

**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN
ÇÖP DEPOLAMA ALANI DİZAYNINDA
GEÇİRİMSİZLİK MALZEMESİ OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Nazile SAKA
Yüksek Lisans Tezi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Temmuz-2001**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Nazile SAKA'nın "Endüstriyel Atıkların Çöp Depolama Alanı Dizaynında Geçirimsizlik Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi" başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans tezi *12/07/2001* tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı – Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

Üye : Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOMBUL

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun *12/07/2001* tarih ve *24/2* sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN ÇÖP DEPOLAMA ALANI DİZAYNINDA GEÇİRİMSİZLİK MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Nazile SAKA

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2001, 133 sayfa

Bu çalışmada, endüstriyel atıkların çöp deponi alanı dizaynında geçirimsizlik malzemesi olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Endüstriyel atıklar, stabilizasyon/sodifikasyon yöntemi ile fiziksel, kimyasal ve mekanik olarak iyileştirilmiştir. Atık çamuru ve kalıp kumu gibi endüstriyel atıklar, kireç ve zeolit gibi ilave malzemelerle iyileştirilip, çöp depolama alanında geçirimsizlik malzemesi olarak kullanılması önerilmiştir. Stabilizasyon öncesi ve sonrası karışımların geoteknik ve fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Böylece hem kirlilik bertaraf edilmiş ve hem de ekonomik bir çözüm önerilmiştir.

Bilecik İli, Bozüyük İlçesine ait, evsel ve evsel nitelikli atıkların düzenli olarak depolanabilmesi amacıyla deponi dizaynı önerilmiştir. Deponi dizaynında, alt, üst ve yan geçirimsizlik tabakalarında kullanılmak üzere laboratuarda hazırlanan karışımlar önerilmiştir. Bu çalışmada kullanılan atık çamuru Eczacıbaşı Fabrikasından, kalıp kumu ise Toprak Demir Döküm Fabrikasından temin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Atık, Çöp Deponi Alanı Dizaynı, Kireç, Zeolit, Stabilizasyon/Sodifikasyon Yöntemi.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

ASSESSMENT OF INDUSTRIAL WASTES AS AN IMPERMEABLE MATERIAL IN THE SANITARY LANDFILL DESIGN

Nazile SAKA

Anadolu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Program

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2001, 133 pages

In this study, industrial wastes are used as an impermeable material for the sanitary landfill design. Industrial wastes are improved physically, chemically and mechanically by stabilization/solidification technique. It has been suggested that industrial wastes such as waste sludge and molded sand were improved by additives such as lime and zeolite and then used as an impermeable material for the sanitary landfill. Geotechnical and physico-chemical properties of mixtures are determined before and after stabilization. Therefore, it has been not only waste material improved but also economical solution suggested.

Sanitary landfill design is suggested for the Bozüyük County of City of Bilecik. Laboratory prepared mixtures are to use for the impermeable bottom, top and side slope liners in the sanitary landfill design. Waste sludge and molded sand are obtained from the Factory of Eczacıbaşı and the Factory of Toprak Demir Döküm, respectively.

Key words: Industrial Wastes, Sanitary Landfill Design, Lime, Zeolite Stabilization /Solidification Methods .

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, bilgisini, deneyimini ve yardımını esirgemeyen Danışman hocam Prof. Dr. Ahmet TUNCAN'a, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa TUNCAN, Yrd. Doç. Dr. Yücel GÜNEY, Yrd. Doç. Dr. Hakan KOYUNCU ve Yrd. Doç. Dr. Gülgün ÜNAL, Tekniker Adnan KILIÇ, Orman Bakanlığı Toprak Laboratuvarı çalışanlarına ve Teknisyen Salim TÜRKER' e teőekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarımda kullandığım atık çamuru temin ettiğimiz Eczacıbaşı Fabrikasına, kalıp kumunu temin ettiğimiz Toprak Demir Döküm Fabrikasına teőekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu çalışmamda bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan aileme de en içten Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	i v
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Yapılan Çalışmanın Amacı	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. İyileştirme Metotları	4
2.1.1. Fiziksel metotlar	4
2.1.2. Kimyasal metotlar	5
2.1.3. Biyolojik metotlar	7
2.1.4. Isıtma Sistemleri	8
2.1.5. Diğer metotlar	8
2.2. Stabilizasyon/Solidifikasyon (S/S) Metotları	9
2.2.1. Stabilizasyon/solidifikasyon terimleri	14
2.2.2. Stabilizasyon metotlarının sınıflandırılması	14
2.2.3. Pozolanik reaksiyonlar	15
2.2.4. Stabilizasyon sonrası atıkların yeniden değerlendirilmesi	16
2.3. Düzenli Çöp Depolama Alanı Dizaynları	16

2.3.1. Yurt içi katı atık deponi sistemi	17
2.3.2. Yurt dışı katı atık deponi sistemi	20
2.4. Geçirimsiz Tabaka Olarak Kullanılan Malzemeler	25
3. KİL MİNERALLERİNİN ÖZELLİKLERİ	27
3.1. Kilin Minerolojik Özellikleri	27
3.1.1. Kil mineralinin yapısı	27
3.1.2. Kil mineralinin şekli ve genel yapıları	29
3.1.3 Kil minerallerinin minerolojik yapıları	30
3.1.4. Kaolin kilinin endüstrideki kullanımı	34
3.2. Killerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri	35
3.2.1. pH	35
3.2.3. Ağır metal tayini	36
3.2.5. Anyon değişim kapasitesi	37
3.2.6. Spesifik yüzey alanı	37
4. BOZÜYÜK İLÇESİ ÇÖP ALANININ MEVCUT DURUMU	38
5. DENEY METOTLARI	42
5.1. Standart Kompaksiyon Deneyi	42
5.2. İndeks Deneyleri	42
5.2.1. Su muhtevası	42
5.2.2. Tane özgül ağırlığı	43
5.2.3. Tane çapı dağılımı	43
5.2.4. Atterberg kıvam limitleri	43
5.3. Mekanik Deneyler	44
5.3.1. Deney numunelerinin hazırlanması	44
5.3.2. Serbest basınç deneyi	44
5.3.3. Düşen seviyeli permeabilite deneyi	45
5.3.4. Permeabilite sonrası serbest basınç deneyi	46

5.3.5. Konsolidasyon deneyi	46
5.4. Fiziko-Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi	47
5.4.1. Katyon değişim kapasitesi	47
5.4.2. pH	49
5.4.3. Elektriksel iletkenlik	49
5.4.4. Organik madde tayini	50
5.4.5. Toplam ağır metal miktarı tayini	51
5.5. Çevresel Şartlara Ait Özellikler	56
5.5.1. Sızıntı deneyi	56
5.5.2. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç deneyi	56
6. KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	58
6.1. Endüstriyel Atıklar	58
6.1.1. Atık çamuru (Seramik endüstrisi atıksu arıtma çamuru)	58
6.1.1.1. Atık çamurun özellikleri	59
6.1.2. Kalıp kumunun özellikleri (Demir döküm atığı)	62
6.2. İlave Malzemelerin Özellikleri	64
6.2.1. Kireç ve kirecin özellikleri	64
6.2.2. Zeolit ve özellikleri	68
6.2.2.1. Zeolitlerin tarihçesi	68
6.2.2.2. Zeolitlerin kimyasal bileşimi ve yapısı	68
6.3. Sızıntı Suyu	70
6.3.1. Çöp suyu ve özellikleri	70
7. KARIŞIMLARIN LABORATUVARDA STABİLİZASYONU	72
7.1. Karışımlar ve Oranları	72
7.1.1. Tek ve iki ilave malzemeli karışımlar	72
7.2. Karışımlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları	74
7.2.1. İndeks deney sonuçları	74
7.2.1.1. Su muhtevası	74

7.2.1.2. Tane özgül ağırlığı	74
7.2.1.3. Tane çapı dağılımı	74
7.2.1.4. Atterberg kıvam limitleri	75
7.2.2. Mekanik deney sonuçları	77
7.2.2.1. Serbest basınç mukavemeti	77
7.2.2.2. Permeabilite katsayısı	78
7.2.2.3. Permeabilite sonrası serbest basınç mukavemeti	78
7.2.3. Fiziko-kimyasal özelliklerin belirlenmesi	80
7.2.3.1. pH	80
7.2.3.2. Katyon değişim kapasitesi	80
7.2.3.3. Elektriksel iletkenlik	80
7.2.3.4. Organik madde tayini	81
7.2.3.5. Toplam ağır metal miktarı tayini	81
7.2.4. Çevresel şartlara ait deneyler	83
7.2.4.1. Sızıntı deneyi	83
7.2.4.2. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç deneyi	83
7.3. Sonuçlar	87
8. DEPONİ ALANI DİZAYNI	88
8.1. Arazi Eğimi	88
8.2. Geçirimsizlik Tabaka Sistemi	88
8.3. Sızıntı Suyu Drenajı	89
8.3.1. Sızıntı suyunun toplanması	89
8.3.2. Sızıntı suyunun azaltılması	90
8.4. Gaz Drenajı	91
8.4.1. Gaz toplama sistemleri	92
8.4.2. Depo gazının değerlendirilmesi	92
8.4.3. Aktif gaz toplama sistemlerinin kontrolü	92
8.5. Çöp Dolgu Kümesinin Yüksekliği	92
8.6. Geçirimsiz Kil Tabakasının Sıkıştırılması	94

