = (1/ ab) + (C_e / a)$$

$C_e$ 'ye karşı  $C_e / (x / m)$  değerleri grafiğe geçirilir. Eğim  $(1/a)$  yı, kayması da  $(1/ab)$  yi verir. Buradan a ve b değerleri bulunur.

Langmuir denklemlerinde adsorpsiyon hızı;

1. Çözünenin çözülti içinden, adsorban katıyı çevreleyen sıvı filmi ya da sınır tabakasına hareketi,
2. Çözünenin sıvı filminden difüzyonu,

3. Çözünenin adsorban katı içinde kapiler ya da gözeneklere difüzyonu,
4. Çözünenin, kapiler duvarları ya da yüzeylerine adsorpsiyonu ile belirlenen çeşitli kütle aktarım mekanizmalarından biri ile sınırlıdır.

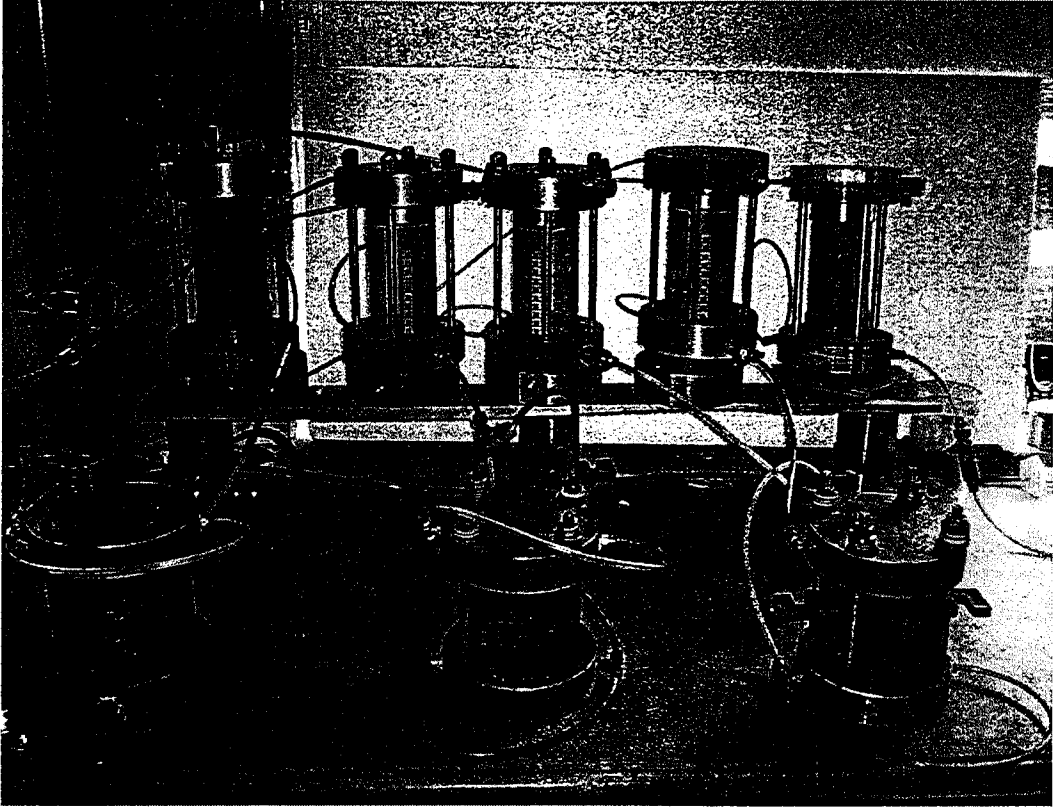
## 6.5. Çevresel Şartlara Ait Özellikler

### 6.5.1. Sızıntı deneyi

Kimyasal içeriklerle kirlenen bu sızıntı suyu, zemin içerisine nüfuz ederek kirliliğin yayılmasına sebep olmaktadır. Atık depo alanlarında sızıntı suyunun temizliği sağlanması gerekli ve önemli kriterlerden biridir. Sızıntı suyunun kalitesi, kirliliğin sabitlendiğinin yani mikrokapsüllemenin gerçekleştirildiğinin göstergesi olmaktadır [27].

Optimum su muhtevasında hazırlanmış numunelerden, hazırlanan deney düzeneği ile 5 gün süreyle, 20 psi'lık basınç altında 2000 ppm derişiminde ağır metal (Cu, Cr ve Pb) her gün 250 ml. kullanılarak geçirilmiştir.

Numuneler içinden geçirilen metaller toplanarak, sızıntı suyu içindeki ağır metal miktarları, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri belirlenmiştir. Geçirimsizlik tabakasını oluşturan kil, atık depo alanı tabanına sızan çöp suyundaki kirleticileri tutan bir malzemedir. Bu deney sonunda kullanılan killerin, kirleticileri tutabilme kapasiteleri belirlenir. Şekil 6.2'de sızıntı deneyi için hazırlanan deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Sızıntı deneyi düzeneği

### 6.5.2. Sızıntı deneyi sonrası pH

Kil tanelerinin kenarlarından ve organik maddelerden ayrılan  $H^+$  iyonu ve benzeri yükler, atıkların pH değerini etkilemektedir. pH değeri artarsa, ortamın kation değişim kapasitesi de artmaktadır. Düşük pH seviyelerinde kovalent bağ ile bağlanmış  $H^+$  ayrışmaz, fakat yüksek pH değerlerinde  $H^+$  diğer kationlar ile yer değiştirebilir.

Karışımın yüksek pH değerine sahip olması, kil tanelerini dispers yapmakta ve kil taneleri yüzeyindeki negatif yükü ve dolayısıyla taneler arasındaki itmeyi arttırmaktadır. pH değeri, ortamda  $H^+$  veya  $OH^-$  iyonlarının bulunma derecesini ifade etmektedir. pH değişimi, zemin/su karışımını önemli ölçüde etkilemektedir.

Killi zeminler, kirliliği bünyelerinde tutabilir. Bu durum, killeri kirlilik depolayıcısı yapabilir. Killi zeminler, düşük geçirimsizliklerinden dolayı kirlenici kirlenici sıvıların hareketini büyük ölçüde engellemektedir.

Zeminin pH ve katyon değişim kapasitesi metal miktarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH değeri genellikle kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6 ile 8 arasında olmalıdır.

Hazırlanan numunelerden beş gün boyunca geçirilen ağır metallerden sonra toplanan sızıntı suyu içerisindeki pH miktarı belirlenmiştir. Sızıntı suyunun içerebileceği maksimum pH miktarları Ek 2.1’de verilmiştir.

pH değerinin tespit edilebilmesi için laboratuarda “Soil pH metodu” ile pH deneyi yapılır. Bekletilen ozeltilerin üstteki berrak kısmı içerisine pH metrenin cam elektrodu daldırılıp numunelerin pH değeri belirlendi.

### **6.5.3. Sızıntı deneyi sonrası elektriksel iletkenlik**

Elektriksel iletkenlik, su ve zemin arasındaki ortamın elektrik taşıma kapasitesinin bir lusdr. Elektriksel iletkenlik, karışım içerisinde iyon tipi ve sayısı ile ilgili olarak artar. Tane konsantrasyonunun artması durumunda kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve kolloidal tanelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini arttırmaktadır. Zemindeki tuz oranı, elektriksel iletkenlik kapasitesi ile belirlenir. Elektriksel iletkenlik değeri 4 miliSiemens (4000 mikroSiemens/cm) değerinden fazla ise zemin tuzludur.

Elektriksel iletkenlik 1 cm<sup>2</sup> kesitinde ve birbirinden 1 cm uzaklıktaki elektrotlar arasındaki ozeltinin iletkenliğidir.

Hazırlanan numunelerden beş gün boyunca geçirilen ağır metallerden sonra toplanan sızıntı suyunun elektriksel iletkenlik miktarı belirlenmiştir.

### **6.5.4. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç**

Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelere, sızıntı deneyi yapıldıktan sonra serbest basınç deneyi yapılır. Uygulanan kil tabakalarının tabii şartlar altındaki dayanımı hakkında fikir vermesi amacıyla yapılan bir deneydir. p suyu içindeki metallerin numuneler üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak mukavemetin değişimi belirlenebilir.

## 7. DENEY SONUÇLARI

Çöp deponi alanı alt tabakasında kullanılması önerilen malzemelerin, tane çapı dağılımları, spesifik gravitesi, kıvam limitleri, su muhtevası gibi indeks özellikleri, serbest basınç mukavemeti, konsolidasyon parametreleri, permeabilite katsayısı gibi mekanik özellikleri, pH değeri, elektriksel iletkenliği ve ağır metal miktarı gibi fiziko-kimyasal özellikleri, adsorbsiyon özellikleri ile numunelerin yedi ve yirmi sekiz günlük kür sonrası mekanik özelliklerindeki değişimi belirlemek için deneyler yapılmıştır.

### 7.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Serbest basınç, permeabilite ve sızıntı deneyleri için gerekli numunelerin hazırlanması için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

- Zeolit ve sepiyolit killeri ile bu killerden oluşturulan karışım numuneleri 105°C 'de etüvde kurutuldu.
- Belli oranlarda karıştırılan numuneler üzerinde (distile su kullanılarak) standart kompaksiyon deneyi yapıldı ve optimum su muhtevası ile maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlendi.
- Optimum su muhtevasında distile su kullanılarak yoğrulan numuneler, standart proktor kalıbında 25 vuruş ile üç tabaka halinde sıkıştırıldı.

Sıkıştırılan proktor kalıbından çıkarılan numune deneye hazır hale getirildi. Hazırlama esnasında molddan çıkarılan numunelerden su muhtevası için örnekler alındı.

### 7.2. Karışımlar ve Oranları

Bu çalışmada, zeolit kili ve sepiyolit kili ile bunların %10 (S/Z), %20 (S/Z), %30 (S/Z) oranlarında taze, (7) gün kür ve (28) gün kür karışımları kullanılarak hazırlanan numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Ayrıca %5 (S/Z) ve %35 (S/Z) oranlarında taze karışımlar da hazırlanarak permeabilite deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu karışımların permeabilite deneyinde gösterdikleri performans göz önüne alınarak (7) ve (28) günlük kürleri hazırlanmamıştır. Deney sonuçları kısmında açıklayıcı bilgi verilmiştir.

### 7.3. İndeks Deney Sonuçları

Numunelerin, su muhtevası, tane özgül ağırlığı (spesifik gravite), tane çapı dağılımı ve kıvam limitleri değerlerini belirlemek için yapılan indeks deneylerinin sırası ile sonuçları konu başlıkları altında toplanmıştır.

#### 7.3.1. Tane özgül ağırlığı (spesifik gravite)

Atık veya zeminlerin tane özgül ağırlığı, hacim ve ağırlık ilişkisinin tespit edilebilmesi için gereklidir. Çizelge 7.1’de karışımların tane özgül ağırlıkları verilmiştir. Zeolit kiline ilave edilen sepiyolit kilinin spesifik graviteyi arttırdığı görülmüştür.

Çizelge.7.1. Numunelerin spesifik gravite değerleri

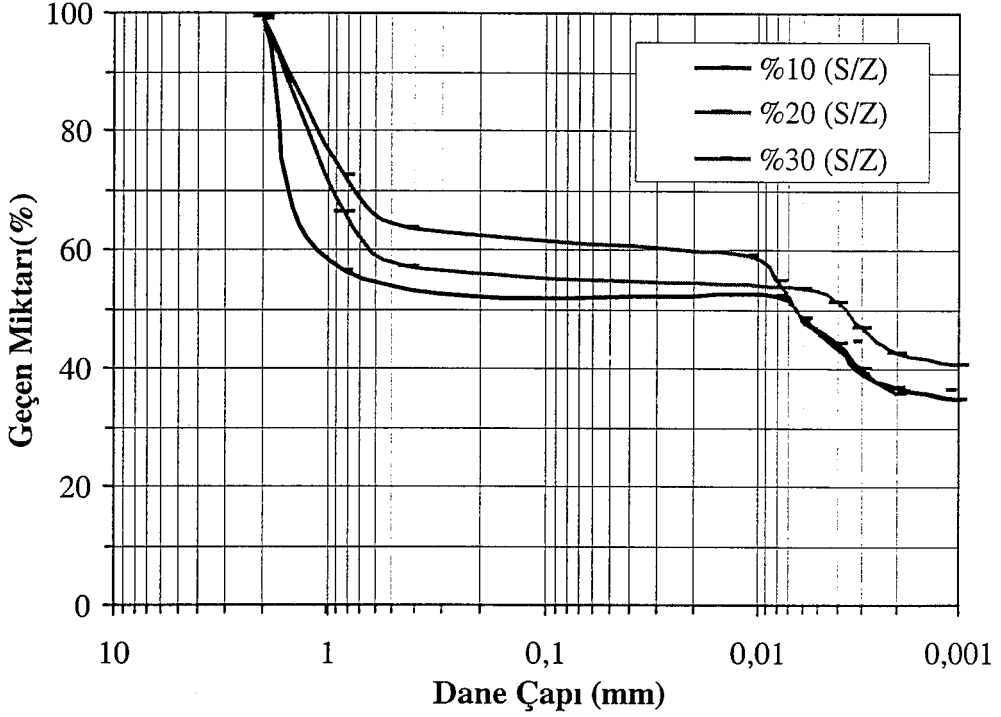
Numuneler	Spesifik Gravite
Saf Sepiyolit	2,51
Saf Zeolit	2,41
%10 S/Z	2,32
%20 S/Z	2,38
%30 S/Z	2,43

#### 7.3.2. Tane çapı dağılımı

Karışımlardan %10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z)’nin granülometri eğrileri Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1.'de, hazırlanan karışımların granülometri eğrisi verilmiştir.



Şekil 7.1. %10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z) karışımı için granülometri eğrisi

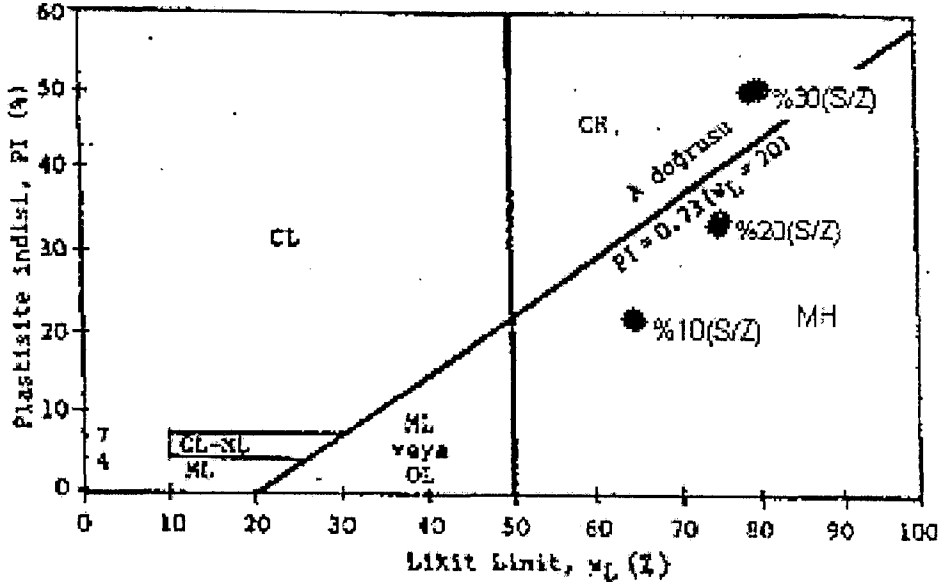
### 7.3.3. Atterberg Kıvam Limitleri

Ayrıca numunelerin likit ve plastik limit değerleri belirlenmiştir.Çizelge 7.2.'de karışımların kıvam limitleri verilmiştir.

Çizelge 7.2. Numunelerin atterberg kıvam limitleri değerleri

Numune	LL(%)	PL(%)
Sepiyolit	132	85
Zeolit	NP	NP
%10 (S/Z)	65	49
%20 (S/Z)	79	47
%30 (S/Z)	80	35

Şekil 7.2'de atık depo alanlarının tabanlarında kullanılabilen en uygun malzeme aralığı belirtilmiştir.



Şekil 7.2. Plastisite kartı

Atık deponi alanları taban malzemesi olarak USCS sınıflandırma sistemine ait CH, CL ve MH tipi killer kullanım için tavsiye edilmektedir [29]. %10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z) karışımlarının bu aralığın içerisinde yer aldığı görülmüştür.

%10 (S/Z)karışımı MH tipi, %20 (S/Z)karışımı MH tipi ve %30 (S/Z) karışımı ise CH tipi kil gurubunda yer almaktadır.

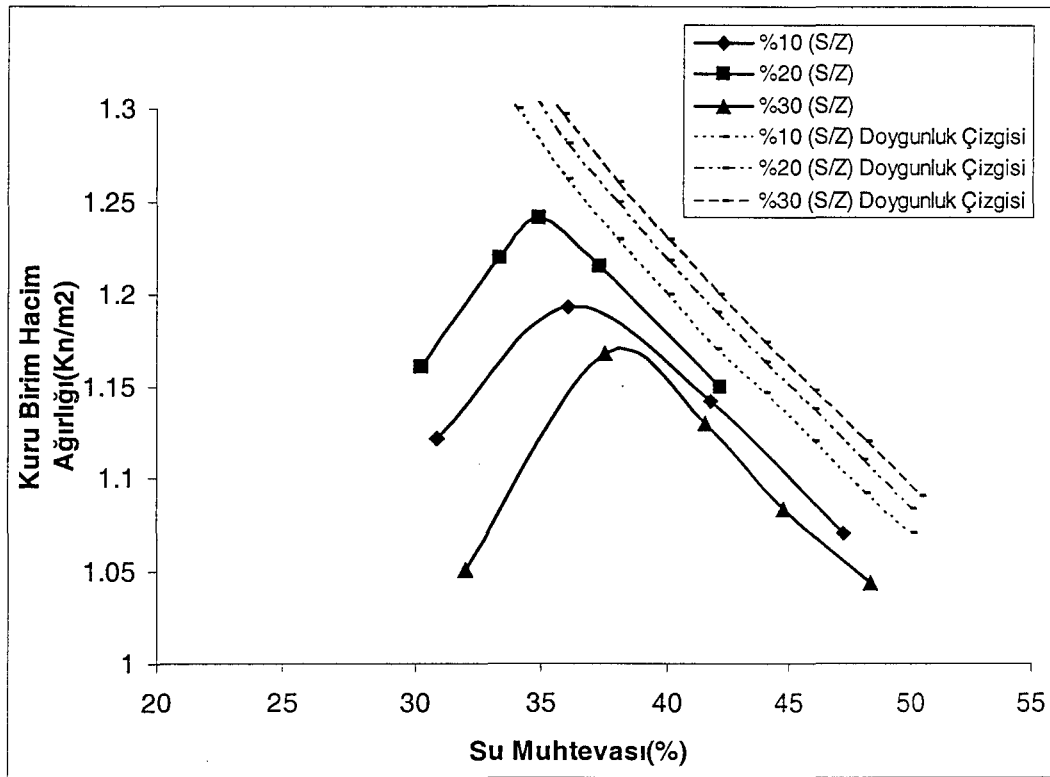
#### 7.4. Mekanik Deney Sonuçları

Hazırlanan numuneler üzerinde, serbest basınç mukavemeti, permeabilite katsayısı ve sızıntı sonrası serbest basınç mukavemeti gibi mekanik deneyler yapılmıştır.

### 7.4.1. Kompaksiyon Deneyi

Kompaksiyon deneyleri optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının bulunması için yapılmıştır. Kuru birim hacim ağırlığı ne kadar büyükse, zemin o derece iyi sıkışacaktır. Kuru birim hacim ağırlığı değeri su muhtevasına bağlı olarak değişir. Kuru birim hacim ağırlığının en yüksek değerine ulaştığı su muhtevasına optimum su muhtevası denir. En iyi sıkışma optimum su muhtevasında elde edilir.

Şekil 7.3’de görüldüğü gibi en iyi sıkışma %20 (S/Z) numunesinde elde edilmiştir.



Şekil 7.3. Numunelerin optimum su muhtevası değerleri

Optimum su muhtevası değerinin sepiyolit oranı arttıķa arttığı gözlenmektedir. Kuru birim hacim ağırlığı en yüksek ve optimum su muhtevası en düşük karışım %30 (S/Z) karışımı olmuştur.

Çizelge 7.3'te de, hazırlanan numunelerin kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen optimum su muhtevaları ve kuru birim hacim ağırlık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Kompaksiyon deneyi sonuçları

Numuneler	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (Kn/m <sup>2</sup> )	Optimum Su Muhtevası
%10 (S/Z)	1,19	36
%20 (S/Z)	1,24	34,9
%30 (S/Z)	1,17	38,5

#### 7.4.2. Permeabilite katsayısı

Laboratuarda yapılan permeabilite deneyinde, elde edilen permeabilite katsayısı değerlerinin, çöp deponi alt tabakası için literatürde geçen sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir.

Çöp deponi alt tabakası için gereken sınır şart olan  $k \leq 10^{-7}$  cm/sn' dir [4]. Literatürde çeşitli çöp deponi alanları için k katsayısı değerleri, Ek 3.1'de verilmiştir.

Taze numuneler üzerinde yapılan permeabilite deneylerinde %20 (S/Z) karışımı  $0,52 \times 10^{-7}$  gibi bir permeabilite katsayısı değerine ulaşmıştır. Bu değer literatür değerleri açısından uygun bir değerdir.

Çöp deponi alanı tabanı için uygun bir alt tabaka geçirimsizlik katsayısıdır. Bununla birlikte %30 (S/Z) 28 günlük kür uygulanarak hazırlanan numunenin permeabilite katsayısı değerinin  $0,105 \times 10^{-7}$  değerine kadar düştüğü görülmüştür.

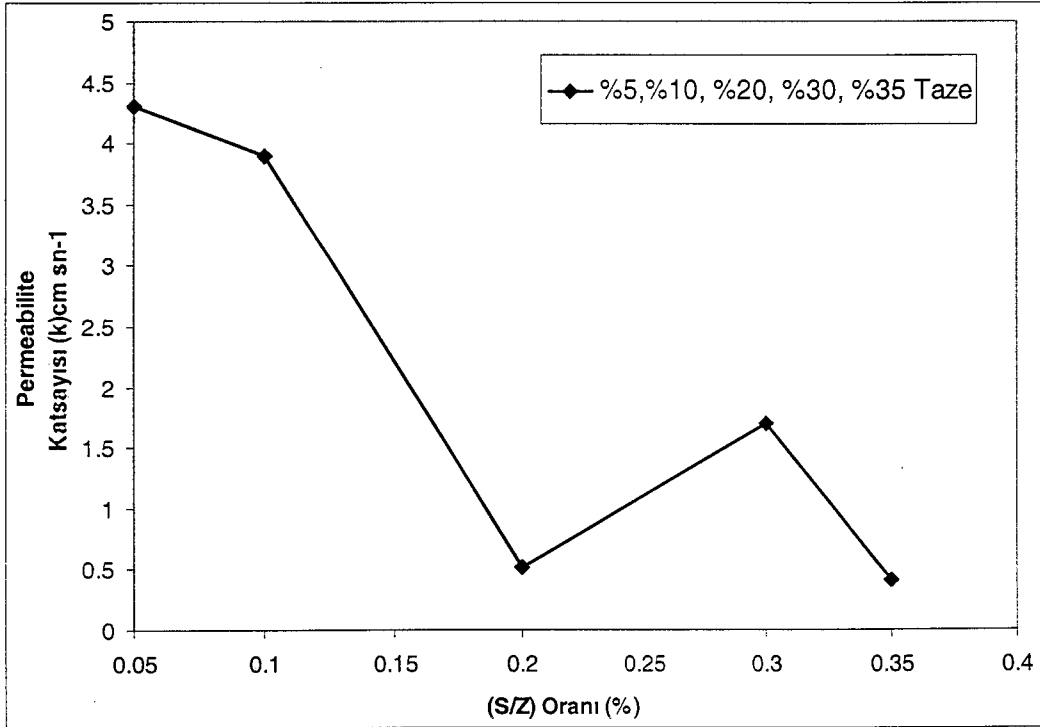
Bu durum, zaman içerisinde sepiyolit bir bakıma bağlayıcı bir malzeme etkisi göstererek daha etkin hale geldiğine işaret etmektedir.

%20 (S/Z) karışımı, taze olarak gösterdiği düşük geçirimsizlik değerini (deney iki defa tekrar edildiği halde aynı değere ulaşılmıştır) (7) ve (28) günlük kürlere sonucunda gösterememiştir.

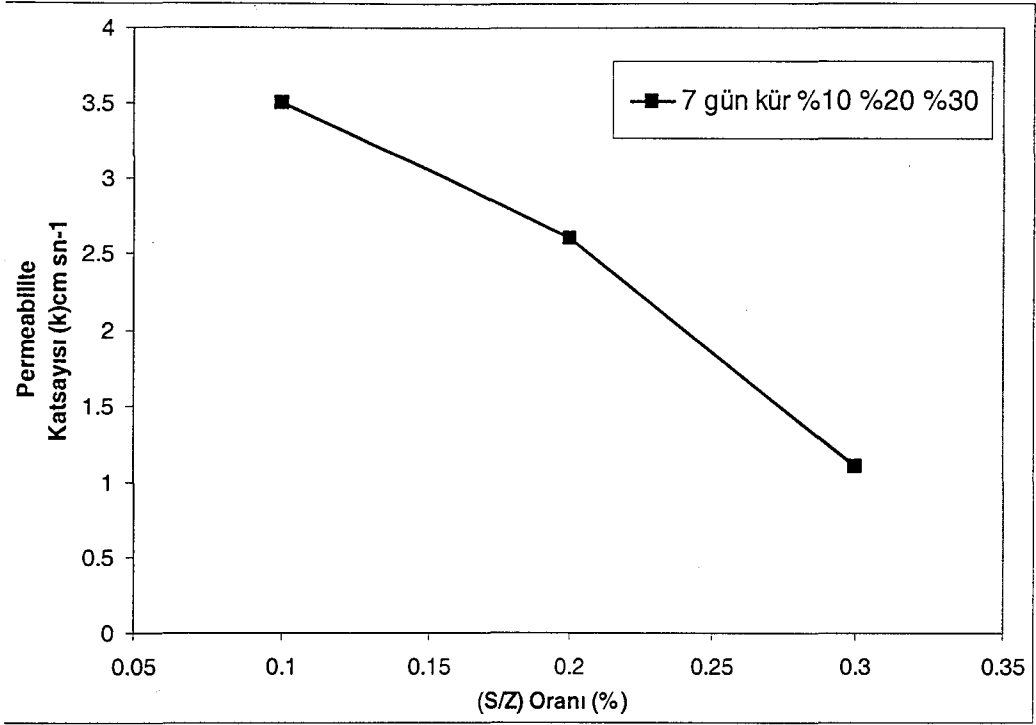
Deneiler sonunda %5 (S/Z) ve %35 (S/Z) numunelerinin de geçirimsizlik değerlerine bakılmıştır. %5 (S/Z) karışımının permeabilite değeri literatürde istenen sınır değer üzerinde çıkmıştır. Bu deney sonucuna göre, %5 (S/Z) karışımı çöp deponi alanı alt tabakası için uygun bir karışım oranı değildir. Karışım uygun bulunmadığından (7) ve (28) günlük kürlere deneyleri yapılmamıştır.

%35 (S/Z) karışımının permeabilite deneyi sonucunda elde edilen permeabilite katsayısı değeri literatür değerleri ile karşılaştırıldığında uygun bir değerdir. Fakat %20 (S/Z) karışımı ile yaklaşık bir permeabilite katsayısına sahip olduğu görüldüğünden malzeme ekonomisi açısından %20 (S/Z) daha uygun bulunmuştur. Ayrıca şişme deneyi sonuçlarına göre de değerlendirme yapacak olursak, sepiyolit oranının artırılmasının şişme kapasitesini arttıracığı açıktır. Bu değerlendirmelerden dolayı %35 (S/Z) karışımı için de (7) ve (28) günlük kürlere deneyleri yapılmamıştır.

Şekil 7.4. ve Şekil 7.5’de taze ve (7) gün kürlere uygulanan karışımların deney sonuçları gösterilmiştir.

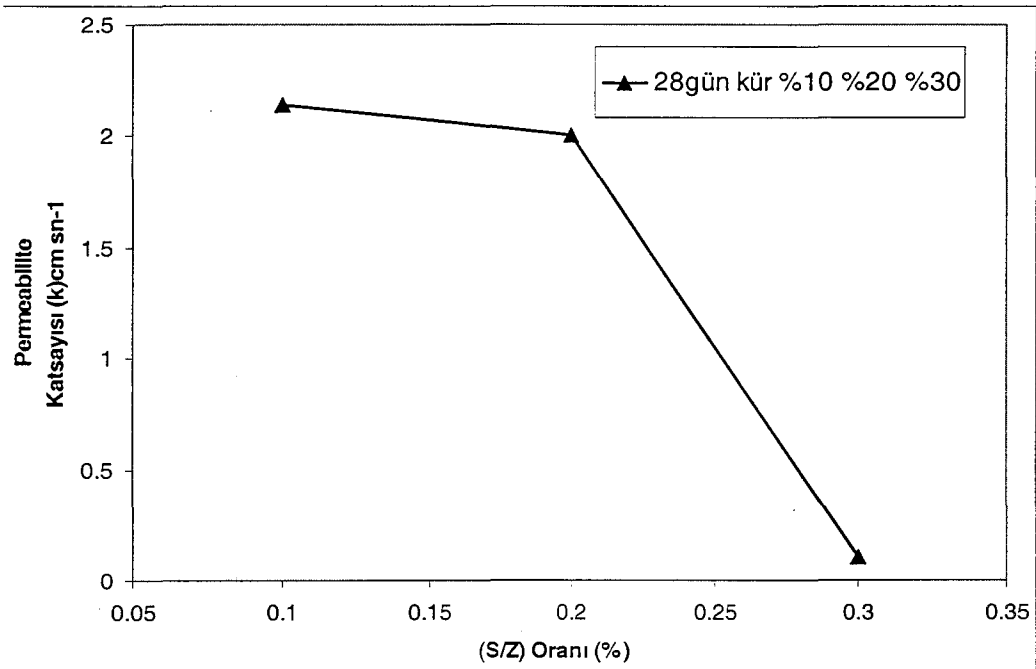


Şekil 7.4. Karışım yüzdelerine göre taze numunelerin permeabilite katsayıları (k)



Şekil 7.5. Karışım yüzdelere göre 7 günlük kür uygulanan numunelerin permeabilite katsayıları

Şekil 7.6'da da (28) gün kür uygulanan numunelerin permeabilite deney sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Karışım yüzdelere göre 28 günlük kür uygulanan numunelerin permeabilite katsayıları (k)

Çizelge 7.4'de permeabilite deneyine tabi tutulan numunelerin permeabilite katsayıları değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.4. Permeabilite deneyi sonuçları

Numuneler	Permeabilite Katsayısı (k)x 10 <sup>-7</sup> (cm sn <sup>-1</sup> )
%5 (S/Z) Taze	4,3
%10 (S/Z) Taze	3,9
%20 (S/Z) Taze	0,52
%30 (S/Z) Taze	1,7
%35 (S/Z) Taze	0,41
%10 (S/Z) 7 gün kür	3,5
%20 (S/Z) 7 gün kür	2,6
%30 (S/Z) 7 gün kür	1,1
%10 (S/Z) 28 gün kür	2,14
%20 (S/Z) 28 gün kür	2,0
%30 (S/Z) 28 gün kür	0,105

%5 Taze (S/Z) karışımı geçirimsizlik değeri en yüksek karışım olmuştur. Bunun yanında %35 Taze (S/Z) karışımının permeabilite katsayısı, %20 Taze (S/Z) karışımı ile yaklaşık bir değer aldığı gözlenmiştir.

Atık depolama alanlarında kullanılan alt tabakanın yeri, genişliği ve kalınlığı gibi faktörlerin değişkenliği ile bu malzemeler arasında tercih yapılması mümkün görülmektedir.

### 7.4.3. Serbest Basınç Mukavemeti

Belirli oranlarda karıştırılan ve standard enerjiyle sıkıştırılan numuneler, naylon poşetlere yerleştirilip (7) ve (28) günlük kürlere bırakılmıştır. Her bir kür bitiminde numuneler kırılarak serbest basınç mukavemetleri bulunarak çimentolaşma reaksiyonunun zamanla günlük değişimi ve mukavemete olan etkisi belirlenmiştir.

Laboratuarda serbest basınç mukavemet değerleri zamana bağlı olarak taze (0), (7) ve (28) günlük olarak belirlendi. Numuneler laboratuarda standart proktor deneyi ile optimum su muhtevasında sıkıştırılarak taze (0), (7) ve (28) günlük kür sonunda kırılmıştır.

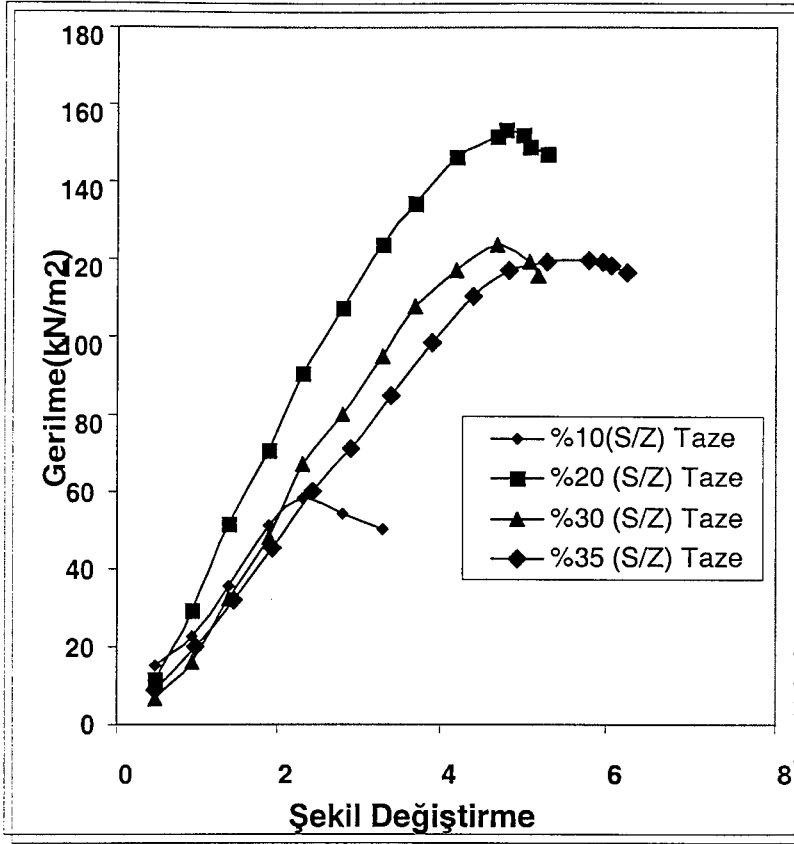
Taze numunelerin serbest basınç deneyi sonucuna bakıldığında %20 taze (S/Z) olarak hazırlanan numunenin dayanım değerinin diğer numunelere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Kompaksiyon deney sonucunda da %20 S/Z numunesinin en iyi sıkışmayı sağladığı belirlenmişti. En iyi sıkışmanın elde edildiği bu numunenin dayanım değerinin de aynı şekilde diğer numunelerin dayanım değerlerinden yüksek olması zaten beklenmektedir.