8.7. Çöp Dolgusunun Sıkıştırılması	95
8.8. Üst Örtü Tabakası	96
8.9. Çöp Deponi Alanı Ömrü	96
8.10 . Sonuçlar	96
9. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	105
10. KAYNAKLAR	107
11. EKLER	112
EK-1. Literatürde zemin, sızıntı suyu ve içme suyu için verilen kirlilik sınır değerleri	113
EK-2. Laboratuarda hazırlanan karışımların deney sonuçlarının grafik üzerinde karşılaştırılması	125
EK-3. Kullanılan endüstriyel atıkların ve ilave malzemelerin özellikleri	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Muhtelif deponi tabanı geçirimsizlik sistemleri	19
2.2. Deponi üst yüzey geçirimsizlik sistemi	19
2.3. Yurt dışında kullanılan deponi tabanı geçirimsizlik sistemleri	20
2.4. Yurt dışı deponi üst yüzey geçirimsizlik sistemi	22
2.5. Çöp depolama alanı kesitleri	24
3.1. (a) Oktahedron (b) Tetrahedron	27
3.2. Kaolinit kilinin yapısı	31
3.3. Montmorillonit kilinin yapısı	32
3.4. İllit kilinin yapısı	33
4.1. Bozüyük ilçesi mevcut çöp alanı	39
4.2. Bozüyük ilçesi mevcut çöp alanı (köy yolu)	40
4.3. Bozüyük ilçesi mevcut çöp alanı	40
5.1. Permeabilite deney sistemi	46
5.2. Ödometre deney sistemi	47
5.3. Santrifüj aleti (Katyon değişim kapasitesi deneyi)	48
5.4. Sızıntı deney sistemi	57
6.1. Atık çamura ait granülometri eğrisi	60
6.2. Atık çamurun standart proktor eğrisi	61
6.3. Sızıntı suyundaki ağır metal miktarı	61
6.4. Kalıp kuma ait granülometri eğrisi	63
6.5. Kuma ait granülometri eğrisi	63
7.1. İlave malzemelere göre granülometri eğrisi	75
8.1. Geçirimsizlik kil tabakasının sıkıştırılması için gerekli geçiş sayısı	94
8.2. Deponi dizaynı boyutları	100
8.3. Deponi dizaynı plan ve kesiti	101
8.4. Çöp deponi alanı dizaynı	102

8.5. Çöp deponi alanı dizaynı	103
8.6. Çöp deponi alanı dizaynı	104
EK-2.1. Kum ve kalıp kumu ilaveli karışımların permeabilite katsayısı değerleri	125
EK-2.2. Kum ve kalıp kumu ilaveli karışımların serbest basınç mukavemet değerleri	125
EK-2.3. Kireç ve zeolit ilaveli karışımların serbest basınç mukavemet değerleri	126
EK-2.4. Karışımların permeabilite katsayısı değerleri	126
EK-2.5. Karışımların serbest basınç mukavemet değerleri	127
EK-2.6. Karışımların permeabilite sonrası serbest basınç mukavemet değerleri	127
EK-2.7. Karışımların pH değerleri	128
EK-2.8. Karışımların elektriksel iletkenlik değerleri	128
EK-2.9. Karışımların toplam metal miktarı	129
EK-2.10. Sızıntı sonrası serbest basınç mukavemet değerleri	129
EK-2.11. Sızıntı suyu içindeki kurşun miktarı	130
EK-2.12. Sızıntı suyu içindeki krom miktarı	130
EK-2.13. Sızıntı suyu içindeki çinko miktarı	131
EK-2.14. Sızıntı suyu içindeki nikel miktarı	131
EK-2.15. Sızıntı suyu içindeki bakır miktarı	132

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
4.1. Bozüyük İlçesi aylık atık cinsleri ve miktarı	39
6.1. Atık çamurun indeks, mekanik ve çevresel şartlara ait özellikleri	60
6.2. Atık çamurun fiziko-kimyasal özellikleri	61
6.3. Sızıntı suyunun ağır metal miktarları	61
6.4. Kalıp kumun indeks özellikleri	62
6.5. Kalıp kumun fiziko-kimyasal özellikleri	62
6.6. Literatürde verilen kireç çeşitleri ve formülleri	64
6.7. İlave malzemelerin indeks ve fiziko-kimyasal özellikleri	71
7.1. Tek ilave malzemeli numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri ve permeabilite katsayısı	72
7.2. İlave malzemelerin oranlarına göre serbest basınç deneyi sonuçları	73
7.3. Karışımların indeks özellikleri	76
7.4. Serbest basınç değerleri ve permeabilite katsayısı değerleri	79
7.5. Karışımlara ait fiziko-kimyasal ve çevresel şartlara ait özellikler	82
7.6. Sızıntı suyu metal miktarı değerleri	84
8.1. Karışımlar ile deponi dizaynı parametreleri	98
8.2. Geosentetik ve karışım+geosentetik malzemeler ile deponi dizaynı parametreleri	99
EK-1.1. Literatürde katı atıkları değerlendirme ve bertaraf tesisleri	113
EK-1.2. Literatürde içme suyunda müsaade edilen metallerin maksimum limitleri	114
EK1.3. Literatürde leachate (sızıntı) suyu içindeki organikler ve tuzların maksimum limitleri	115
EK-1.4. Leachate (sızıntı) suyu için literatürde müsaade edilen metallerin maksimum limitleri	116
EK-1.5. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum metal miktarları	117
EK-1.6. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum toplam metal	

miktarları	118
EK-1.7. Literatürde kirli zeminler ve yeraltı suyu için verilen maksimum toplam metal miktarları	119
EK-1.8. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum metal miktarları	120
EK-1.9. Literatürde kirlenmemiş topraklarda elementlerin ortalama miktarları	121
EK-1.10. Literatürde kirli zeminler için verilen minerallerin tavsiye edilen kirlilik değerleri	122
EK-1.11. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum mineral miktarları	123
EK-1.12. Literatürde kirli zeminler ve yeraltı suyu için verilen minerallerin kirlilik sınırları	124
EK-3.1. Karışım ve karışımlarda kullanılan malzemelerin özellikleri	133

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

CA	:	Kalsiyum Alüminat
CAH	:	Kalsiyum Alüminat-Hidrat
CS	:	Kalsiyum Silikat
CSH	:	Kalsiyum Silikat- Hidrat
CH ₃ CH(OH)CH ₃	:	İzopropil Alkol
NaOAc	:	Sodyum Asetat
NH ₄ OAc	:	Amonyum Asetat
HCl	:	Hidroklorik Asit
HNO ₃	:	Nitrik Asit
K	:	Permeabilite Katsayısı
LL	:	Likit Limit
Meq	:	Miliequivalent
mS/cm	:	miliSiemens/cm
PI	:	Plastisite İndisi

Kısaltmalar

ASTM	:	American Society of Testing Materials
AÇ	:	Atık çamuru
Eİ	:	Elektriksel İletkenlik
EPA	:	Environmental Protection Agency of United States of America
KDK	:	Katyon Değişim Kapasitesi
KK	:	Kalıp kumu
K	:	Kireç
OMM	:	Organik madde miktarı
S/S	:	Stabilizasyon/Solidifikasyon
Z	:	Zeolit

1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Dünyada artan nüfusla beraber, üretimin ve tüketimin artmasıyla fazla miktarda katı atık artışı meydana gelmektedir. Dolayısıyla, canlı yaşam ve ekolojik denge başta olmak üzere ülke ekonomisini ve turizmini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuz etkilerin son yıllarda artış göstermesiyle, bir çözüm bulunması ve yasal sınırlandırmalar getirilmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır.

Düzensiz çöp deponi (depolama) alanlarındaki en önemli sorun, çöp dolgu alanlarından sızan sızıntı suyunun zamanla yer altı suyunu ve toprağı kirletmesidir. Düzensiz bir deponi alanında oluşan metan (CH_4) ve hidrojen sülfür (H_2S) gibi gazların oluşturacağı tehlike de göz ardı edilmemelidir. Ayrıca, düzensiz bir deponi alanı, koku kirliliğı ve görüntü kirliliğı de oluşturmaktadır. Dolayısıyla, atıkların çevreye, yer altı suyuna ve toprağı verecekleri olumsuz etkileri önlemek için düzenli deponi alanları yapılması gereklidir. Düzenli deponi alanı, seçilen zemin içine atıkların düzenli bir mühendislik tasarımı ile yerleştirilmesidir.

Düzenli bir deponi alanı için deponi tabanını, oluşturacak alt ve üst geçirimsizlik tabaka kalınlığı laboratuvar ve arazi çalışmalarıyla belirlenmektedir. Belirlenen alt ve üst geçirimsizlik tabakasının kalınlığı, çöp suyunu yer altı zeminine ve yağmur sularını deponi alanına sızdırmayacak şekilde olmalıdır. Laboratuvarda yapılan deney sonuçlarına göre belirlenen değerler doğrultusunda, sağlıklı ve düzenli bir çöp deponi alanı dizaynı yapılmalıdır. Düzenli bir deponi alanı ile geri kazanılabilir malzemeler de sistemli bir şekilde toplanarak ekonomiye katkısı sağlanmalıdır.

Bilecik ili, Bozüyük ilçesine ait çöp deponi alanı dizaynı, Bozüyük ilçesi sınırları içerisinde bulunan Eczacıbaşı Fabrikasından alınan atık çamuru ve Toprak Demir döküm Fabrikasından alınan kalıp kumu kullanılarak verilmiştir. Böylelikle, endüstriyel atıklar çöp deponi alanı dizaynında geçirimsizlik malzemesi olarak değerlendirilmesi sağlanmış olacaktır.