Ek 5.1'de hazırlanan numunelerin gerilme ve eksenel şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Taze numunelerden %35 (S/Z) üzerinde yapılan serbest basınç deneyinde ise dayanım değerinin, %20 (S/Z) taze karışımının dayanım değerine yaklaşık olduğu görülmektedir. Ayrıca 28 günlük kür uygulanan %30 (S/Z) numunesine göre daha yüksek eksenel şekil değiştirme değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

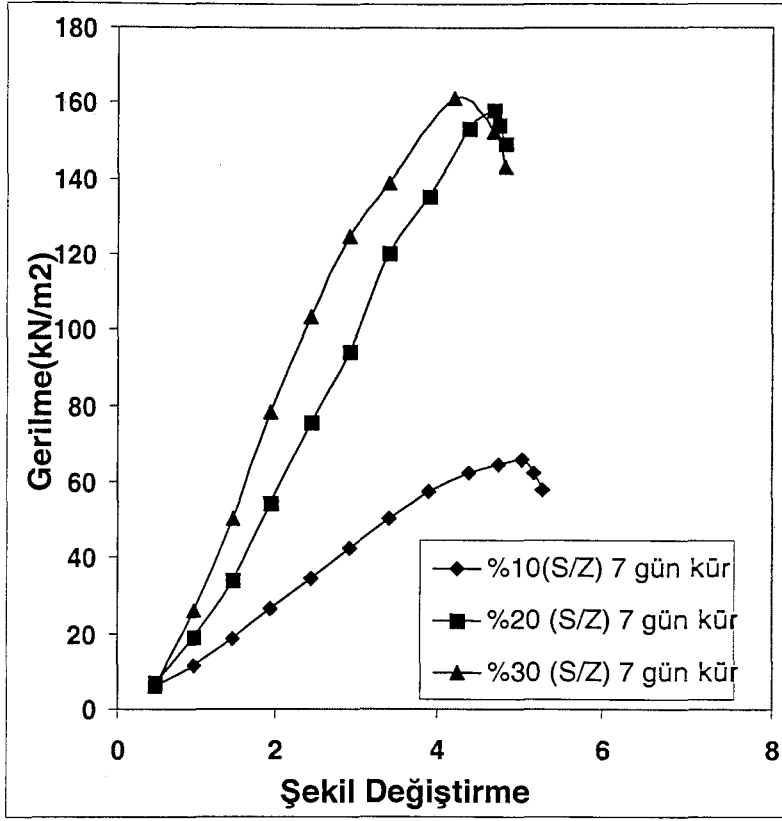
Şekil 7.7'de taze numunelerin serbest basınç deneyi grafiği, Şekil 7.8'de (7) gün kür uygulanan numunelerin serbest basınç deneyi grafiği ve Şekil 7.9'da ise (28) gün kür uygulanan numunelerin serbest basınç deneyi grafikleri görülmektedir.





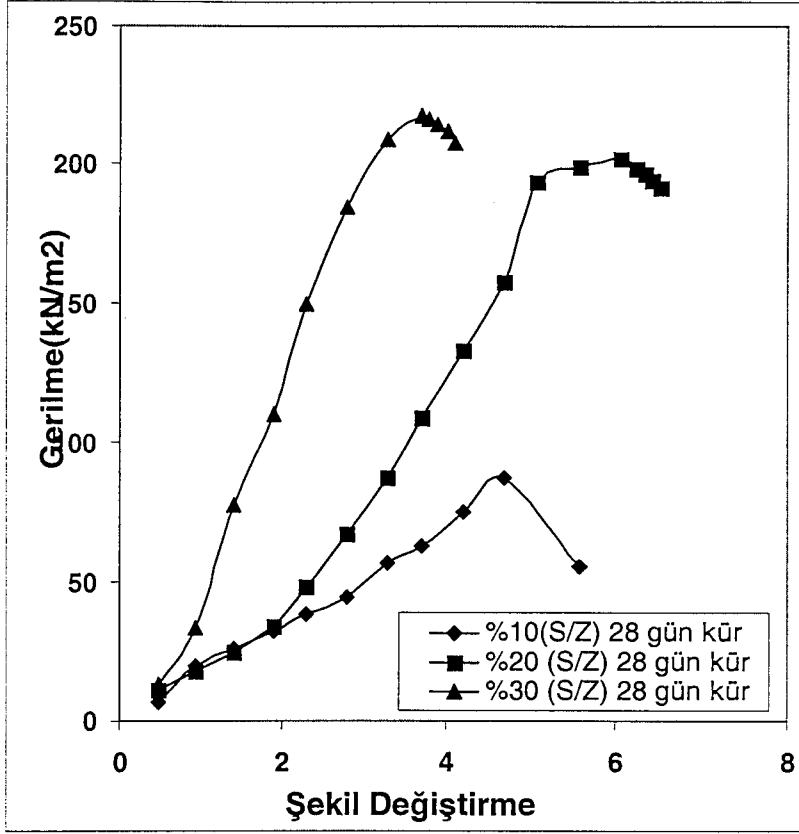
Şekil 7.7. Taze numunelerin serbest basınç değerleri

Hazırlanan numunelerde sepiyolit oranının artması ile zaman bağılı olarak dayanım değerlerinde artış gözlenmiştir. Özellikle de (7) ve (28) günlük kürlerin sonucunda elde edilen dayanım değerleri, taze numunelerin dayanım değerlerinden daha yüksektir. Yapılan bütün serbest basınç deneyleri değerlendirildiğinde ise, (28) günlük kür uygulanan %30 (S/Z) karışımının bütün deney sonuçları içinde en yüksek dayanımı verdiği görülmüştür (Ek 5.1).



Şekil 7.8. (7) gün kür uygulanan numunelerin serbest basınç değerleri

Serbest basınç deneyi sonuçları yorumlanırken en uygun olarak adlandırılan durum, en yüksek dayanımın ve en düşük eksenel şekil değiştirmenin elde edildiği deney sonucudur. 28 gün kür uygulanan %30 (S/Z) karışımı en yüksek dayanımı ve en düşük şekil değiştirme değerini vermesiyle en uygun deney sonucudur.

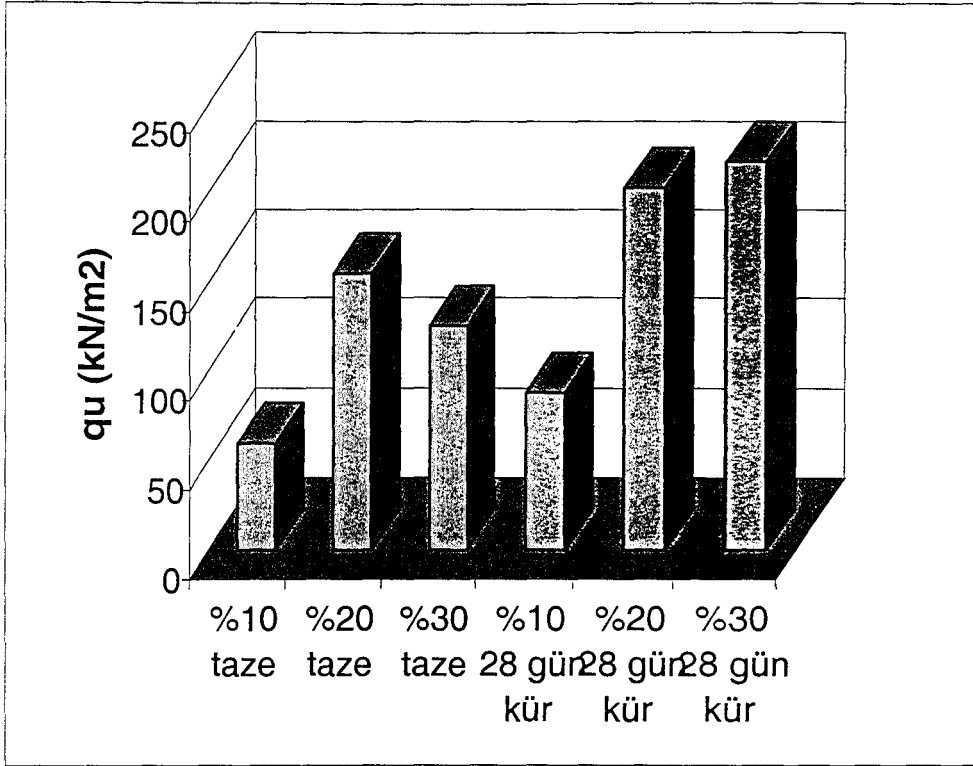


Şekil 7.9. (28) Gün kür uygulanan numunelerin serbest basınç değerleri

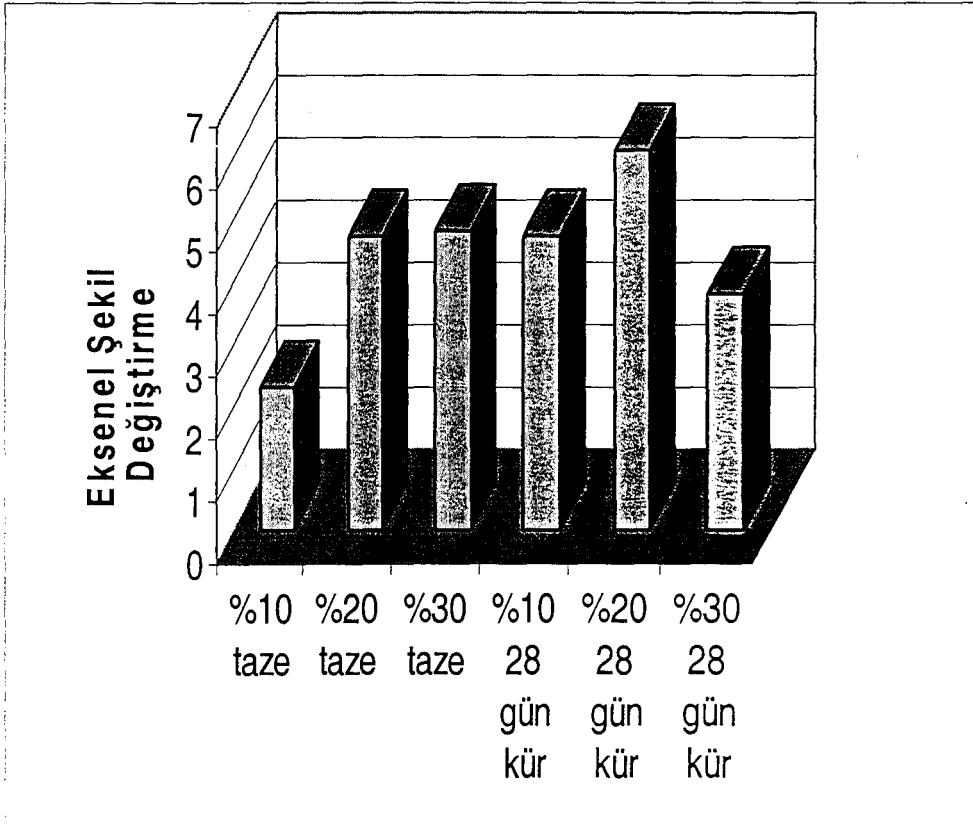
Atık deponi alanları için literatürde [35] geçen gerilme değeri  $200 \text{ kN/m}^2$  dir. Deneilerde hazırlanan karışımlara bakıldığında, %20 (S/Z) 28 gün kür ve %30 (S/Z) 28 gün kür karışımlarının gerilme değerlerinin  $200 \text{ kN/m}^2$  değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda bu karışım oranları deponi alanı alt tabakası için kaplama malzemesi olarak kullanılmak üzere önerilebilmektedir.

Diğer karışımlar içinde ise  $200 \text{ kN/m}^2$  değerine en çok yaklaşan karışım %20 (S/Z) karışımı olmuştur.

Şekil 7.10. ve Şekil 7.11'de numunelerin birbirlerine göre gerilme ve eksenel şekil değiştirme değerlerinin oranları gösterilmiştir.



Şekil 7.10. % 10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z) gerilme değerleri oranları

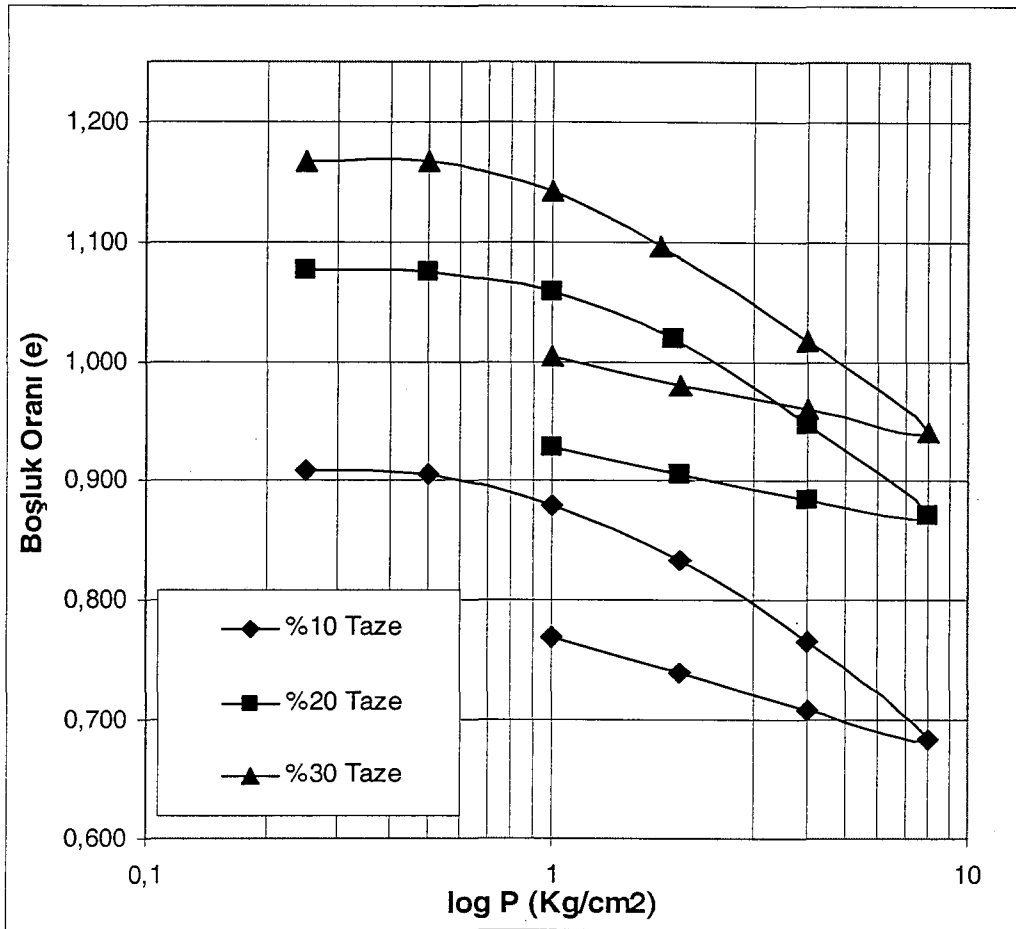


Şekil 7.11. % 10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z) eksenel şekil değişirme oranları

#### 7.4.4. Konsolidasyon deneyi

Belirlenen killer ve kil karışımları için optimum su muhtevası belirlendikten sonra bu optimum su muhtevasında standart kompaksiyon uygulanmıştır. Sıkıştırılan numuneler molddan örselenmeden ring içerisine alınmıştır.

Şekil 7.12’de taze numuneler için yapılan konsolidasyon deneyi grafikleri gösterilmiştir. Çizelge 7.5’te konsolidasyon deneyi sonuçları verilmiştir.



Şekil 7.12. Taze numunelerin konsolidasyon deneyi grafiği

Çizelge 7.5. Konsolidasyon deneyi sonuçları

Numuneler	$C_c$	$C_s$	$C_r$	$m_v$	$a_v$
%10 (S/Z)Taze	0.19	0.07	0.0002	0.03	0.06
%20 (S/Z)Taze	0.16	0.08	0.0003	0.06	0.11
%30 (S/Z)Taze	0.15	0.01	0.00045	0.09	0.13

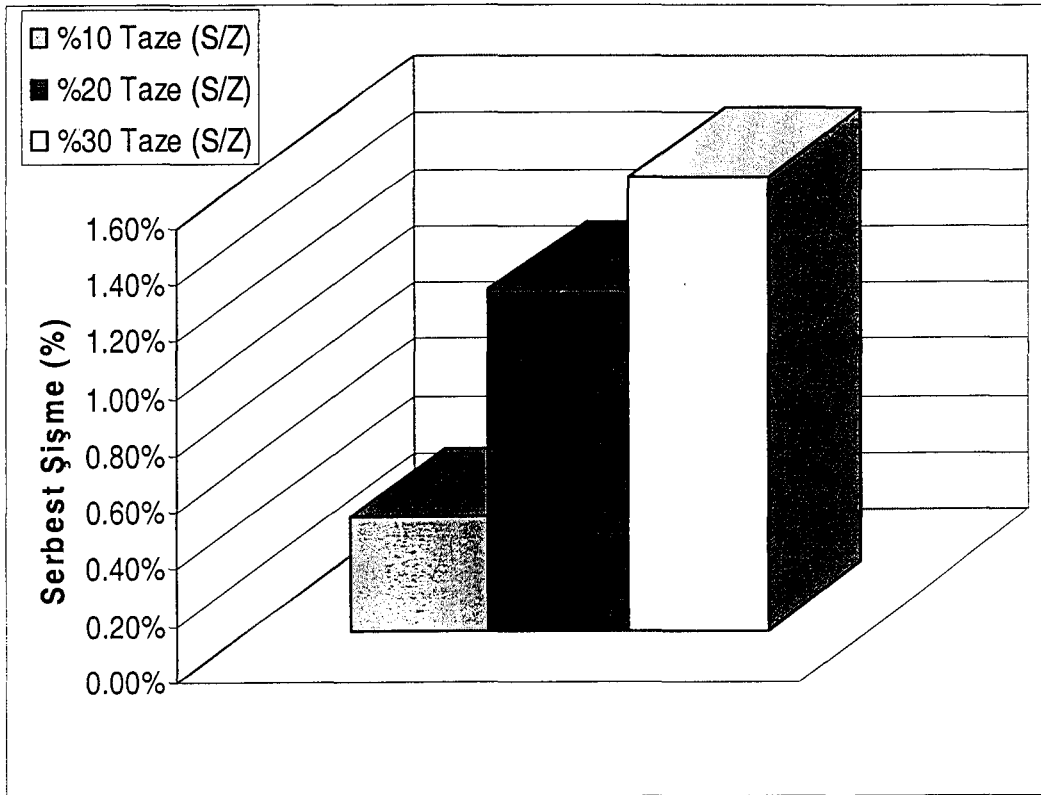
#### 7.4.5. Serbest şişme deneyi

Şişme kapasitesi deneyi sonucuna göre, sepiyolit oranı artırıldıkça şişme kapasitesinin de arttığı gözlenmiştir.

Literatür değerlerine bakıldığında, atık deponi alanları alt tabakası için sınır şişme miktarları gibi belirgin bir değere rastlanamamıştır.

Serbest şişme deneyi sonucunda, %10 Taze ve %20 Taze (S/Z) karışımlarının şişme kapasiteleri arasında büyük fark varken, %20 Taze ve %30 Taze (S/Z) karışımlarının arasındaki şişme kapasitesi farkı oldukça azalmıştır. Bu durum, sepiyolit miktarının belli bir orana kadar artırılmasının şişme kapasitesi üzerinde artırıcı bir etkisi olduğunu, miktarın daha fazla artırılmasının ise şişme kapasitesini çok etkilemediğini göstermektedir.

Şekil 7.13'de serbest şişme deneyinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 7.13. Serbest şişme deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi

## 7.5. Sızıntı Deneyi

Bir deponi alanı alt tabakası için kullanılacak taban kaplamasında, kullanılan malzemelerin depo alanı içerisindeki sızıntıyı mümkün olduğunca engelleyebilmesi bu malzemeden beklenen bir özelliktir.

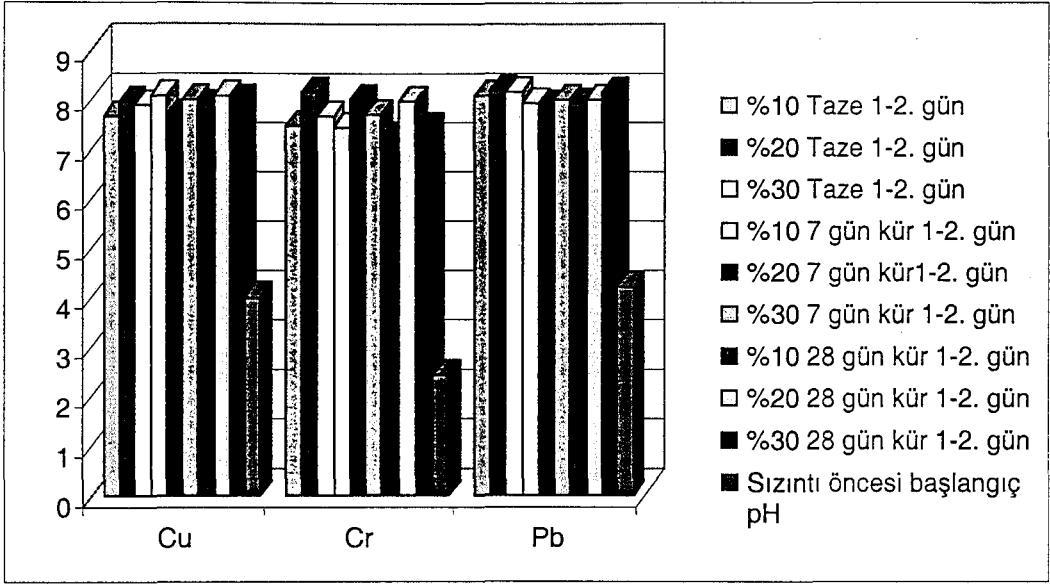
Arazi şartlarını yansıtması amacıyla yapılan bu sızıntı deneyinde, hazırlanmış olduğumuz numunelerden (%10 taze, %20 taze, %30 taze, %10- 7 gün kür, %20 - 7 gün kür, %30 - 7 gün kür, %10- 28 gün kür, %20 - 28 gün kür, %30 - 28 gün kür) Cu, Pb ve Cr gibi ağır metallerin 250 ml. si ve 20 psi sabit basınç altında beş gün boyunca geçirilmiştir. Toplanan sızıntı suları üzerinde pH, elektriksel iletkenlik ve ağır metal okumaları yapılmıştır.

### 7.5.1. Sızıntı deneyi sonrası pH

Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası, toplanan sular üzerinde pH ölçümü yapılmıştır.

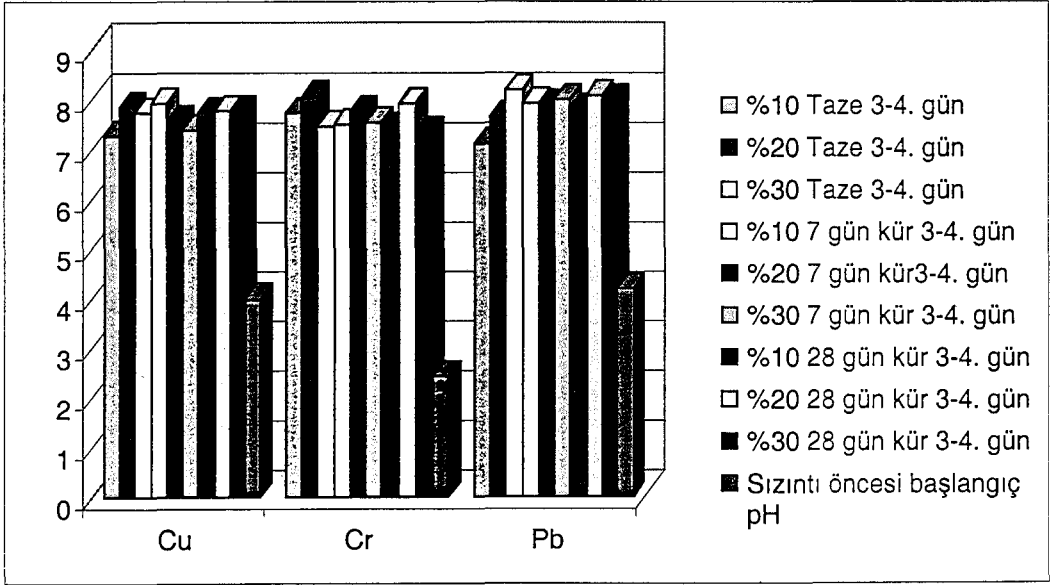
pH deneyleri sonucunda, %10 (S/Z), %20 (S/Z) ve %30 (S/Z) karışım oranlarında 1. günden başlayarak 5. güne kadar pH değerleri kaydedilmiştir. Böylece günlük olarak zamana karşı pH değerlerindeki değişimi gözlemek mümkün olmuştur. Ek 6.1 ve Ek 6.9'da pH ölçümü sonuçları toplu olarak verilmiştir.

Şekil 7.14'de verilen sızıntı sonrası pH deneyi sonuçları 1-2. günlere göre grafik olarak gösterilmiştir. Numunelerin değerlerinin literatür değerlerini (6-8) karşılayacak miktarda olduğu görülmektedir.



Şekil 7.14. Sızıntı sonrası 1-2. günlere ait pH deneyi sonuçları

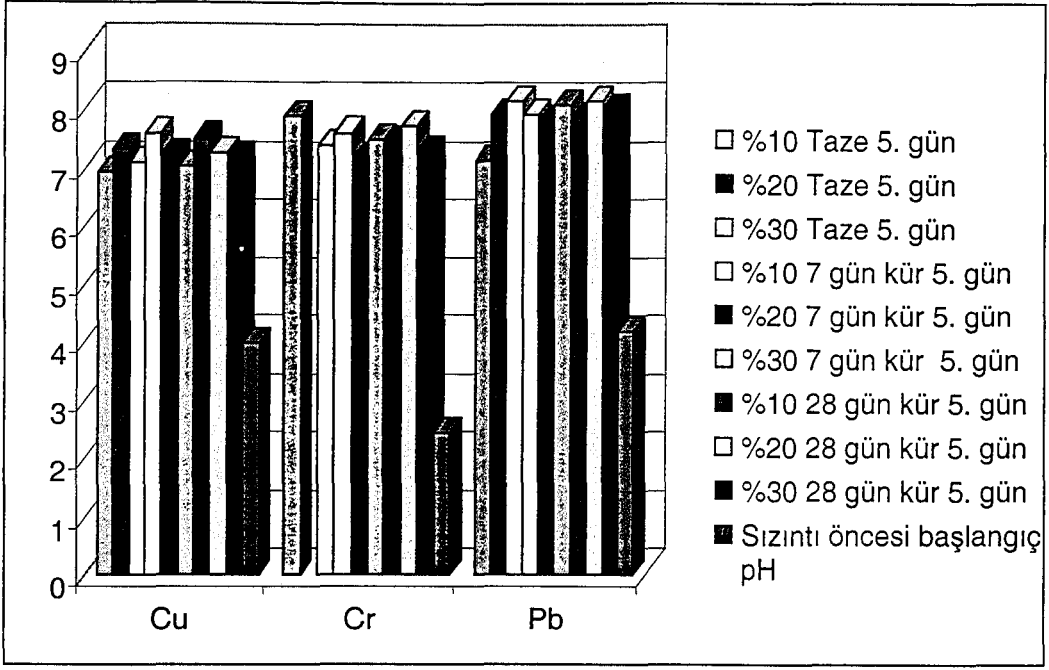
Şekil 7.15’de sızıntı sonrası 3-4. günlere ait pH değerleri ve Şekil 7.16’da ise sızıntı sonrası 4-5. günlere ait pH değerleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Sızıntı sonrası 3-4. günlere ait pH deneyi sonuçları

Başlangıç pH değerleri referans alındığında bütün numunelerin pH değerlerinde artış vardır. Genel olarak bütün numunelerin 1. günden 5. güne kadar kaydedilen sürede pH değerlerinde düşme görülmüştür.





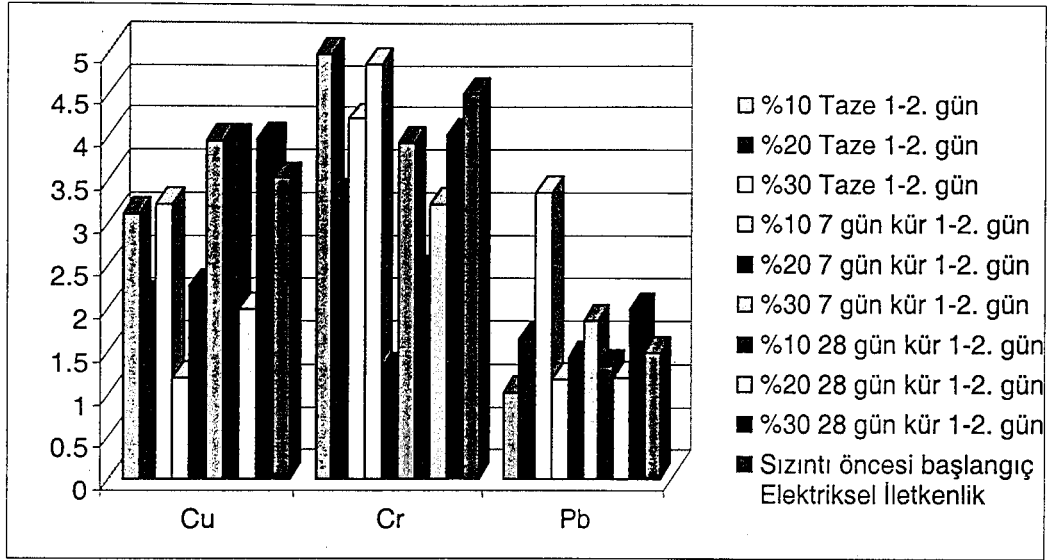
Şekil 7.16. Sızıntı sonrası 5. güne ait pH deneyi sonuçları

Taze numunelerin pH değerlerine göre, kür uygulanan numunelerin pH değerlerinde ise artış meydana gelmiştir. İlk aşamada (7 gün kürler) olmasa da 28 günlük kürler sonunda pH değerleri artmıştır. Sepiyolit ilavesi pH değerini arttırmaktadır.

### 7.5.2. Sızıntı deneyi sonrası elektriksel iletkenlik

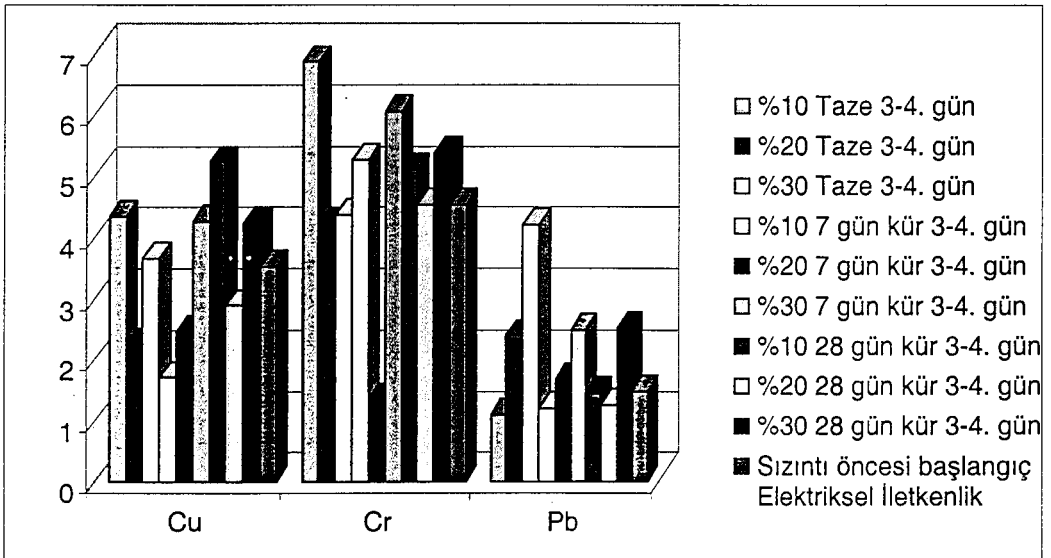
Elektriksel iletkenlik, su ve zemin arasındaki ortamın elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Elektriksel iletkenlik, karışım içerisinde iyon tipi ve sayısı ile ilgili olarak artar. Tane konsantrasyonunun artması durumunda kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve koloidal tanelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini arttırmaktadır.

Şekil 7.17’de verilen sızıntı sonrası elektriksel iletkenlik deneyi sonuçları 1-2. günlere göre grafik olarak gösterilmiştir.



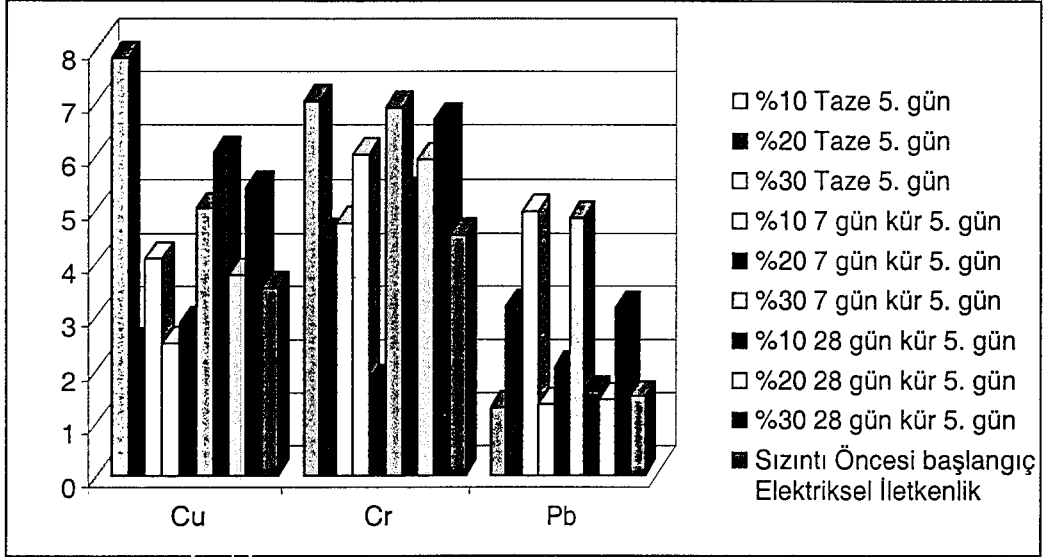
Şekil 7.17. Sızıntı sonrası 1-2. günlere ait elektriksel iletkenlik deneyi sonuçları

Şekil 7.18’de sızıntı sonrası 3-4. günlere ait elektriksel iletkenlik değerleri ve Şekil 7.19’da ise sızıntı sonrası 4-5. günlere ait elektriksel iletkenlik değerleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.18. Sızıntı sonrası 3-4. günlere ait elektriksel iletkenlik deneyi sonuçları

Sepiyolit ilavesinin elektriksel iletkenlik deęerlerini dūřurdūęu gōzlenmiřtir. Taze numunelere gōre, kūr uygulanan numunelerde ise zamanla elektriksel iletkenlik deęerlerinde artıř olmuřtur.