Uygun deponi alanı seçiminde dikkate alınacak parametreler aşağıdaki gibi özetlenebilir [1];

- Yerleşim birimlerine uzaklık,
(en yakın meskun bölgeye olan uzaklık 1km [1]),
(en yakın meskun bölgeye olan uzaklık 3km [2])
- Havaalanına uzaklık ,
(en yakın havaalanına uzaklık en az 3 km [1]),
(en yakın havaalanına uzaklık en az 5 km [2])
- Deponi tabanı ile yer altı su seviyesi arası mesafe en az 1 m. olmalıdır,
- İçme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yer altı ve yerüstü sularını koruma bölgelerinde inşa edilmemelidir,
- Deprem bölgelerinde fay üzerine inşa edilmemelidir,
- Taşkın, çığ, heyelan ve erozyon riskinin yüksek olduğu yerlerde inşa edilmemelidir,
- Sulak alanlarda hiçbir şekilde inşa edilmemelidir,
- Şehircilik açısından, çöp deponi alanları hakim rüzgar yönünde inşa edilmemelidir,
- Kurulan tesisin konumu imar planında belirtilerek, işletmeye kapatıldıktan itibaren en az 40 yıl yerleşime açılmaması sağlanmalıdır,
- Seçilen alanın jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik yapısı incelenmelidir,
- Deponi alanının işletme maliyeti çok önemlidir.

1.2. Yapılan Çalışmaların Amacı

Üreticisi tarafından atılmak istenen ve düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken maddeler atıktır. 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 [1]. Katı atık deponi alan tipleri aşağıda verilmiştir.

- Enkaz ve kazı toprağı deponi alanı,
- Evsel ve evsel nitelikli deponi alanı,
- Tehlikeli katı atık deponi alanı,
- Tehlikeli sıvı atık deponi alanı,
- Hastane atığı deponi alanı.

Bu çalışmada, evsel atıkların, ticari atıkların ve resmi dairelerin atıklarının depolanacağı çöp deponi alanı dizaynı, laboratuvar çalışmalarına göre verilmiştir. Mutfak atıkları, kırtasiye atıkları, tekstil atıkları, plastik atıklar, kül atıkları, cam ve teneke atıkları, marangoz atıkları, pil ve deri atıkları, dükkan ve restaurant atıkları, okul ve hastane gibi resmi dairelerin atıkları evsel ve evsel nitelik taşıyan atık kaynaklarıdır.

Evsel atıkların depolanacağı deponi alanında alt ve üst geçirimsizlik malzemesi olarak endüstriyel atıklar kullanılmakta olup endüstriyel atık olarak atık çamuru ve kalıp kumu kullanılmıştır. Geçirimsizlik malzemesi olarak kullanılan atık çamuru seramik hammadde atığı olup seramik üreten fabrikalarda bol miktarda bulunmaktadır. Geçirimsizlik malzemesinin mukavemetini arttırmak için kullanılan kalıp kumu ise döküm tesislerinde radyatör yapımı sırasında meydana gelen bir atıktır.

Atık çamuru ve kalıp kumu, kireç ve zeolit gibi ilave malzemelerle belirli oranlarda karıştırılıp çöp deponi alanında alt ve üst tabanında geçirimsizlik malzemesi olarak kullanılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, karışımların permeabilite, mukavemet ve sıkışma gibi geoteknik özellikleri ile pH, elektriksel iletkenlik, kation değişim kapasitesi ve ağır metal miktarı gibi fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Yapılan laboratuvar çalışmaları doğrultusunda, Bilecik ili Bozüyük ilçesi çöp deponi alanı dizaynı verilmiştir. Böylece, hem endüstriyel atıkların tekrar kullanımı sağlanmış olmakta ve hem de atıkların değerlendirilmesi ekonomik olmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. İyileştirme Metotları

Atıklara ve kirlenmiş zeminlere uygulanabilen genel iyileştirme metotları olarak literatürde, fiziksel, kimyasal, biyolojik metotların yanı sıra ısıtma sistemleri ve çeşitli metotlar verilmektedir. Bu bölümde, metotlardan kısaca bahsedilecektir.

2.1.1. Fiziksel metotlar

Fiziksel işlemler, genellikle sıvının bertaraf edilerek, katı kısımdan ayrılmasını sağlayan iyileştirme yöntemidir [3]. Fiziksel metotların literatürde değişik uygulamaları olmasına karşın, en çok uygulama alanı olanlar aşağıda verilmiştir.

Buharlaştırma: Zeminin harman edilerek veya sürülerek belirli bir basınç altında buharlaştırılması ve bu yolla havalandırılmasıdır. Böylece özellikle buharlaşabilen organik maddelerin giderilmesi esasına dayanan bu metot, mekanik havalandırma olarak da adlandırılmaktadır [4, 5, 6, 7]. Literatürde ayrı bir yerde yapılan bir sistem içerisinde, 14 mm civa basıncını ve 20°C'yi geçmeyecek şekilde vakum uygulanarak buharlaştırma ve bu yolla uçucu maddelerin tekrar elde edilmesini sağlayan işlemler de vardır. Bu yöntemler, daha çok benzin ve gaz gibi uçucu bileşiklerle kirlenmiş zeminlere uygundur. Uçucu olmayan diğer bileşikler ortamda kalmaktadır [8].

Yıkama: Zemin veya atık yerinde veya kazılarak ayrı bir yerde atık karakteristiğine göre uygun kimyasal maddelerle yıkanır. Yıkama sonucu sıvı kimyasal madde ile kirliliği oluşturan benzin, fuel oil vb. gibi maddeler çözünerek zeminden sızıntı ile akitılır. Zemin geçirimli ve homojen ise yıkama iyi sonuç verir. Oldukça pahalı bir sistemdir [9, 10, 11]. Petrol kirliliğinde ise, uygun bir

kimyasalla yıkayarak hidrokarbonların zeminden ayrıştırılması gerekmektedir [12, 13]

Havalandırma: Zeminin kazılarak doğal olarak havalandırılması esasına dayanan yöntemler, buharlaşabilen organik kirlilikler için etkili olduğundan bütün atıklar için geçerli olmamaktadır [12, 14, 15].

Organiklerin vakumla çekilmesi: Atık ve zeminden buharlaşabilen organik petrol ürünlerinin kaldırılması için uygulanan yeni bir tekniktir. Yerinde ve zemin kazılmadan uygulanır. Zeminde yeraltı su tablasının üzerinde kuyular açılır. Zemine yüksek miktarda vakum uygulandığında, zemin içerisindeki hava ve buharlaşabilen organikler kuyulara doğru ilerler ve vakumla çekilir. Yüksek bir teknoloji gerektirmektedir [9, 11].

Elektrokinetik iyileştirme: Bu iyileştirmede, bir anyon ve katyon plaka ile elektrik akımı uygulanır. Elektrik yüklü bu alan, gözenekli bir ortamda sıvı hareket ettiğinde elektro osmos (elektriksel geçişme) meydana getirir. Yüklü ortamda, negatif yük taşıyan killer, kum ve diğer mineraller bulunur. Şarjlı parçacıklar su molekülleri ile temasa geçtiğinde, negatif yüzeylerine pozitif iyonları çekerek nötralize olurlar. Bunun sonucu olarak katyonlar parçacık yüzeyindeki su içinde baskın gelirler ve dağınık çift tabaka oluşur. Şayet doygun bir ortamda elektrik alanı anotlar ile uygulanıyor ise, dağınık çift tabakadaki katyonlar, negatif yüklü katotlara doğru hareket ederler. Katyonların hareketi esnasında su moleküllerinin sürüklenmesi, katoda doğru net bir su akımı sağlar. Uygulanan elektrik akımı, suyun akışını hızlandırır. Bu esnada hidrojen iyonları ortamdaki uzaklaştığından, pH değeri 13'ün üzerine kadar çıkmaktadır [11].

2.1.2. Kimyasal metotlar

Atık ve zeminde kimyasal ayrışma meydana getiren bir yöntemdir. Kimyasal ayrışmada fiziksel olarak parçalanmanın ötesinde, çözünmeler ve ayrışmalar meydana gelir. Kimyasal metotların bazıları aşağıda verilmiştir.

Asit/baz nötralizasyonu: Kimyasal iyileştirmenin çok yaygın olarak bilinen tipidir. Kimyasal olarak etkisiz hale getirilecek ilave malzemeler ile asit ve bazlar, nötralize edilir. Birçok asidik ve bazik atıklara uygulanmaktadır [3].

Hidratasyon: Hidratlaşmanın diğer adıdır. Hidratasyon minerallerin ve kimyasal maddelerin bünyelerine su almaları ve suyu kimyasal olarak bünyelerine bağlamalarıdır. Dehidratasyon ise, bu maddelerden suyun ayrılmasıdır. Kil mineralleri ve organik maddeler geniş ölçüde hidratasyon ve dehidratasyona maruz kalırlar.

Oksidasyon: Elektron verme olayıdır. Yani oksijenin bir diğer elementle birleşmesi veya bir bileşikteki oksijenin artmasıdır. Daha genel anlamda elementlerin kimyasal bağlarının kırılarak elektron kaybetmeleri ve diğer bir elementle birleşmesidir.

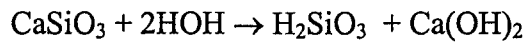
Redüksiyon: Redükleme olarak da bilinir. Oksidasyonun tam tersidir. Yani elektron kazanma olayıdır. Oksijen az olduğu zaman meydana gelir. Bir elementin elektron kazanması veya bir maddenin oksijen kazanmasıdır. Ortamda normalin üstünde su bulunacak olursa, yeterli oksijen sağlanamayacağı için redüksiyon olayı meydana gelir. Bataklıklarda redüksiyon olayı görülür [4, 11,3].

Çözülme: Kalsiyum ve magnezyum karbonatlar suda az veya çok çözünürler, fakat geriye artık bırakırlar. Çözünme ile oluşan kimyasal bozunma özellikle nemli bölgeler için önemli olduğunda atıklara uygulanabilir . Saf su kimyasal ayırıştırma için zayıf kalmaktadır ve zayıf bir eriticidir. Fakat suyun az miktardaki organik veya inorganik asitlerle birleşmesi ve tuzları kapsaması nedeniyle çözücülük özelliği artmaktadır. Toprakta önemli miktarlarda bulunan kationlardan kalsiyum, magnezyum, sodyum ve özellikle klorür, sülfat, bikarbonat ve karbon tuzları suda fazlasıyla çözünebilir.

İyon Değişimi: Topraktaki kation değişiminin tersidir. Negatif yada pozitif şarj parçacıkları ile atıktaki birçok metal çıkarılabilir. Atığın su muhtevası yüksek olması gerekmektedir .

Kimyasal Bozunma: Dekompozisyon da denir. Kimyasal bozunmalar için en önemli etkenler O₂ ve CO₂'dir. Atıkta meydana gelen kimyasal bozunmalar, sıcaklık ve nem ile artar .

Hidroliz: Su kimyasal olarak aktif bir maddedir. Suyu oluşturan moleküllerden pek az bir kısmı (H⁺) ve (OH⁻) iyonlarına ayrılır. İşte bunlardan hidrojen iyonları minerallerin bileşimindeki çeşitli kationlarla yer değiştirerek yeni bileşiklerin oluşumunu sağlar. Bu olaylar bilhassa bazik elementleri kapsayan minerallerde daha fazla etkisini gösterir. Hidroliz ile ilgili aşağıdaki örnek verilebilir.



Hidrojen ile bazların yer değiştirmesi olan hidroliz birçok minerallerin bileşimlerinin değişmesine yol açar. Asidik ortam hidrolizi hızlandırır.

Karbonatlaşma: Karbondioksit ile ilgili reaksiyonları kapsar. Biyolojik ve hidrasyon faaliyetleri ile birlikte yürür.

Çöktürme: Kimyasal çöktürme, katıların kimyasal ilave malzemeler katılarak çöktürülmesidir. Katı ile solüsyon birbirinden ayrılır ve solüsyon uzaklaştırılır [3].

2.1.3. Biyolojik metotlar

Atığın bünyesinde bulunan organik ve kısmen de inorganik kirletici maddelerin, mikroorganizmalar (mikroskopik hayvanlar, bitkisel organizmalar, bakteriler, tek hücreli canlılar, virüsler vb.) tarafından besin kaynağı olarak kullanılmak suretiyle atıktan uzaklaştırılması [11] veya hidrokarbonların biyolojik

indirgenmesi (biodegradation) [16], yani mikroplarla zeminin iyileştirilmesidir [13]. Bu metotta, zeminin mikroorganizma faaliyetleri artırılırken, zeminin bakteri ve mantar yoğunluğu da artar [7]. Bu kirletici maddeler, canlı organizmalar tarafından absorbe edilir ve ayrıştırılır [3]. Bu mikroorganizmalar, hidrokarbon bileşenlerini tükettikten sonra ve bunu karbondioksit, su, mikro canlılara ve bunların çürümesi sonucu oluşan artıklara (humuslara) dönüştürürler [7]. Organik maddelerin bir kısmı mikroorganizma hücrelerine ve bir kısmı da enerjiye dönüşür [11]. Biyolojik iyileştirmenin birçok metodu vardır. Bunlardan bazıları yerinde bio-indirgeme, aktif karbon işlemi, fluid bed biyolojik sistemi ve mikrobiyal azaltma şeklindedir [8].

2.1.4. Isıtma sistemleri

Isıtma ile organik hidrokarbonların zeminden ayrılması işlemleridir [13]. Zeminin ısıtılması, radyo frekansı ile veya direkt elektrik akımı ile yapılmaktadır. Bu fiziksel ısıtma ile zemine adsorbe olmuş ağır, buharlaşamayan bileşenler, desorbe olur (ayrılır) ve ısı ile buharlaşır. Birçok çalışmada, zeminde organiklerin kaynama sıcaklığı olan 150°C yi aştığında, bileşenler zeminden desorbe olmaktadır ve %99'luk bir iyileştirme elde edilebilmektedir [12].

2.1.5. Diğer metotlar

Tehlikeli atık ve kirli zeminlere uygulanan birçok farklı metot vardır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Yakıp Kül Etme: Katı atıkları hijyenik olarak zararsız hale getirmek, hacmini azaltmak ve enerji elde etmek maksadı ile çöpler, hastane atıkları, plastik atıklar benzeri atıklarda daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yerinde depolama: Ekonomik veya teknik olarak stabilize edilemeyen atıklar, atık depolama üniteleri ile depolanmaktadır. Bunun için depolama tesisleri inşa edilerek atık zararsız hale getirilir. Bu tip uygulamalar oldukça yaygındır. Bu

teknikler geçirimsiz bir tabakanın toprağa serilmesi ve depolanan atıkların yine geçirimsiz bir tabaka ile örtülmesinden ibarettir. Fakat, kullanılan malzemelerin maliyetinin yüksek olması çözümü ekonomik olmaktan çıkartmaktadır [9].

Saha Dışına Uzaklaştırma: Atıkların veya kirli bölgenin kazılıp araçlara yüklenerek zararsız bir bölgeye taşınmasıdır. Bunun için uygun yer bulunması zordur ve taşıma maliyetleri çok yüksek rakamlara ulaşabilmektedir. Bu metotta zararın azaltılması veya yok edilmesi düşünülmendiğinden, uygun bir yöntem olma geçerliliğini kaybetmeye başlamıştır [9].

2.2. Stabilizasyon/Solidifikasyon (S/S) Metotları

Bütün stabilizasyon (iyileştirme), solidifikasyon (katılaştırma) ve vitrifikasyon (camlaştırma) tarzlarının asıl amacı, zararlı atıkların kirliliklerini azaltmak için ilave pozolanik ve bağlayıcı maddeler kullanarak fiziksel, kimyasal ve mekanik olarak iyileştirilmiş yeni bir karışım elde edilmektir. Bu metotlara kısaca S/S yöntemleri veya S/S teknolojileri denmektedir. Bu atıklar çevre için zararlı olabilecek zehirli maddeleri içermekte, insan ve çevre sağlığı için tehlike oluşturmaktadır. Bu tehlikenin önlenmesi, atıkların veya atık kaynaklarının kontrol altına alınması ile yapılabilir. Stabilizasyonun ana amacı atıklardaki kirliliğin bağlanarak (sabitlenerek) veya kimyasal özelliklerinin değiştirilerek zeminin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilerek ıslah edilmesidir [11, 17, 18]. Stabilizasyonun başarısı, katı monolitik yekpare bir form elde edilebilmesidir yani atıktaki serbest suyun kimyasal reaksiyonla bağlanarak kirliliğin hareketsiz bir norma dönüştürülebilmesidir [19].

Asidik hidrokarbonlu arıtma çamurlarının pozolan esaslı stabilizasyonu için, çimento, kireç ve kül gibi ilave malzemeler kullanılmışlardır [20]. İlave malzemeler ile çamurun pH değeri yükselmiş, serbest basınç mukavemeti artmış ve geçirimsizlik azaltılmıştır. İlave malzemeler ile pozolanik reaksiyon meydana gelmekte kirlilik kapsüllenmektedir. Pozolanik çimentolaşma reaksiyonları kapsülleme ve fiksasyon (sabitleme) meydana getirmektedir.

Hidrokarbonlu atıklara uygulanan laboratuvar deneyleri sonucunda, üç değişik karışım tespit edilerek araziye uygulanmıştır [21, 20]. Birincisi atık/kil/kül/kireç (1/1/0.75/0.2), ikincisi atık/kül/kireç (1/0.3/0.1) ve üçüncüsü atık/kül/çimento/kireç (1/0.3/0.05/0.05) karışımlarıdır. Bu karışımlar stabilize edildikten sonra atık depolama ünitelerine konularak sızıntı ile oluşabilecek zemin kirliliği en aza indirilmiştir.

Kül, organik kil, çimento fırın tozu, eriyebilir sodyum silikat, çimento, bentonit, attapulgit gibi malzemeler ile stabilize edilmiş petrol atıkları için mukavemet, permeabilite katsayıları ve durabilite deneyleri yapılmıştır [22]. Serbest basınç mukavemeti kür zamanı ile artmış, ıslak/kuru deneyleri sonucu hacim değişimi %1.47, malzeme kaybı ise %9.3 bulunmuş ve permeabilite katsayısı ise 10^{-6} cm/sn olarak tespit edilmiştir.

Stabilizasyon/solidifikasyon yöntemlerini etkileyen bazı faktörlerin etkisi tartışılmıştır [23]. Çimento ve pozolan özelliklerinin atık içeriğini etkileyeceği, uzun süreli durabilite ve sızıntı kontrolü için bağlayıcı ve pozolanların karakteristiklerinin çok iyi anlaşılması gerektiği, hidratlanma ve betonlaşma sonrasında oluşan küçük ve büyük boşluk büyüklüklerinin permeabilite, durabilite ve mukavemeti etkileyeceği belirtilmiştir.