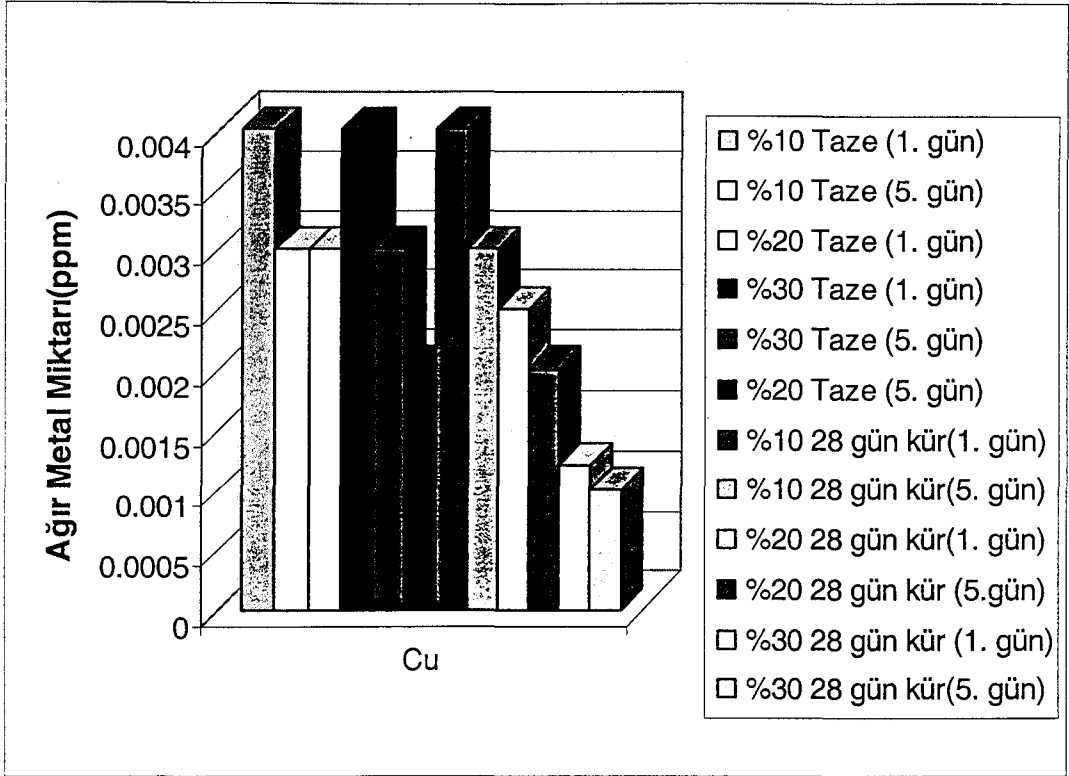


şekil 7.19. Sızıntı sonrası 5. gūne ait elektriksel iletkenlik deneyi sonuşları

Ek 7.1-Ek 7.9'da elektriksel iletkenlik deneyine ait diğer grafikler yer almaktadır.

### 7.5.3. Ağır Metal Miktarları

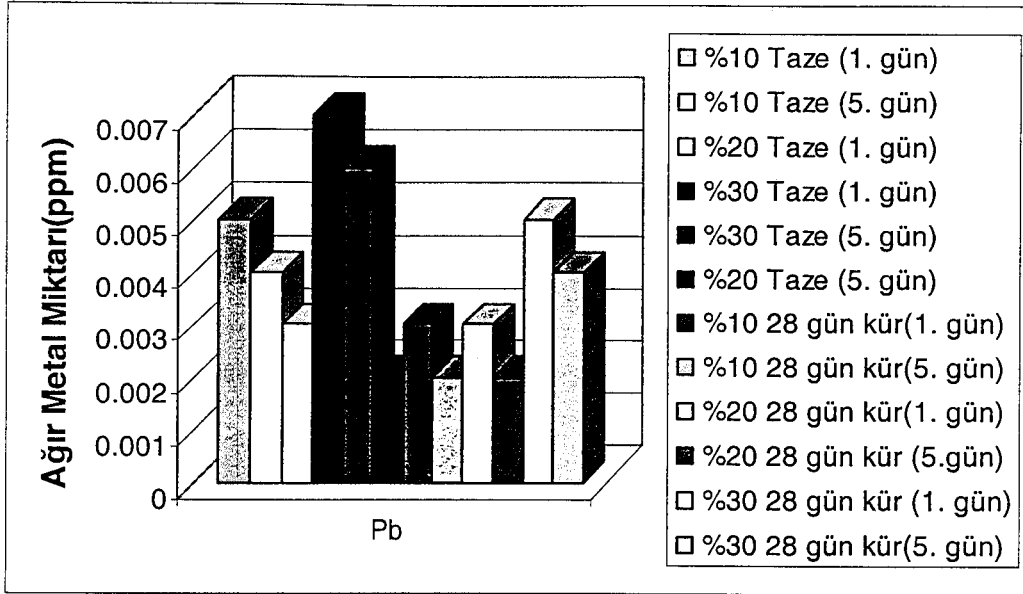
Sızıntı deneyi sonrasında değişik karışım oranlarında hazırlanan numunelerden geğirilen ağır metaller (Cu, Pb, Cr) iğeren sıvılar, beř gūn boyunca toplama kaplarında biriktirilmiştir. Biriktirilen bu sıvılar üzerinde, iğerlerindeki ağır metal miktarlarını belirlemek amacıyla ağır metal okumaları yapılmıştır. Elde edilen sonuşlar aşağıda şekil 7.20'de gōsterilmiřtir.



Şekil 7.20. Taze ve 28 günlük numunelerin 1-5. günlerine ait ağır metal (Cu) miktarları değişimi

Bu çalışmada hazırlanan numunelere uygulanan sızıntı deneyi sonrası ağır metal miktarlarının literatür değerlerindeki yerini belirleyebilmek için Ek 2.1'deki sızıntı suyu içerisinde bulunması gereken ağır metal limitlerine göre değerlendirme yaptığımızda Cr, Pb, Cu ağır metalleri için kabul edilen maksimum limitlerin altında sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 7.21'de gösterilmiştir.



Şekil 7.21. Taze ve 28 günlük numunelerin 1-5. günlerine ait ağır metal (Pb) miktarları değişimi

#### 7.5.4. Adsorpsiyon deneyi sonucu

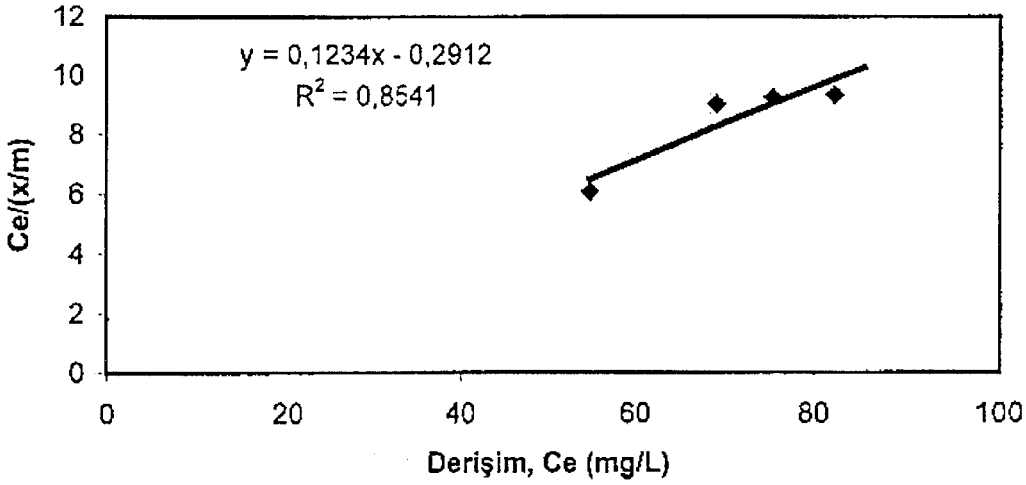
Bakır iyonunun zeolitte adsorpsiyonunu incelemek için 25 C° 'de adsorpsiyon izotermi çıkarılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinde, denge anındaki bakır derişimleri atomik adsorpsiyon (Varian 250 plus A) ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlardan Langmuir izoterminin sistemi iyi tanımladığı kanaatine varılmıştır. Kullanılan adsorban denge derişimleri Çizelge 7.6'da ve Langmuir izotermi ise Şekil 7.22'de verilmiştir. İzotermden hesaplanarak  $(Q_u)_{max}$  değeri 8,3 olarak bulunmuştur.

Bakırın ( $Cu^{+2}$ ) zeolitte adsorpsiyonu ile ilgili deneysel çalışma sonuçları ( $C_o = 100 \text{ mg/L}$ ,  $V = 250 \text{ mL}$ )

Çizelge 7.6. Zeolit kili için adsorpsiyon deneyi derişim değerleri

Zeolit (g)	0,25	0,50	0,75	1,25
Derişim (mg/L)	85,46	82,33	75,48	54,81

## Langmuir İzotermi



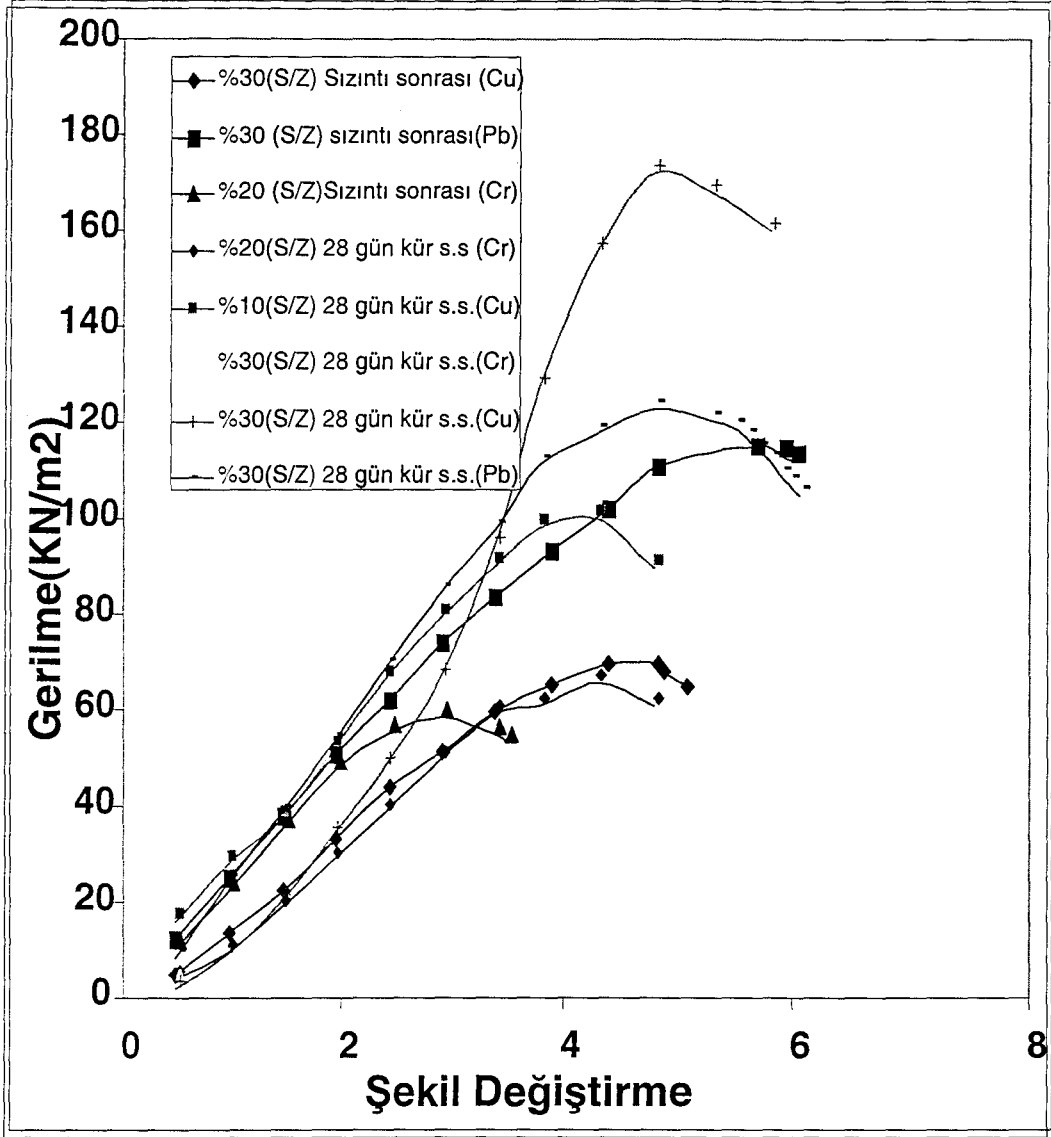
Şekil 7.22. Zeolit için langmuir izotermi

## 7.6. Çevresel Şartlara Ait Özellikler

### 7.6.1. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç sonuçları

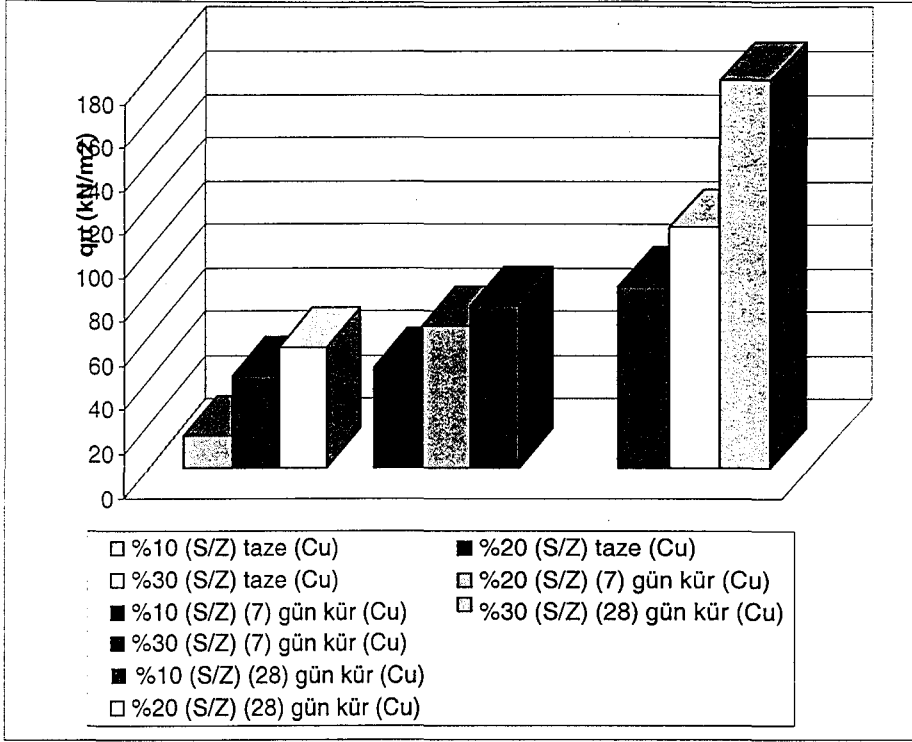
Sızıntı deneyi sonrasında numunelerin her biri ayrıca serbest basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Sızıntı deneyi sonrası yapılan bu serbest basınç deneylerinden elde edilen mukavemet değerlerinin normal serbest basınç mukavemet değerlerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 7.23'de değişik numunelerin sızıntı sonrası serbest basınç deneyi sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Sızıntı sonrası yapılan serbest basınç deneylerinde en yüksek değere ulaştığı görülen karışım %30 (S/Z) 28 günlük kür uygulanan ve Cu ağır metali ile kirlenilen numune olmuştur. Ancak bu karışım, literatürde geçen deponi alanı alt tabakası için önerilen [35] sınır dayanım değeri olan  $200 \text{ kN/m}^2$  değerinin altında bir dayanım göstermiştir.