Solidifikasyon/stabilizasyon metotlarından en uygun seçimin yapılabilmesi için kriterler vererek stabilizasyon/solidifikasyon yönteminin amacı, sızdırmayı azaltmak, atıkların fiziksel, kimyasal ve mekanik gibi birçok özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanmıştır [19].

Metal ile kirlenmiş zeminlerin stabilizasyon/ solidifikasyonu için Washington'da iki tehlikeli sahada iyileştirme ve dizayn çalışmaları yapılmıştır [24]. Oldukça fazla ağır metal kirliliği içeren bu yerlerde, kireç ve portland çimentosu kullanılarak, toplam metal, serbest basınç ve sızıntı deneyleri yapılmıştır. Saha-A' da, %3 çimento, %6 çimento ve %12 çimento kullanılmış, Saha-B' de %3 çimento, %6 çimento ve %12 çimento ve %3 çimento+%9 kül kullanılmıştır. Yapılan çalışmalardan sonra, bütün sahalardaki metal konsantrasyonlarının çok değişkenlikler gösterdiği, karışım mukavemetlerinin doğal organikler ve petrol hidrokarbonları ile azaldığı, sızıntı analizinde olumsuz

sonuçlar verecek seviyede çimentonun bazı metaller içerdiği ve zemin/çimento karışımların sızdırma kapasitesinin azalmadığını belirtmiştir.

Oil ile kirlenmiş rafineri atıkların stabilizasyonu ve sonrasında saha dışında depolama ünitesi yapılması ile ilgili çalışma yapılmıştır [25]. Stabilizasyon için çimento fırın atığı kullanılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonunda, stabilizasyon sonuçlarının arazide daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

İnorganik atıklarla kirlenmiş zeminlerin stabilizasyonu sonunda sızıntı deneyleriyle kurşun, arsenik, krom ve kadmiyum içeriklerine bakılmıştır [26]. Stabilizasyon malzemesi olarak Tip I portland çimentosu, F tipi kül, fırın cürufu, silika ve kireç kullanılmıştır.

Zemin stabilizasyonu için prensipler ve detaylar açıklanmıştır. Zeminlere uygulanabilecek kimyasal stabilizasyon yöntemleri ve bunları etkileyen faktörler üzerinde durulmuştur [27]. Çok yaygın olarak kullanılan çimento ve kireç stabilizasyonu ve bunlara ilave edilen külün etkileri, bitümlü ve termal stabilizasyonların etkileri açıklanmaktadır.

Yugoslavya'da petrollü rafineri atıklarına ve petrol ile kirlenmiş zeminlere uygulanan işlemlerden en yaygını olan kireç solidifikasyonunun diğer kimyasal solidifikasyona göre avantajlarını anlatılmıştır [28]. Kireç ile yapılan solidifikasyon tekniklerinde, hidrofobik bir yapı oluştuğu, yol inşaatı için malzeme olabileceği, hacmin 3-4 defa azalabileceği, kimyasal bir bağlanma meydana geldiği, işlem sırasında karıştırmanın problem olmadığı, ancak hava kirliliği meydana getirdiği, patlama tehlikesi olabileceği ve maliyetin ancak diğerlerinin yarısı kadar olabildiği belirtilmiştir. Kimyasal maddeler ile camlaştırarak solidifikasyon yapılan teknikte, tamamen kaya benzeri bir malzeme elde edilebileceği, tekrar kullanımının mümkün olmadığı, hacmin 2 ile 10 kez azalabileceği, tamamen kapsülleme oluşacağını, hava kirliliği ve patlama tehlikesi oluşturmadığı ve operasyon sırasında pompalamanın problemlere yol açtığı belirlenmiştir.

Zeminden kirliliğin kaldırılması için kirletici ile zemin arasındaki etkileşimin bilinmesi gerektiğini ve bu kirleticinin zemin yapısında kalıcı değişikliği veya zeminin fiziko-kimyasal özelliklerine etkisinin bilinmesiyle daha

net çözümler elde edilebileceği belirtilmiştir [14]. Çok önemli bazı iyileştirme tekniklerinden olan, yüzdürme veya sınıflandırma ile uygulanan ayırıcı metotlar, havalandırma veya buharla uygulanan buharlaştırma metotları ve zehirsiz kimyasal maddeler ile uygulanan yıkama metotları belirtilmekte ve bunların ya yerinde veya kazılıp çıkarıldıktan sonra uygulanabileceği ifade edilmektedir. Fiziko-kimyasal iyileştirme metotları, diğer metotlara göre daha kapsamlı ve değişik alternatifler sunmakta, %100 kirliliği kaldıramamaktadır. İyileştirme metotlarında, iklim, yeraltı suyu, mikro-organizmalar ve bitkilerin de etkili olduğu, özellikle bazı ağır metal kirliliği içeren zeminlerin kazılarak iyileştirilme işlemine tabi tutulmasının daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Kirlenmiş zeminlerin iyileştirme metotlarının tercih edilmesinde, ekonomi, çevre, teknik durum (taşıma, iklim, jeoloji, etkinlik ve mühendislik faktörleri), hukuki kanunlar ve siyasi idareye bağlı bulunduğunu ve bunun aşılmasıyla gerekli kanunların çıkarılmasını, alternatif metotlarla iyileştirmelere karar verilerek problemin aşılması gerektiği belirtilmiştir [13].

Zemin kirliliğinin iyileştirilmesi amacı ile üç bölgede, 5 yıl süre ile 27 programa bağlı 127 temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir [15]. Makale sonunda elde edilen başarılar ve başarısızlıklar verilmektedir. İşlemler sonucunda sahaların %56'sını iyileştirildiği tahmin edilmekte, %11'inin zamanla iyileşeceği, %14'ünde iyileşme sağlanmadığını ve kalan %19'unda bu metotların uygulanamadığı belirtilmiştir. Mühendislerin dizayn bilgisi için de şu öneriler yapılmıştır. Organik kirleticilerin uzaklaştırılması için fiziksel ve kimyasal metotlar (karbon adsorpsiyonu, havalandırma ve zayıf bileşenleri uzaklaştırma), organik kirleticiler biyolojik metotlar (geleneksel iyileştirme yöntemleri), inorganik kirleticiler için iyileştirme metotları (bu metotlar ağır metalleri, nitratları ve eriyebilir katıları kaldıracak metotları içerir) ve organik kirleticiler için yerinde uygulanan metotlar önerilmektedir.

Petrolle kirlenmiş ve stabilize edilmiş zeminlerin yeniden yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır [29]. Bu malzemelerin otoyol yapıları, yapı dolguları, dolgu baraj gövdesi, ve diğer zemin yapılarında temel yada altyapı malzemesi olarak yeniden kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Oil, benzin ve gazyağı ile kirlenmiş zeminlerin yeniden kullanılabilmesi için, sıcak karışumlu asfalt içinde karıştırılmıştır [30]. Ancak, kirlenmiş zeminler içerisindeki 200 nolu elek altı malzemesi, asfaltta mukavemeti düşürdüğü ve asfaltın soyulmasına neden olduğu için, %95 agrega ve %5 kirli zemin kullanılabilmiştir. Bu şekilde elde edilen karışım, 1100°C (2000°F) ısıtılarak sıcak karışumlu asfalt elde edilmiş ve A.B.D. Massachusetts eyaletinde asfalt yol yapımında kullanmıştır.

Atık uzaklaştırma sahaları olan depolama bölgelerinde kirliliğin azaltılması için araştırmalar yapılmıştır [31]. Burada, yüzey sularının kontrol edilmesi, depolama ünitesinde üst yüzey eğiminin %6-12 arasında tutulması gerektiği, başlığın kil, çimento ve kireç ile stabilizasyona tabi tutularak geçirimsizlik sağlanması gerektiği, üzerinde yeniden bitki yetiştirilebilmesi için kalınlığın en az 0.6 metre olması ve en az iki yıllık bir sürenin gerektiği, yeraltı suyunun kontrol edilerek depolama ünitesine ulaşmasının önlenmesi için akış yönünde geçirimsiz bentonit duvar yapılması gerektiği, atığın içerisine kimyasal enjeksiyon yapılarak kirliliğin etkili bir şekilde azaltılabileceği tartışılarak maliyetleri çikartılmıştır.

Petrol endüstrisinde arazi iyileştirme işlemlerinde, oil'in su muhtevası %70 ile %90 arasında azalma gösterdiğini, metal konsantrasyonları, derinlikle azalmış, tuz muhtevasının bazı yerlerde artış gösterdiği tespit edilmiştir [32].

Kireç, kül, çimento, klinker, alçı, na-bentonit kili, kaolinit kili, lületaşı, mermer, talk, talaş, Simav turbası, Dinar turbası, tohum tozu, saman tozu gibi ilave malzemeler ile iyileştirilen petrollü sondaj atıkların fiziko-kimyasal özelliklerinden ph artmakta, oil miktarı, kation değişim kapasitesi, elektriksel iletkenlik, toplam tuz miktarı ve toplam metal miktarları azalmaktadır. İyileştirme için kullanılacak ilave malzeme yüzdeleri tek ilaveli karışımlarda %15, iki ilaveli karışımlarda %5+%5 ve üç ilaveli karışımlarda ise %5+%5+%5 oranları alınabilir. Geoteknik özellikleri, ilave malzeme yüzdesinin artması ile serbest basınç mukavemetinin, CBR yüzdesinin arttığını, plastisite indisinin, permeabilite katsayısının azaldığı görülmüştür. Karışımların fiziko-kimyasal ve geoteknik özellikleri, sem fotoğrafları ile doğrulanmaktadır. İlave malzemeler ile stabilize edilen petrollü sondaj atıkların mukavemetlerinin artmasına paralel olarak çevre

şartlarına ait özellikleri, donma/çözünme mukavemetleri artmaktadır. Sızıntı deneylerindeki sızıntı sularının içerisinde ağır metaller herhangi bir tehlike oluşturmamaktadır [5].

2.2.1. Stabilizasyon/solidifikasyon terimleri

Stabilizasyon, solidifikasyon veya fiksasyon, endüstriyel katı atıklara (öncelikle çamurlara) uygulanan genel bir yöntem olarak adlandırılmaktadır [33]. Literatürde solidifikasyon, fiziksel özelliklerin iyileştirilmesi, stabilizasyon, kirliliğin kapsülleşmesi (örtülmesi), fiksasyon, atık bileşenlerinin hareket ve çözünebilirliğinin azaltılması olarak tanımlanmıştır [34, 33, 11, 17, 18]. Bu kavram kargaşasının önlenmesi amacıyla, Amerikan Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency U.S. EPA), bütün kimyasal fiksasyon ve solidifikasyon tarzlarını stabilizasyon olarak adlandırmıştır [18].

Stabilizasyonda, kirliliği azaltmak, atıktaki serbest sıvıyı almak ve böylece sızdırmayı ve hacim değişikliklerini önlemek, atık malzemeyi fiziksel ve kimyasal olarak stabil malzeme haline getirmek ve permeabiliteyi azaltarak sızmayı engellemek stabilizasyonun başarısı için önemli kriterlerdir.

2.2.2. Stabilizasyon metotlarının sınıflandırılması

Stabilizasyon yöntemlerinde kullanılan birçok metot ve malzeme vardır. Bunlar, literatürde farklı sınıflandırmaları bulunmasına rağmen genelde aşağıdaki gibidir.

İnorganik-esaslı stabilizasyon: İnorganik esaslı ilave malzemeler kullanılarak atığın veya zeminin stabilize edilmesidir. Fiziko-kimyasal stabilizasyon da denmektedir. İnorganik esaslı stabilizasyonlarda çimento, kireç, kil, pozolan küller ve farklı ilavelerden oluşan stabil malzemeler kullanılmaktadır.

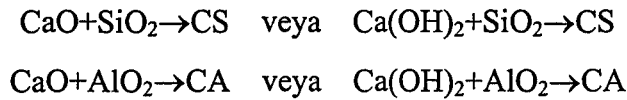
Çimento esaslı stabilizasyonda özellikle düşük radyasyonlu ve yüksek seviyeli zararlı metaller içeren endüstriyel atıklar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Oldukça yaygın olarak kullanılan kireç esaslı stabilizasyon tekniklerinde, kireç ile ince-taneli silika (pozolanik) malzemeler arasında kimyasal reaksiyonlar meydana gelerek, betona benzer kalsiyum silikatlar oluşur [33]. Kireç kullanımı oldukça yaygındır. Sönmüş ve sönmemiş kireçler, kireçtaşları, kalsiyum karpitler, kalsiyum karbonat, kireç fırın tozu ve alçı gibi malzemeler kireç esaslı malzemeler olarak kullanılmaktadır.

Kil esaslı stabilizasyonda çeşitli killeri kullanılmaktadır. Killeri, gerek absorbent ve gerekse silika kaynağı olarak atık içerisinde kullanılmaktadır. Çimento veya diğer ilave malzemeler ile kullanılabilir [33]. Bentonit, sepiolite (lületaşı), organophilic killeri, kaolinit ve attapulgit gibi malzemeler kil esaslı inorganik stabilizasyonda kullanılmaktadır.

2.2.3. Pozolanik reaksiyonlar

Pozolanik reaksiyonun genel bir tanımı yapılmak istenirse, silika (SiO_2) ve alümina (Al) ile kalsiyum (Ca) arasında oluşan ve çimentolaşma diye tanımladığımız ve betona benzer çok stabil kalsiyum silikatlar (CS) veya kalsiyum alüminatlar (CA) oluşturan yeni bir karışım elde edilmesidir. Bu reaksiyon zamana, ortamın sıcaklığına ve su içeriğine bağlıdır ve kabaca formülü şu şekildedir.



Pozolanik bir reaksiyonda, kolloidal ve bağlayıcı olmak üzere genelde iki türlü reaksiyon meydana gelir. Ortamdaki Ca^{++} iyonları çok ince partiküller (kolloidler) ve özellikle kil yüzeyleri üzerindeki diğer iyonlarla yer değiştirir. Kil yüzeyi pozitif değerlikli hale gelir ve yüzey-uç atraksiyonu nedeniyle taneler birbirini çekerler. Zemin daha iri yapılı hale gelir. Likit limit azalır yani atık daha az plastik hale gelir. Bu şekilde meydana gelen reaksiyon ani bir reaksiyondur ve zamana bağlı değildir.

Kil yüzeyindeki silikatlar (Si^{++}) kalsiyum (Ca^{++}) iyonları ile reaksiyona girer. Neticede camsı (jelatin) bir malzeme (CS-kalsiyum silikatlar) oluşur ve

zamanla sertleşir. Bunlar suda erimeyen oldukça dayanıklı bir bağlayıcıdır. Ortamda silikat yok ise CaS teşekkül etmez. Bu reaksiyonlar zamana bağlı bir reaksiyondur [20, 35, 23].

Atıklardaki yağların mevcudiyeti, pozolanik reaksiyona bir engel teşkil etmez. Pozolanik reaksiyon, atıkların özelliklerini değiştirmekte ve atıkları çalışabilir hale getirmektedir [36].

2.2.4. Stabilizasyon sonrası atıkların yeniden değerlendirilmesi

Stabilizasyon teknolojilerinde hedeflenen amaçlardan birisi de malzemenin aslına dönüştürülmesi veya inşaat sektöründe kullanılabilecek özelliklere sahip bir malzeme elde edilmesidir [35, 30]. Kimyasal reaksiyonlarla bağlanan ve fiziksel olarak tutulan kirliliğin stabilizasyon sonu özelliklerinin nasıl olacağı ve nerelerde kullanılabileceği tespit edilmelidir.

Atıklar stabilize edilerek inşaat sektöründe, geçirimsizlik malzemesi, yol alt malzemesi olarak, dolgu malzemesi, seramik tuğla yapım malzemesi, beton agregası olarak ve arazide bitki yetiştirmek amacıyla kullanılabilir. Atıkların yol malzemesi olarak kullanılabilmesi için atık stabilize edilmemelidir. Dolgu ve bariyer malzemesi olarak kullanıldığında atık inşaat sahasına serilir ve çimento enjeksiyonu yapılır [36]. Kirli zeminin ince malzemesi pişirilerek seramik, tuğla, biriket ve kiremit yapımında kullanılabilir. Kirli malzeme yıkayıp elenerek beton agregası içinde kullanılabilir veya kirli zemin stabilizasyon sonrasında üzerine toprak örtülür ve sınırlı sayıdaki bazı bitkiler yetiştirilebilir.

2. 3. Düzenli Deponi Alanı Dizaynları

Katı atık, üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu, iri katı atık, evsel katı atık, katı atıkların kontrolü yönetmeliğinde katı atık olarak adlandırılmaktadır.

2.3.1. Yurt içi katı atık deponi sistemi

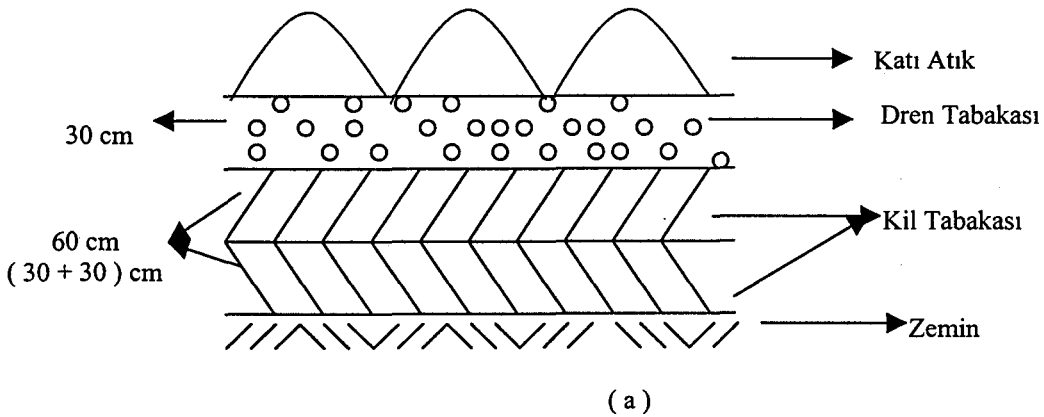
Yurdumuzda oluşan atıkların sahibi belirgin değildir. Ekonomik değeri olan maddeler bir takım kişi ve Belediyelerin çöp toplama hizmetlerinden önce çöp toplama alanlarından ayıklanmaktadır. Çevre kirliliğinin önlenmesi ve geri kazanılabilir maddelerin ülke ekonomisine gizli olarak sokulması amacıyla, maddenin geri verimi söz konusudur.