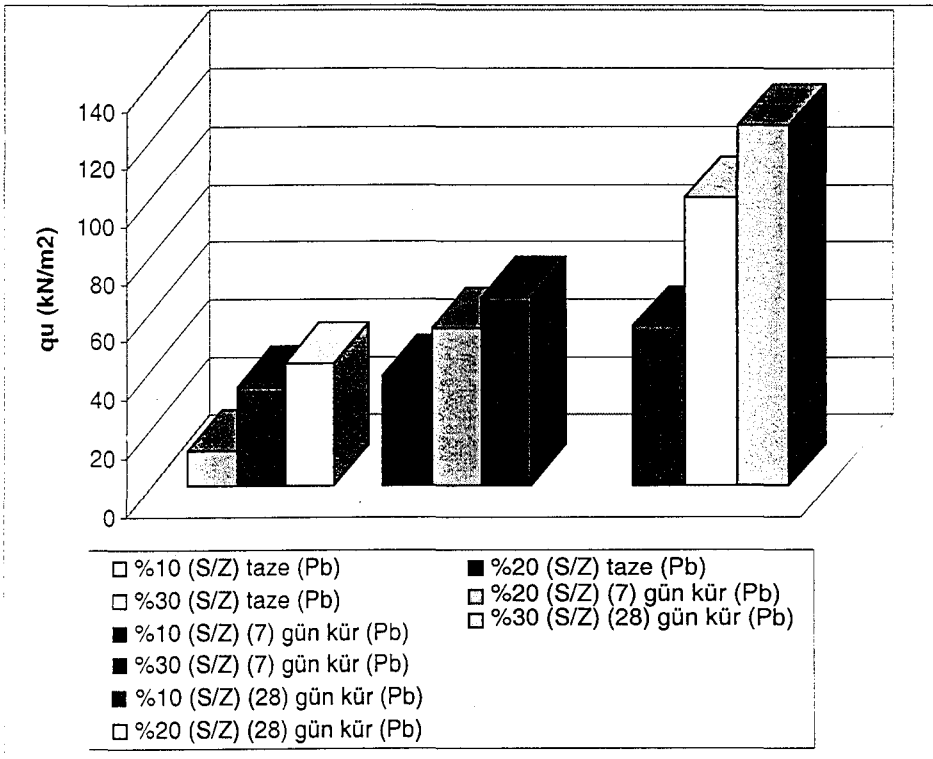


Şekil 7.23. Sızıntı sonrası bazı numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği

Şekil 7.24, Şekil 7.25 ve Şekil 7.26'da çeşitli numunelerin, sızıntı sonrası serbest basınç deneyi sonucunda elde edilen dayanım değerleri verilmiştir.

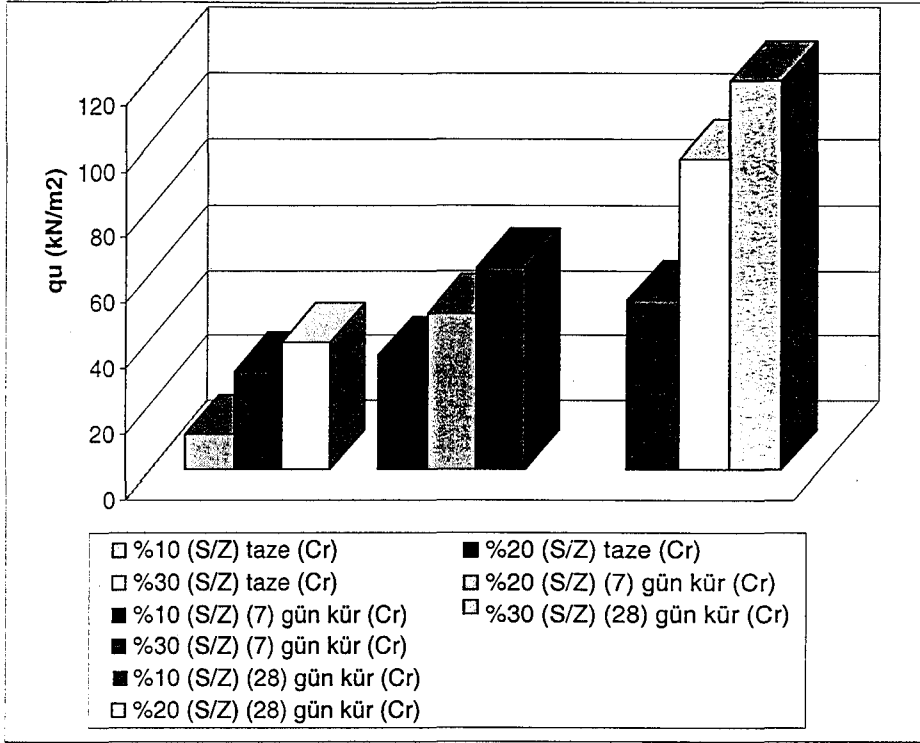


Şekil 7.24. Sızıntı sonrası çeşitli numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri



Şekil 7.25. Sızıntı sonrası çeşitli numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri





Şekil 7.26. Sızıntı sonrası çeşitli numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, atık deponi alanları tabanlarında kaplama malzemesi olarak kullanılabilen, geosentetiklere maliyet açısından alternatif olabilecek bir kaplama malzemesi olarak sepiyolit ve zeolit killerin uygun karışım oranı belirlenerek kullanılmak üzere önerilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

1. Sepiyolit ve zeolit killerin indeks özelliklerine bakıldığında, sepiyolit ilavesinin karışımın spesifik gravitesini arttırdığı görülmüştür. Karışımların likit limit ve plastik limit değerleri incelendiğinde; sepiyolit ilavesinin karışımın likit limit ve plastisite indislerini arttırdığı belirlenmiştir. Buna göre plastisite kartında %10 (S/Z) karışımı ve %20 (S/Z) karışımlarının MH tipi, %30 (S/Z) karışımının ise CH tipi kil gurubuna dahil olduğu görülmüştür. Bu guruplar atık deponi alanı tabanı için literatürde [29] belirtilen (atık depo alanları taban malzemesi olarak USCS sınıflandırma sistemine ait CH, CL ve MH tipi killer kullanım için tavsiye edilmiştir) değerlerin içerisinde yer almaktadır.

2. Serbest basınç deneyi sonuçlarında en yüksek dayanımı ve en düşük şekil değiştirme değerini %30 (S/Z) 28 gün kür uygulanan numunenin verdiği görülmüştür. Bu ise, literatürde [35] geçen sınır dayanım değeri olan 200 kN/m<sup>2</sup> 'nin üstünde bir dayanıma sahiptir. Sepiyolit miktarı arttırıldıkça dayanım değerlerinde artış görülmüştür Uygulanan kürlerin numunelerin dayanımlarını arttırdığı gözlenmiştir.. Sepiyolit, karışımlarda bir anlamda bağlayıcı bir malzeme olarak görev almıştır.

3. Karışımların şişme kapasitesi ve permeabilite deneyi sonuçlarına bakıldığında, literatür değerlerine en uygun sonucun %30 (S/Z) 28 günlük kür uygulanan numunede elde edilmiştir. Taze numunelerden ise permeabilite katsayısı en düşük olan karışım %20 (S/Z) karışımı olmuştur. Bu karışım kürler sonucunda aynı düşük geçirimsizlik değerini sağlayamamıştır. Şişme kapasitesinin sepiyolit ilavesi ile arttığı görülmüştür. Fakat bu da (bentonit+kum) karışımlarında oluşan şişme miktarına göre daha düşüktür. Bu durum, deponi alt tabakasının kullanım yeri, genişliği ve kalınlığı gibi faktörlere göre her iki karışım arasında tercih yapılması sonucunu ortaya çıkaracaktır.

4. Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası, numunelerden geçirilerek biriktirilen sıvılar üzerinde pH, elektiriksel iletkenlik ve ağır metal okumaları yapılmıştır. Karışımlara sepiyolit ilavesi ile pH değerlerinde artış gözlenmiştir. Elektiriksel iletkenlik değerlerinde ise sepiyolit ilavesinin değerleri düşürdüğü belirlenmiştir.

5. Sepiyolit ve zeolit killerinin adsorpsiyon kapasitelerinin tayini için yapılan adsorpsiyon deneyi sonuçlarına göre; sepiyolit kilinin, zeolit kiline göre yüksek miktarda adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

6. Sızıntı sonrası serbest basınç deneylerinde ise normal dayanım değerlerine göre düşüşler gözlenmiştir. Ağır metallerle kirletilen numunelerin dayanımları ise düşmektedir.

Geoteknik özellikler açısından bu karışımlardan en uygununu belirlemede ilk ve en önemli kriter, karışımın geçirimsizlik değeri olacaktır. Bir deponi alanı alt tabaka sisteminde meydana gelebilecek en olumsuz durumlar sızıntı sularından kaynaklanmaktadır. Deponi alanı alt tabaka sisteminin geçirimsizlik değeri ne kadar düşük olursa çevreye vereceği hasar da o derece minimuma indirilmiş olacaktır. Deponi alanları, uzun ömürlü dizayn edilmektedir. Bu süre içerisinde alt tabaka sisteminde bulunması istenen en önemli özellikler geçirimsizlik durumu ve dayanım değerleri olacaktır.

Yapılan deneyler için genel bir değerlendirme yapıldığında, %20 (S/Z) taze karışımı ile %30 (S/Z) 28 gün kür uygulanan karışım permeabilite açısından en uygun sonuçları vermektedir. %35 (S/Z) taze karışımı ile yapılan permeabilite deneyi sonucunda, %20 (S/Z) taze karışımı değerine yaklaşık bir sonuç elde edilmiştir.

Literatür incelendiğinde sepiyolit kilinin, bentonit kiline göre daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Zeolitin katyon değişim kapasitesi ise bentonit kiline göre daha yüksektir. Bütün bu karşılaştırmalar göz önüne alındığında (S/Z)'nin iyi bir alt yapı malzemesi olacağı görülmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip sepiyolit kilinin farklı malzemelerle kullanılması durumu araştırılabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip sepiyolit kilinin farklı malzemelerle kullanılması durumu araştırılabilir.

Sızıntı deneyi sonrası, farklı kimyasalların kullanılması ve farklı başlangıç pH değerleri için ölçümler yapılabilir.

şu an geosentetiklerle kullanılan Na-Bentonit kili yerine sepiyolit kilinin kullanılabilirliği araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] KAYABALI, K., *Engineering Aspects of a Novel Landfill Liner Material: Bentonite-Amended Natural Zeolite*, *Engineering Geology*, **46**, 105-114 (1997).
- [2] RUHL, J. ve DANIEL, D.E., *Geosynthetic Clay Liners permeated with Chemical Solutions and Leachates*, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **123**, 369-381 (1997).
- [3] VAN REE, C.C.D.F., *Design Aspects and Permeability Testing of Natural Clay and Sand-Bentonite Liners*. *Geotechnique*, **42**, 49-56 (1992).
- [4] DANIEL, D.E. ve BENSON, C.H., *Water Content-Density Criteria for Compacted Soil Liners*, *J. Geotech. Eng. ASCE.*, (111) 8, 957-970 (1985).
- [5] BISH, F. ve GUTHRIE, G.D., *Clays and Zeolites. Health Effects of Mineral Dusts*. *Rev. Mineral.*, **28**, 168-184 (1994).
- [6] MARCOTTE, D., *Washing of Bentonite in Laboratory Hydrolic Conductivity Tests.*, *J. Environ. Eng. ASCE.*, (120), **3**, 691-698 (1994).
- [7] OTHMAN, M. ve BENSON, C., *Laboratory Testing to Evaluate Changes in Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soils*, *ASTM*, **1412**, 227-254 (1994).
- [8] KAYA, A. ve FANG, H., Y., *The Effects of Organic Fluids on Physicochemical Parameters of Fine Grained Soils*. *Canadizn Geotechnical Journal*, **37**, 943-950 (2000).
- [9] KAYA, A. ve DURUKAN, S., *Utilization of Bentonite-Embedded Zeolite as Clay Liner*, *Applied Clay Science*, 07 (2003).
- [10] DI MARIO, C. ve FENELLI, G., B., *Residual Strength of Kaolin and Bentonite: The Influence of Their Constituent Pore Fluid.*, *Geotechnique*, **44**, 217-226 (1994).
- [11] KENNY, T. C., *Hydraulic Conductivity of Compacted Bentonite-Sand Mixtures*. *Can. Geotech.*, **29**, 638-649 (1992).
- [12] KOMINE., H. ve OGATA, N., *Experimental Study on Swelling Charecteristics of Compacted Bentonite*, **31**, 478-490 (1994).

- [13] PUSCH., R., *Use of Bentonite for Isolation of Radioactive Waste Products*, Clay Minerals, **27**, 353-361 (1992).
- [14] TUNCAN, A., TUNCAN, M., KOYUNCU, H. ve GÜNEY, Y., *Use of Natural Zeolites as a Landfill Liner*, Waste Management Research Vol. 21, No.1, (2003).
- [15] FERNANDEZ, F., *Viscosity and Dielectric Constant Controls on the Hydraulic Conductivity of Clayey Soils Permeated with Water-Soluble Organic*, Canadian Geotech., **4**, 582-589 (1988).
- [16] KAN, A., *Katı Atık Depolama Tesisleri ve Uygulamadan Bir Örnek*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü., İnşaat Mühendisliği A.B.D. Yüksek Lisans Tezi (1996).
- [17] YAZICI, H., *Düzenli Depolama Alanı Gaz Emisyonlarının Belirlenmesi ile İlgili Bir Model (LandGEM) Çalışması*, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak., Çevre Mühendisliği Lisans Tezi (2000).
- [18] SHARMA, D. Harr ve LEWIS P. Sam Geeta, *Waste Containment Systems, Waste Stabilization and Landfills*.
- [19] *T.C. Çevre Bakanlığı Yönergesi* (1993).
- [20] Katı Atık Kirlenmesi ve Denetimi Türk Milli Komitesi, *Katı Atık Yönetimi Eğitim Kursu Notları*, Eskişehir (3-9 Aralık 2004).
- [21] CAN, G., MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Dairesi Maden Ekonomisi Birimi, *Dünya'da ve Türkiye'de Sepiyolitik Kil*, Ankara (1992).
- [22] KUTAY, A., *Katı Atıkların Depolanmasında Karşılaşılan Geoteknik Problemler*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü., İnşaat Mühendisliği A.B.D. Yüksek Lisans Tezi (1994).
- [23] YILDIZ, M., *Katı Atık Depolarında Taban Malzemesinin Hidrolik ve Mukavemet Özelliklerinin İyileştirilmesi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D. Doktora Tezi, Konya (1998).
- [24] Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik OİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Cilt 1.
- [25] BARAN, S., *Katı Atık (çöp) Depo Yerlerinin Seçimi ve İnşaaındaki Bazı Ana Hususlar*, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 52-54, (1995).

- [26] ŞENGÜL, T., *Ağır Metal ve Tuzlarla Kirlenmiş Killi Zeminlerin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D. Yüksek Lisans Tezi (2003).
- [27] MARTIN, J., P., Biehl, F.J., Browning, J.S. ve Van-Keuren E.L., *Constitutive Behavior of Clay And Pozzolon-Stabilized Hydrocarbon Refining Waste*, Geotechnics of Waste Fills Teory and Practise, ASTM STP 1070, Philadelphia. (1990).
- [28] CHRISTENSEN, T., H., COSSU, R. ve STEGMANN, R., *Landfilling of Waste: Barriers*
- [29] SAKA, N., *Endüstriyel Atıkların Çöp Depolama Alanı Dizaynında Geçirimsizlik Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D. Yüksek Lisans Tezi (2001).
- [30] DANIEL, D.E., *Early Days of Environmental Geotechnology*, Geotechnical Practice For Waste Disposal, Edited by Daniel, D.E., Chapman & Hall Plc., London, UK., 3-14 (1993).
- [31] FANG, H.Y., *Environmental Geotechnology: A Perspective, Proceedings of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnology*, Edited by Üşmen, M.A., Acar Y.B., Balkema Plc., Rotterdam, Netherlands, 11-20 (1992).
- [32] CONNER, J.R., *Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes*. Van Nostrand Reinhold, New York (1990).
- [33] JONES, L., W., *Interference Mechanisms in Waste Stabilization/Solidification Process. J. Of Hazardous Materials*, Vol. 24, Elsevier Science Publishers, 83-88 (1990).
- [34] UZUNER, B., A., *Temel Zemin Mekaniği*, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknik Yayınevi Mühendislik Mimarlık Yayınları, Ankara (1998)
- [35] DANIEL, D.E. and Wu, Y.K., *Compacted Clay Liners and Covers for Arid Sites*, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Volume 119, No.2, 16-22 (1993)

## **EKLER**

**EK 1. Literatürde içme suyunda müsaade edilen metallerin maksimum limitleri**

**Ek 2. Literatürde sızıntı suyu içinde müsaade edilen metallerin max. limitleri**

**Ek 3. Literatürde permeabilite katsayısına bağlı olarak alt tabaka kalınlıkları**

**Ek 4. Literatürde kirli zeminler için verilen max. mineral miktarı**

**Ek 5. Karışımlara uygulanan serbest basınç deneyi sonuçları**

**Ek 6. Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası pH ölçümü sonuç grafikleri**

**Ek 7. Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası elektriksel iletkenlik ölçümü sonuç grafikleri**



**EK.1. Literatürde içme suyunda müsaade edilen metallerin maksimum limitleri**

<sup>1</sup>Kamon, e al. (1991), <sup>2</sup>Kern, et al. (1988), <sup>3</sup> Environment Canada 81979), <sup>4</sup> Pardus (1988), <sup>5</sup> Water Environment Federation (WEF9 (1993), <sup>6</sup> Resmi Gazete (1991).

Metaller	Japon Temiz Su Kanununa Göre <sup>1</sup> (mg/l)	USEPA İçme Suyu Standardı <sup>2</sup> (mg/l)	İçme Suyu Standardı <sup>3</sup> (mg/l)	İçme Suyu Standardı <sup>4</sup> (mg/l)	Avrupa Topluluğu İçme Suyu Standardı <sup>5</sup> (mg/l)	Kıta İçi Su Kaynakları Kontrolü <sup>6</sup> (ppm)
Arsenik (As)	0.5	0.05	-	<0.01	0.04	1
Bakır (Cu)	3	-	1	<0.2	0.1	0.2
Baryum (Ba)	-	1	-	-	-	-
Demir (Fe)	10	-	17	-	-	1.0
Civa (Hg)	-	-	-	-	0.001	-
Çinko (Zn)	5	-	5	0.1-0.3	0.1	0.5
Kadmiyum (Cd)	0.1	0.01	-	<0.01	0.005	0.01
Krom (Cr)	0.5	0.05	-	<0.1-0.3	0.05	0.2
Kurşun (Pb)	1	0.05	0.05	<0.1	0.04	0.05
Mangan (Mn)	10	0.05	-	-	-	2.0
Nikel (Ni)	3	-	-	0.35	0.05	0.2
Selenyum (Se)	-	-	-	-	0.01	-
Florür (F)	-	-	-	-	1.5	-
Siyanür (CN <sup>-</sup> )	-	-	-	-	0.05	-
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	-	-	-	-	50	-
Aromatik Hidrokarbo	-	-	-	-	0.0002	-

EK.2.1. Literatürde leachate (sızıntı) suyu için müsaade edilen metallerin maksimum limitleri.