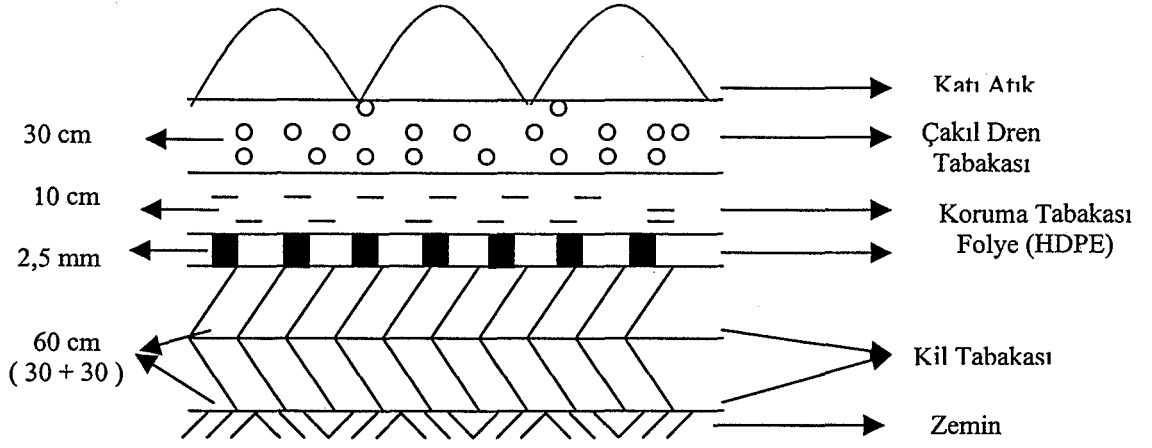
Müsteşarlık doğada ayrışması uzun süreler alan plastik ve metal esaslı malzemelerden ihmal edilen madde ve ürünleri içinde bulunduran kapların kullanımı ve atık oranını kontrol altına almak, ekolojik sistemlerin dengesinin bozulmasını önlemek amacı ile kota ve depozito uygulaması zorunlu kılar [1].

Türkiye’de hane halklarının %64,57’si çöpünü torba kullanmadan bir kap içerisinde biriktirmekte, bunu sırasıyla plastik alışveriş torbası (%25,34) ve özel plastik çöp torbası izlemektedir. Hane halklarının %1,85 ise evde çöp biriktirilmemektedir. Geri kazanılabilir maddeler arasında en fazla gazete ve dergi (%85,41) biriktirmekte, bunu sırasıyla naylon torba (%57,43), kağıt ambalaj (%49,52), paçavra (%16,67), plastik (%11,69), cam (%9,31), metal (%3,52), pil (%0,62) izlemektedir. Türkiye ortalamasına paralel olarak hane halkları en çok gazete, dergi, kağıt, ambalaj ve naylon torbaları biriktirmektedir [1, 37].

Ege bölgesinde, endüstrinin gelişmesiyle bazı yörelerde çevresel kirlilik meydana gelmiştir. Ege bölgesinin en büyük şehri olan İzmir’de her türlü atık su, evsel ve endüstriyel kökenli olan atıklar yüzeysel sulara verilerek uzaklaştırılmaktadır. İzmir Büyük şehir belediyesine ait tesislerde ise çöplerin ancak %2’si geri kazanılabilmektedir. Fakat 1992 yılında İzmir’in Harmandalı düzenli deponi alanı faaliyete geçirilerek katı atık depolama sorunu çözülmüştür. Karadeniz bölgesinde ise atık kaynakları çok çeşitlidir. Çeşitli maden çıkarılması nedeniyle buralarda oluşan zehirli gazlar ve oluşan tozların su ile birleşmesi sonucu asitli bileşiklerin akıntı ve sızıntıyla bulunduğu yerden uzaklaşmasıyla da kirlenme meydana gelmiştir. Bunun yanında çimento, kireç, kağıt fabrikaları ile yağ fabrikalarının atıklarının önemli kirletici oldukları bilinmektedir. Marmara bölgesinde ise İstanbul’da Haliç’in temizlenmesi halinde bile durumuna bakıldığında katı atıkların sorunu görülmektedir. Fakat 1995 ve 1996 yıllarında

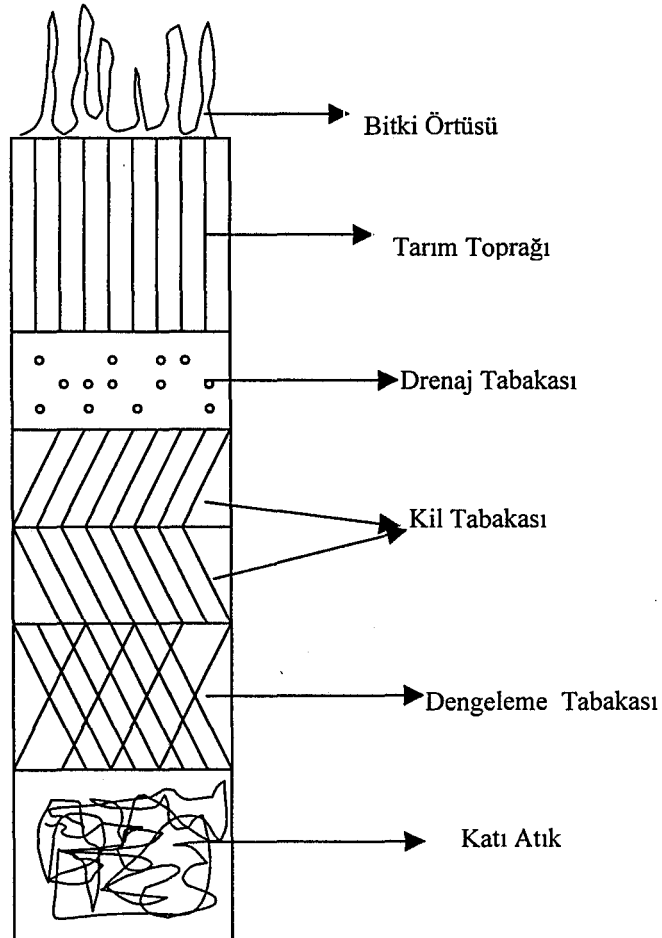
meydana gelen çöp kaymaları yüksek ekonomik maliyetler getirmiştir. 1993'de ise Ümraniye Hekimbaşı çöp alanında meydana gelen kaymada yaklaşık 350.000m^3 çürümüş atık, çığ halinde 500 m aşağıdaki vadiye kayarak 27 kişinin çöp yığınları altında hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Bugün ise biri Avrupa yakasında diğeri Anadolu yakasında iki adet düzenli çöp depolama alanı vardır. Bu alanlar İstanbul'un 25 yıllık çöp depolama ihtiyacını karşılayabilecek kapasitededir. Akdeniz bölgesinde ise yine endüstriyel katı atıkları çeşitlilik göstermekte ve fabrikaların çevreye kontrolsüz bırakılan atıkları nedeniyle sorunlar oluşmaktadır. İç Anadolu bölgesinde ; Eskişehir de yine sanayinin fazla olması nedeniyle çeşitli atıklar vardır. Ayırma işlemi randımanlı yapılırsa plastik ve cam gibi hayatımızda önemli rol oynayan eşyalar geri kazanılabilir. Ankara da ise daha çok kül ve cüruf olması nedeniyle hava kirliliği daha fazladır. Doğu ve G.D.Anadolu bölgelerinde birkaç fabrikanın atıkları dışında, gübrelerden kaynaklanan atıklar vardır.Türkiye'de ki muhtelif depo tabanı geçirimsizlik sistemleri şekil 2.1.a ve şekil 2.1.b'de olduğu gibidir. Türkiye'de ki deponi alt ve üst yüzey geçirimsizlik sistemi ise şekil 2.2.'de gösterilmiştir [1].





(b)

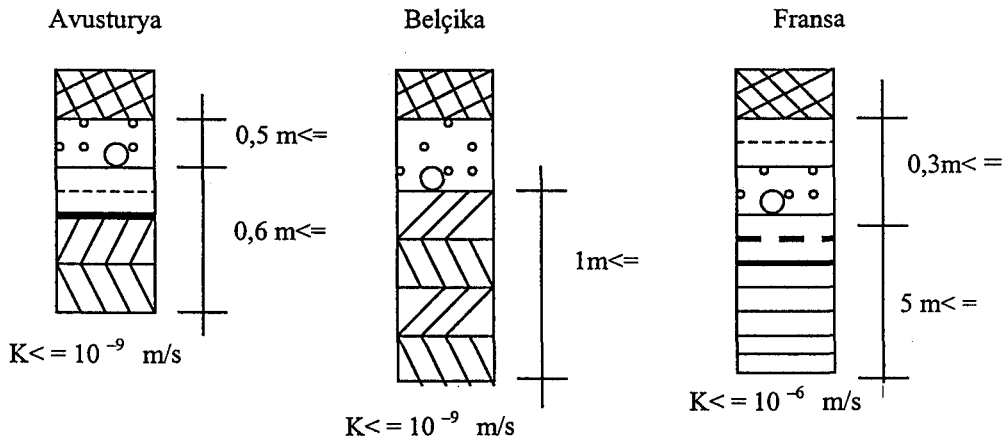
Şekil 2.1.Muhtelif deponi tabanı geçirimsizlik sistemleri



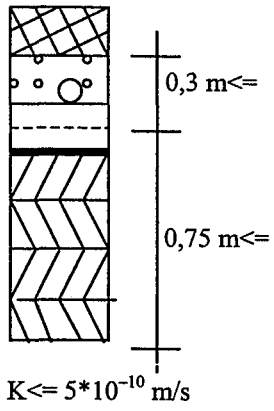
Şekil 2.2.Deponi üst yüzey geçirimsizlik sistemi