Metaller	TCLP <sup>a</sup> (mg/l)	ASTM <sup>a</sup> (mg/l)	EP Toxicity <sup>b</sup> (mg/l)	Literatürde Bulunan Değerler		
				Sızıntı Suyu <sup>c</sup> (mg/l)	Sızıntı Suyu <sup>a</sup> (mg/l)	Sızıntı Suyu <sup>d</sup> (mg/l)
Alüminyum (Al)	---	---	---	---	3.900	---
Arsenik (As)	0.70	0.04	5	---	850	500
Bakır (Cu)	---	---	---	0.005 - 9.9	---	---
Baryum (Ba)	0.44	0.34	100	---	340	---
Civa (Hg)	<0.002	<0.002	0.2	---	<0.3	---
Çinko (Zn)	---	---	---	%60	---	---
Demir (Fe)	---	---	---	4 - 2820	240.000	---
Gümüş (Ag)	<0.01	<0.01	5	---	10	---
Kadmiyum (Cd)	<0.02	<0.02	1	0.3 - 17	20	100
Kalsiyum (Ca)	---	247	---	---	304.000	---
Krom (Cr)	<0.01	<0.01	5	0.2 - 18	370	500
Kurşun (Pb)	<0.035	<0.035	5	0.001 - 2	330	500
Nikel (Ni)	---	---	---	0.2 - 79	---	134
Magnezyum (Mg)	---	<1.0	---	---	510	---
Potasyum (K)	---	---	---	---	1100	---
Selenyum (Se)	<0.01	<0.01	1	---	14	---
Sodyum (Na)	---	---	---	---	1100	---

<sup>a</sup>Foxworthy, et al. (1996); <sup>b</sup>Taha (1993) ve Morgan (1984); <sup>c</sup>Ray, et al. (1986); <sup>d</sup>Schurgor (1985)  
TCLP: U.S. EPA Toxicity Characteristic Leaching Procedure (SW-846, Method 1330), ASTM: American Society of Testing Materials, EP Toxicity: U.S. EPA Extraction Procedure Toxicity Test Method (SW-846, Method 1320).

**Ek 3.1: Litaratürde Permeabilite Katsayısına Bağlı Olarak Alt Tabaka Kalınlıkları**

Ülke	Atık Cinsi	Permeabilite Katsayısı k (cm/sn)	Atık Tabaka Kalınlığı d (m)
Fransa	Evsel	$1 \times 10^{-6}$	5,00
	Endüstriyel	$1 \times 10^{-9}$	5,00
Almanya	İnert	$1 \times 10^{-9}$	0,50
	Evsel	$5 \times 10^{-5}$	0,75
	Endüstriyel	-	1,50
Michigan (USA)	Arazi 1	$8.5 \times 10^{-9}$	-
	Arazi 2	$1.1 \times 10^{-8}$	-
	Arazi 3	$1.1 \times 10^{-8}$	-
Marathon County (USA)	Arazi 1	$1 \times 10^{-9}$	-
	Arazi 2	$3 \times 10^{-9}$	-
Partage County (USA)		$1 \times 10^{-8}$	-
Savk County (USA)		$8 \times 10^{-8}$	-
Texas Eyaleti (USA)		$2 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$	0,30
Wisconsin Eyaleti (USA)		$1 \times 10^{-7}$	0,20 - 0,30
Pensilvanya Eyaleti (USA)		$< 10^{-7}$	0,15
Montreal Eyaleti (Kanada)		$3 \times 10^{-8}$	-
İngiltere		$1 \times 10^{-9}$	1,00

EK. 4.1. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum mineral miktarları.

Mineraller	İngiltere (mg/kg hava kurusu zemin)		
	Kullanım Yeri	Başlangıç Sınır Değeri	Etki Eden Değeri
Sülfür (S)	Bütün Kullanım Yerlerinde	5000	20000
Sülfat	Ev Bahçeleri, Parklar, Kır Alanları	2000	10000
	Yapı Alanları	2000	50000
	Sık Ağaçlık ve Çalılıklar	2000	Yok
Sülfat	Bütün Kullanım Yerlerinde	250	1000
Toplam Serbest	Ev Bahçeleri, Parklar, Kır Alanları	25	500
	Yapı Alanları; Sık Ağaçlık ve Çalılıklar	100	500
Toplam Kompleks	Ev Bahçeleri, Parklar, Kır Alanları	250	5000
	Yapı Alanları; Sık Ağaçlık ve Çalılıklar	250	Yok
Thiosiyandır (CN)	Bütün Kullanım Yerlerinde	50	Yok
PH	Ev Bahçeleri, Parklar, Kır Alanları	5	3
	Yapı Alanları; Sık Ağaçlık ve Çalılıklar	Yok	Yok

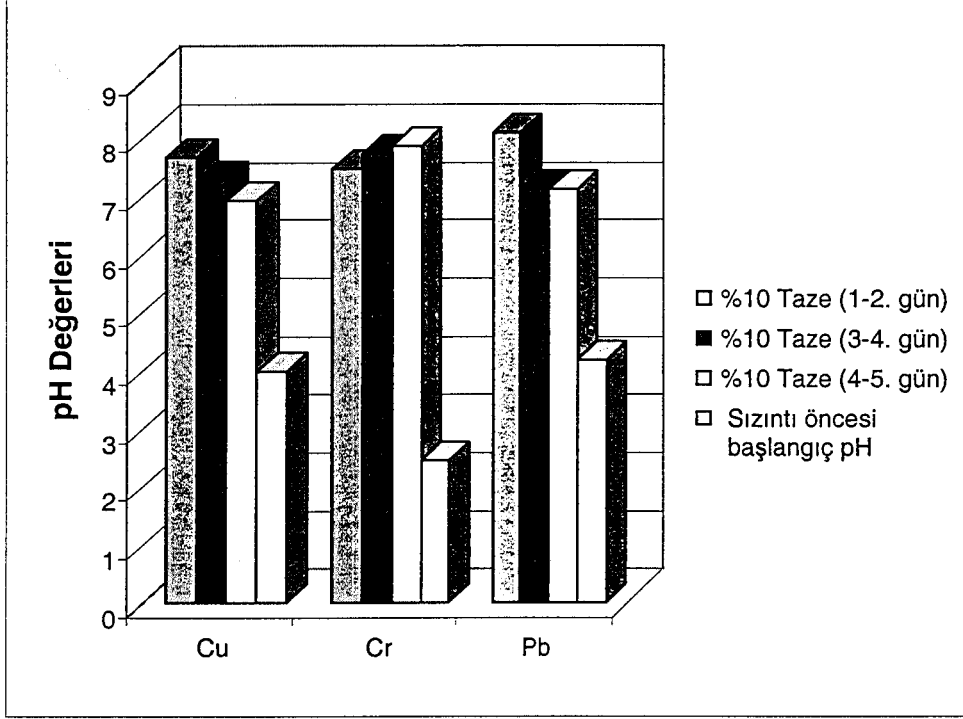
Kaynak: Water Environment Federation (WEF) (1993).

Ek 5.1. Karışımlara uygulanan serbest basınç deneyi sonuçları

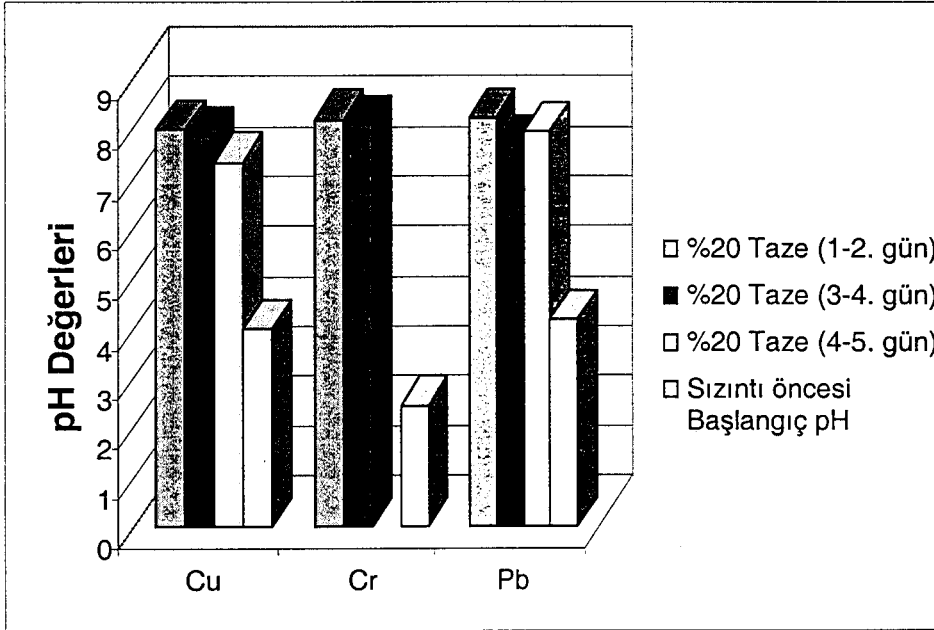
Numuneler	Gerilme (qu) kN/m <sup>2</sup>	Şekil Değişirme
%10 (S/Z)taze	58	2.3
%20 (S/Z)taze	153.5	4.8
%30 (S/Z)taze	123.8	4.7
%10 (S/Z) 7 gün kür	119.7	5.8
%20 (S/Z) 7 gün kür	65.7	5.05
%30 (S/Z) 7 gün kür	158	4.7
%10 (S/Z) 28 gün kür	161	4.2
%20 (S/Z) 28 gün kür	87.1	4.7
%30 (S/Z) 28 gün kür	201.9	6.07
	217.2	3.7

Çizelge Ek 6. Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası pH ölçümü sonuç grafikleri

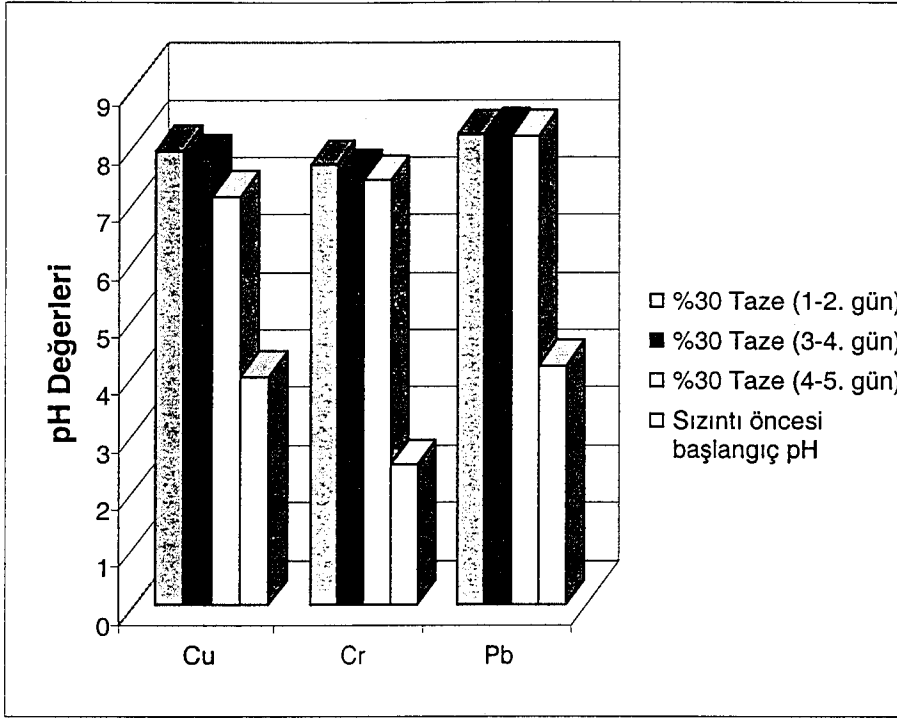
Çizelge Ek 6.1. %10 taze numunelerin (1-5) günlük pH değerleri



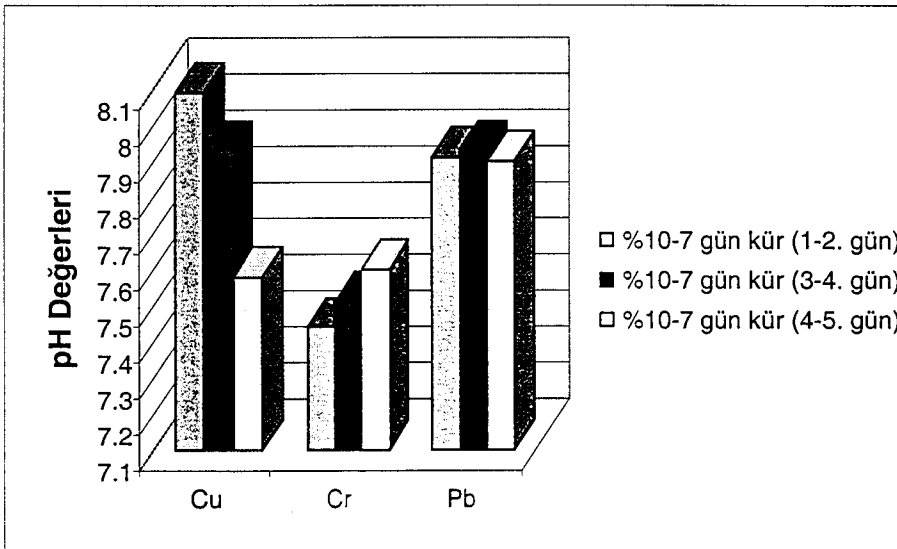
Çizelge Ek 6.2. %20 taze numunelerin (1-5) günlük pH değerleri



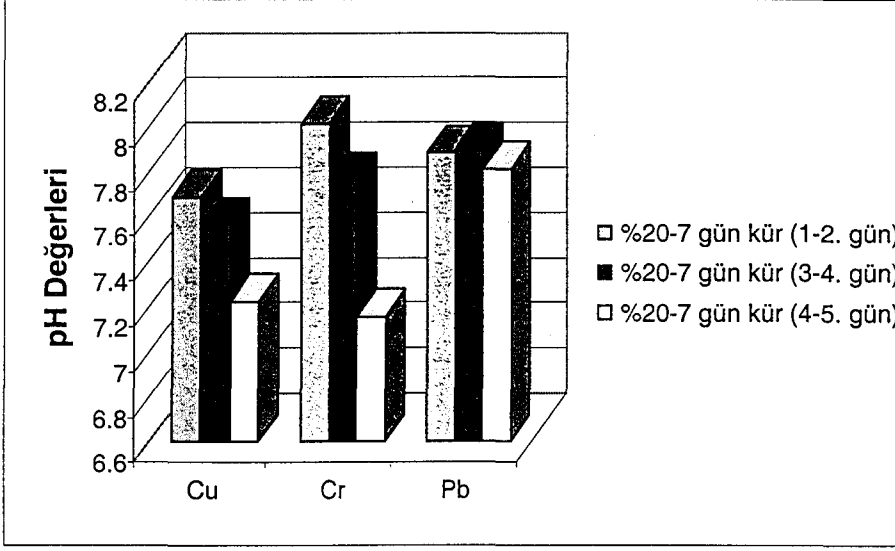
Çizelge Ek 6.3. %30 taze numunelerin (1-5) günlük pH değerleri



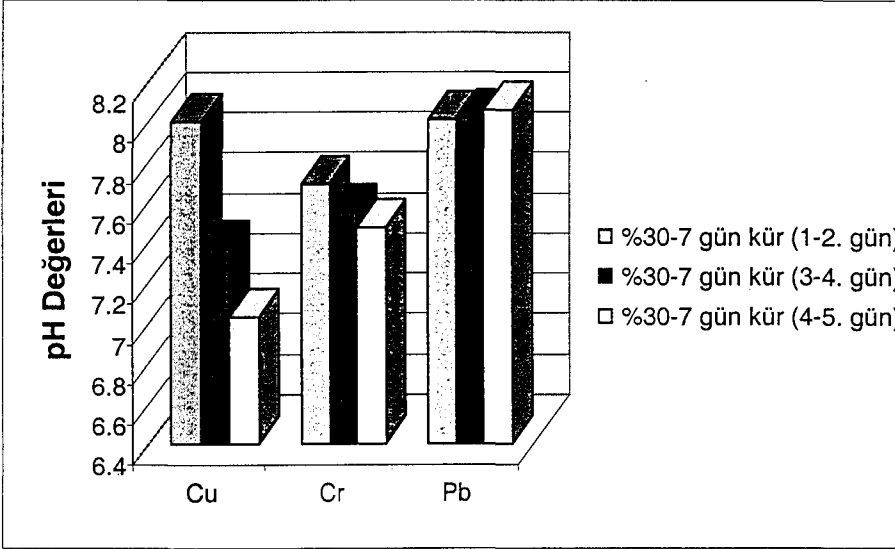
Çizelge Ek 6.4. %10 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük pH değerleri



Çizelge Ek 6.5. %20 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük pH değerleri

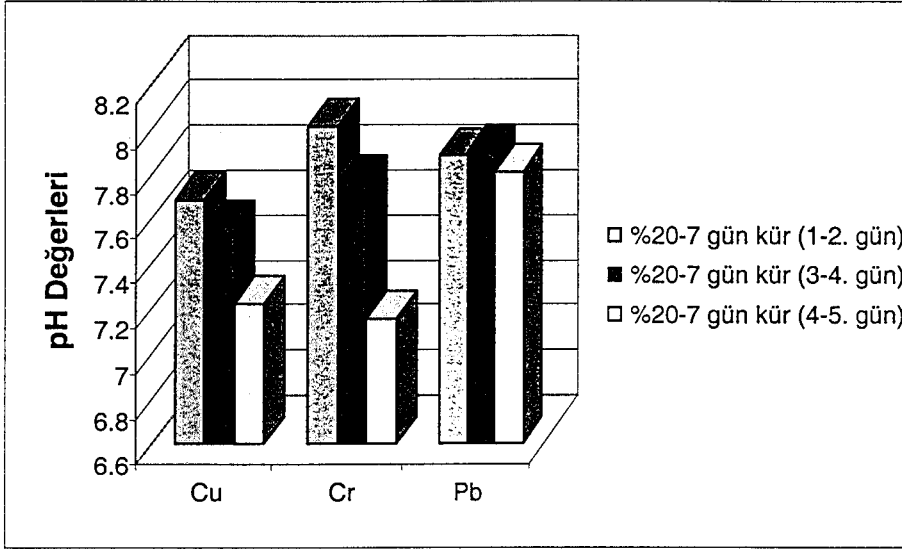


Çizelge Ek 6.6. %30 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük pH değerleri

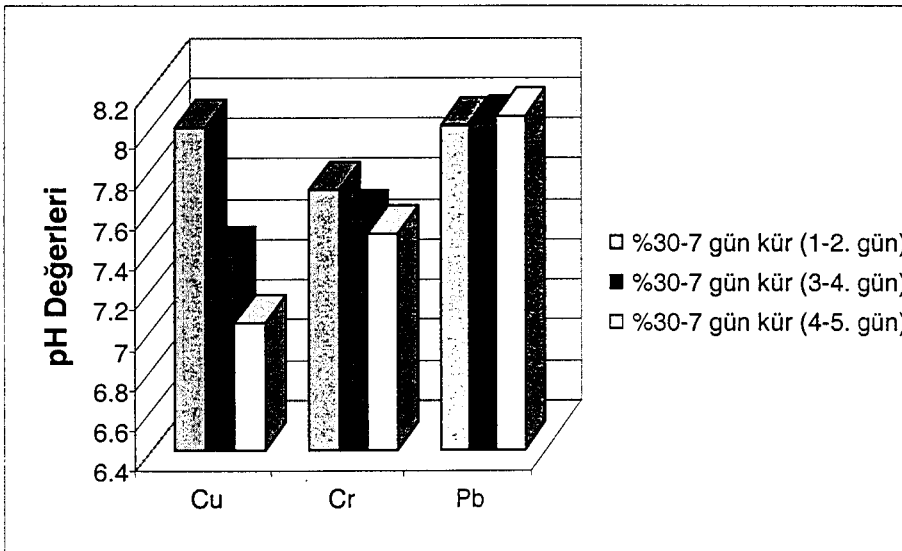




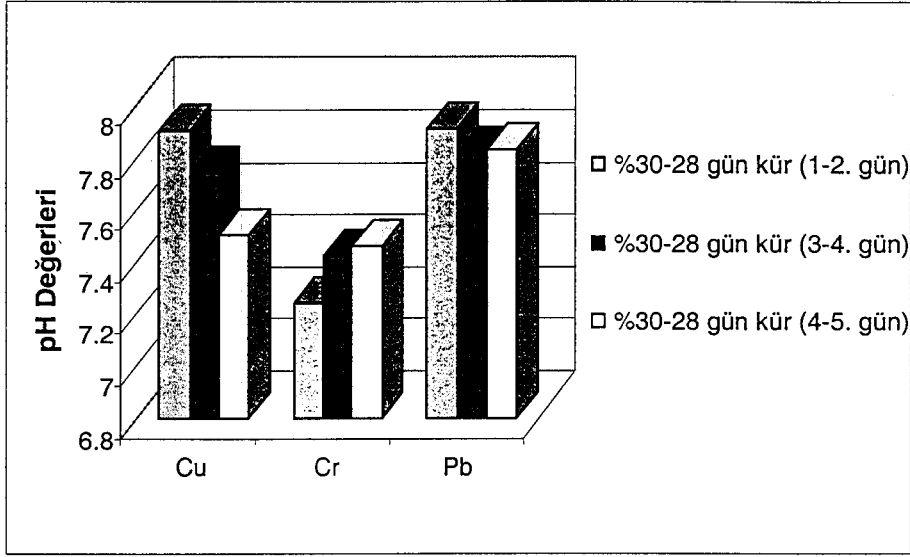
Çizelge Ek 6.5. %20 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük pH değerleri



Çizelge Ek 6.6. %30 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük pH değerleri

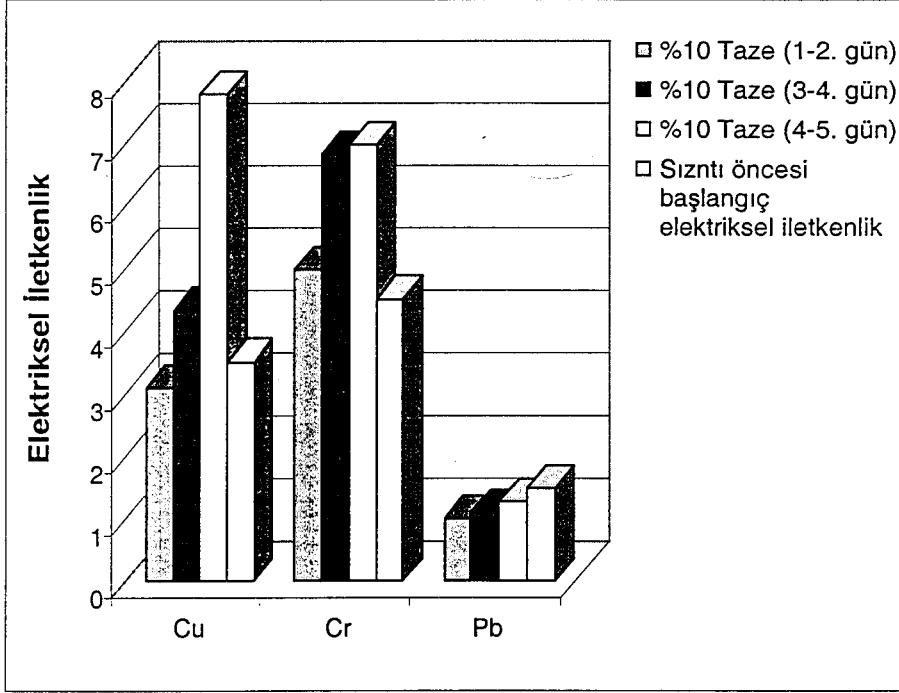


Çizelge Ek 6.9. %30 28 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük pH değerleri

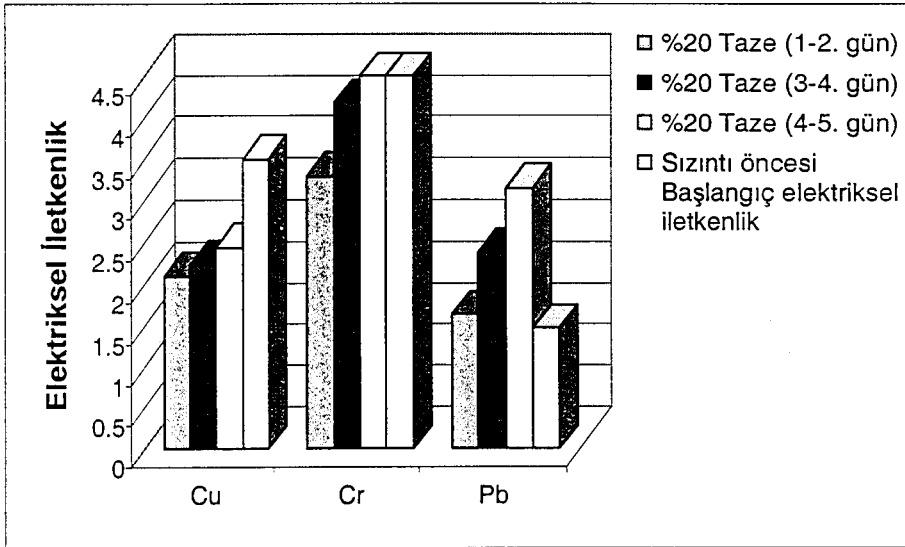


Çizelge Ek 7. Karışımlara uygulanan sızıntı deneyi sonrası pH ölçümü sonuç grafikleri

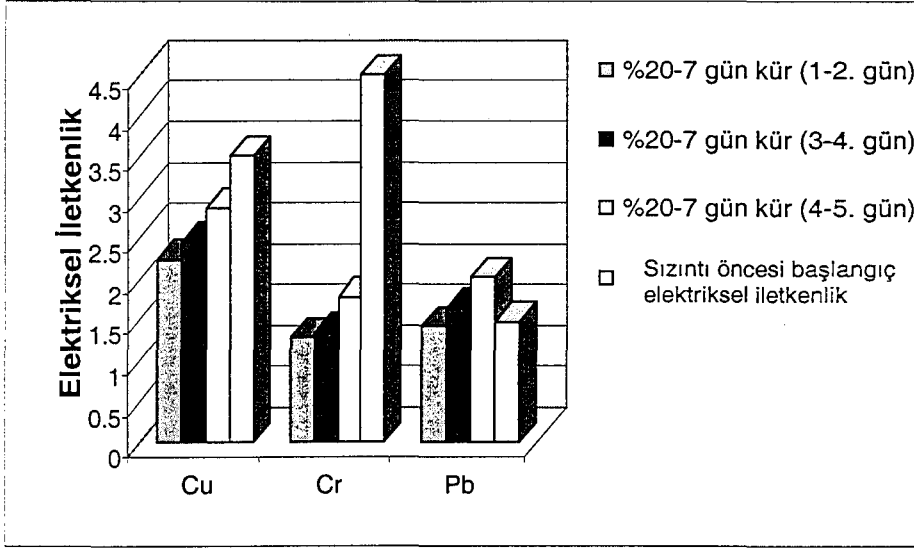
Çizelge Ek 7.1. %10 taze numunelerin (1-5) günlük pH değerleri



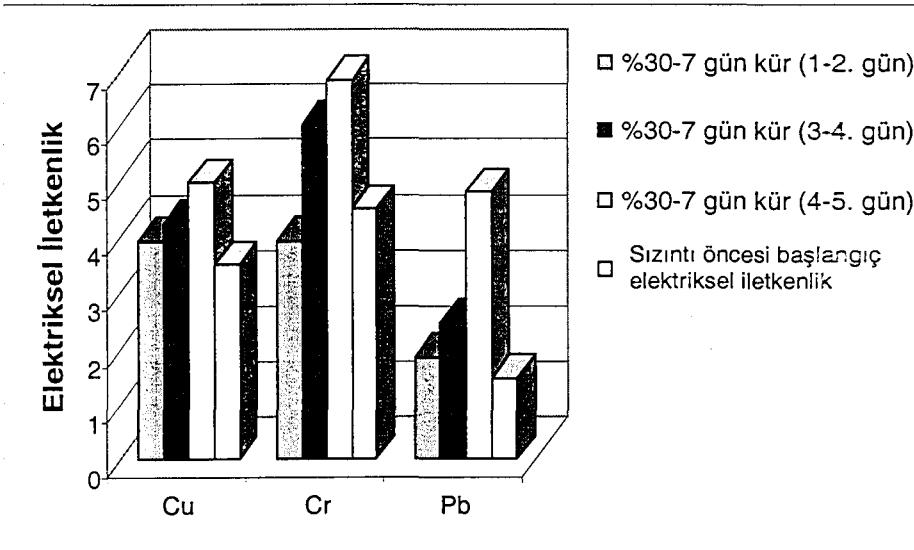
Çizelge Ek 7.2. %20 taze numunelerin (1-5) günlük elektriksel iletkenlik değerleri



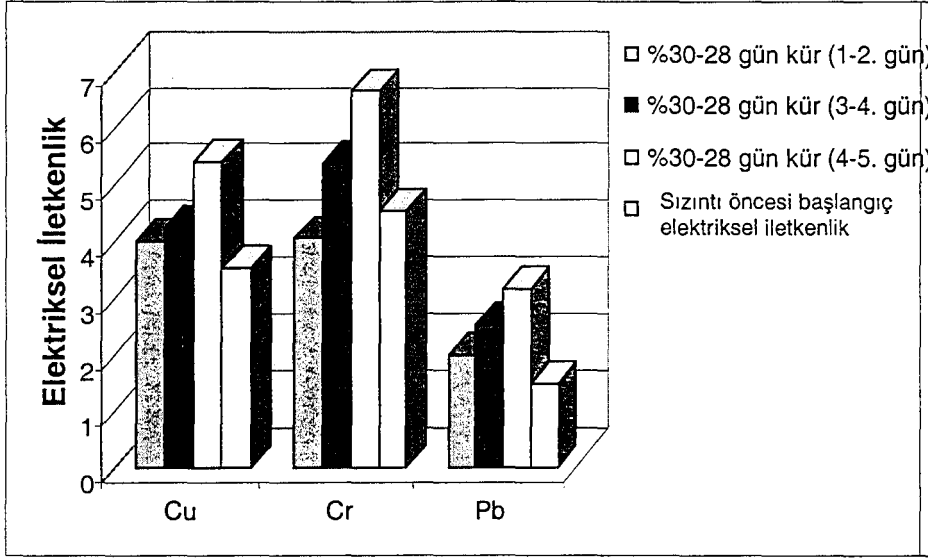
Çizelge Ek7.5. %20 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük elektriksel iletkenlik değerleri



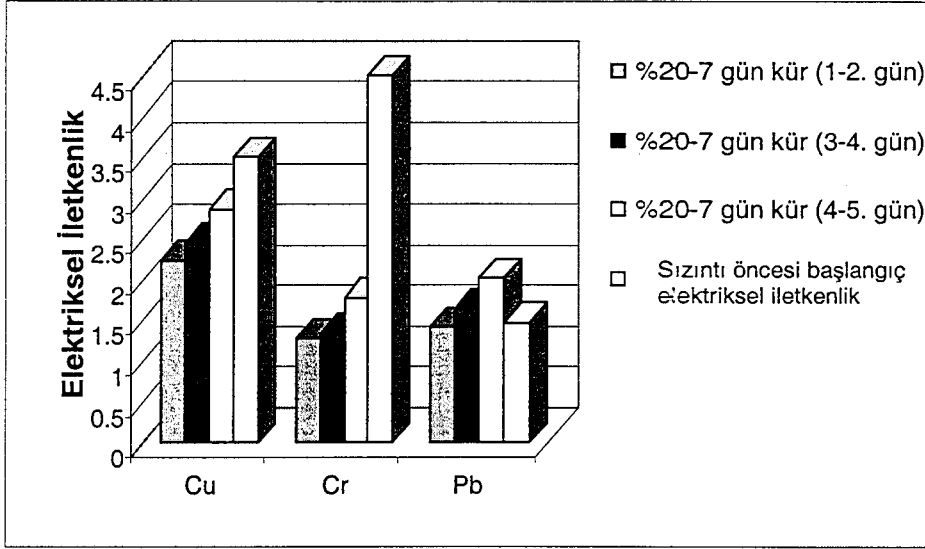
Çizelge Ek7.6. %30 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük elektriksel iletkenlik değerleri



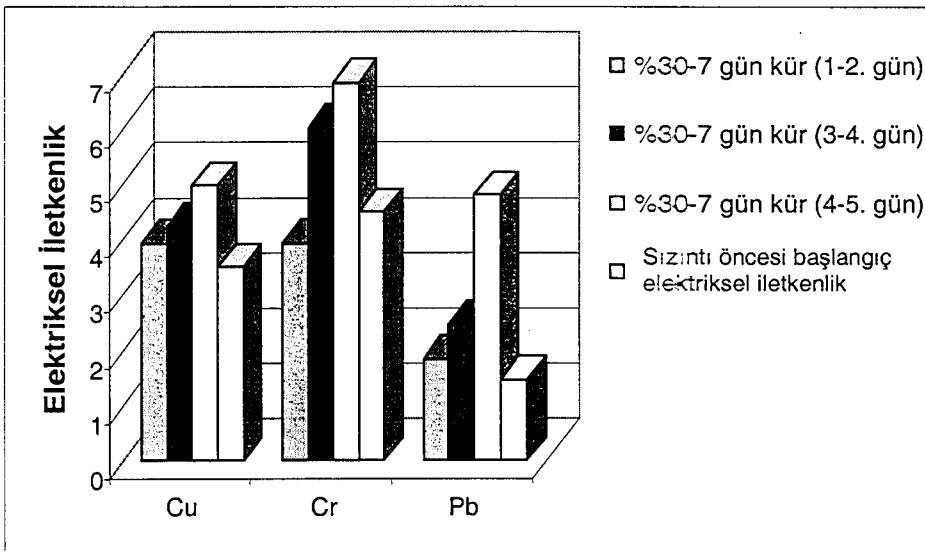
Çizelge Ek7.9. %30 28 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük elektriksel iletkenlik değerleri



Çizelge Ek7.5. %20 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük elektriksel iletkenlik değerleri



Çizelge Ek7.6. %30 7 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük elektriksel iletkenlik değerleri



Çizelge Ek7.9. %30 28 gün kür uygulanan numunelerin (1-5) günlük elektriksel iletkenlik değerleri