2.3.2. Yurt dışı katı atık deponi sistemi

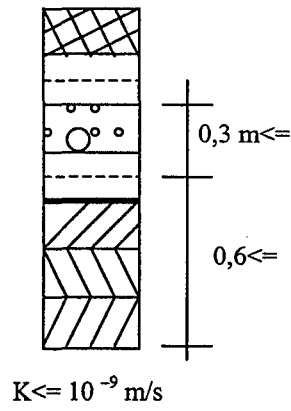
A.B.D ortalama atık genelde ticari ve evsel atıklardır ; bu atıkların %90'ı araziye boşaltılmaktadır. New Jersey eyaletindeki katı atık deposunda kullanılan malzeme doğal kil zeminden tabakalar halindedir. Wisconsin eyaletinde, New York Love kanalı kimyasal atık deposu ve Texas eyaletindeki atık depolama sisteminde geçirimsiz tabaka olarak kil kullanılmıştır. Japonya'da ki katı atık depolama sistemlerinde ise katı atık boşaltımı için yarı aerobik dolgu sahası tanımlanmıştır. Böylece işlemler daha az bir harcama gerektirmektedir. (Geçirimsiz zemin kaplaması üzerine atık, atık üzerine de çakıl serilmek suretiyle inşa edilir.) Bazı Avrupa ülkelerinde ise, değişik depolama standartları bulunmaktadır. Fransa da atıklar, endüstriyel atıklar, evsel ve kamusal atıklar, inert ve yapı endüstrisi atıklarıdır. Resmi endüstriyel atıklar için $1 \cdot 10^{-9}$ cm/sn permeabiliteli malzeme ile en az 5m dolgu temeli doldurulmaktadır. Evsel atık dolgusu için 10^{-9} cm/sn'den küçük permeabiliteli en az 5m yüksekliğinde malzeme deponi temeline yerleştirilmekte ve düşük permeabilite son kaplama tabakası yapılmaktadır. Almanya da evsel atıklarda tabaka sistemi için sentetik membran, inert atık ve tehlikeli atık depolamasında kil tabakası kullanılmaktadır. İtalya, Hollanda, İngiltere gibi ülkelerde de değişik depolama standartları kullanılmaktadır. Yurt dışındaki depo tabanı geçirimsizlik sistemleri çeşitleri şekil 2.3.'de gösterilmiştir; Yurt dışında deponi üst yüzey geçirimsizlik sistemi ise şekil 2.4.'de gösterilmiştir [38].



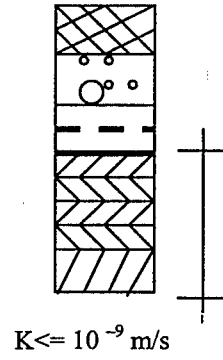
Almanya



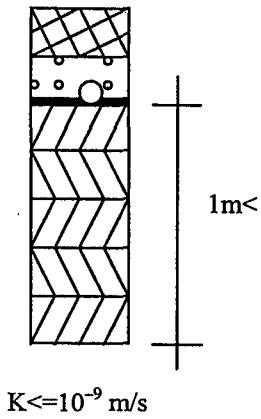
Macaristan



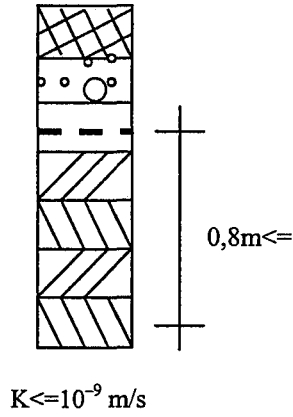
İtalya



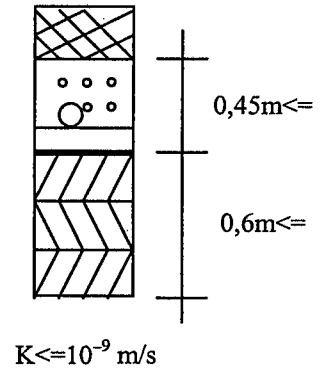
Portekiz



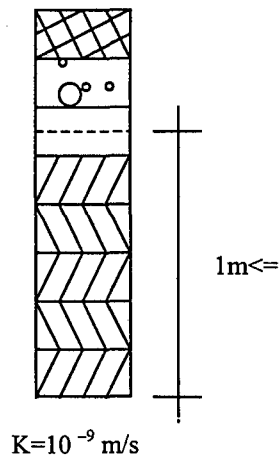
İsviçre



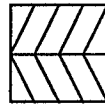
USA (EPA)



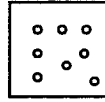
U.K.



Tabakalaşmanın Ayrıntısı ;



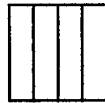
Düşük
Permeabiliteli



Drenaj Tabakası
ve/veya Gaz



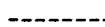
Kil Zemin



Katı Atık



Polietilen Geomembran

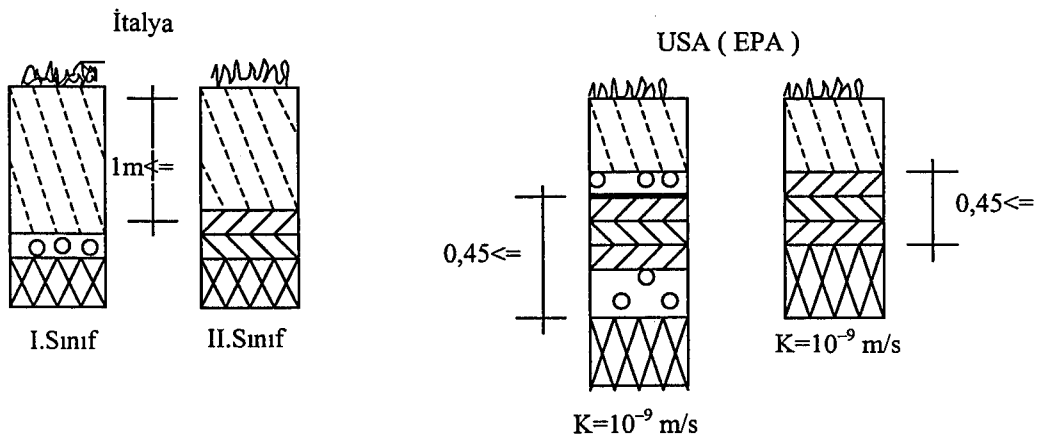


Geotekstil

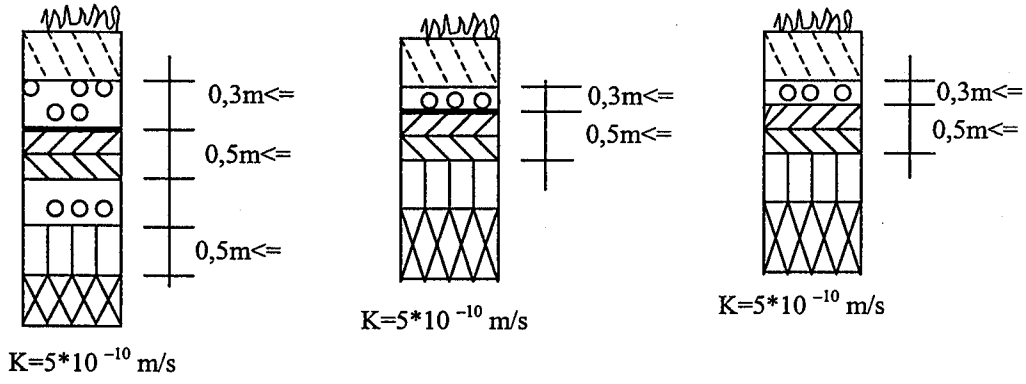


Drenaj Borusu

Şekil 2.3. Yurt dışında kullanılan deponi tabanı geçirimsizlik sistemleri



Almanya



Tehlikeli Atık

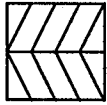
II.Sınıf

I.Sınıf

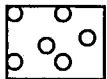
Tabakalaşmanın Ayrıntısı ;



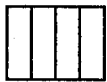
Tarım Toprağı



Düşük Permeabiliteli Geçirimsiz Zemin



Drenaj Tabakası ve/veya Gaz Toplama Sistemi



Dengeleme Tabakası



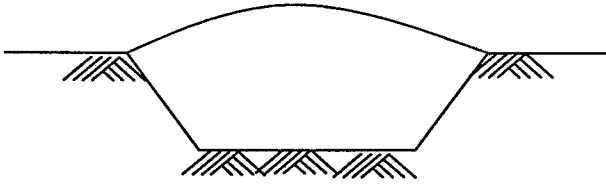
Katı Atık



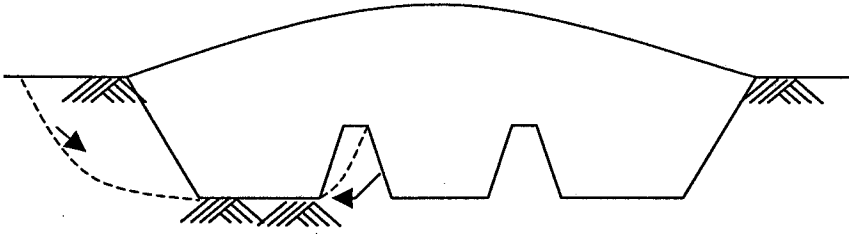
Geomembran

Şekil 2.4.Yurt dışı deponi üst yüzey geçirimsizlik sistemi

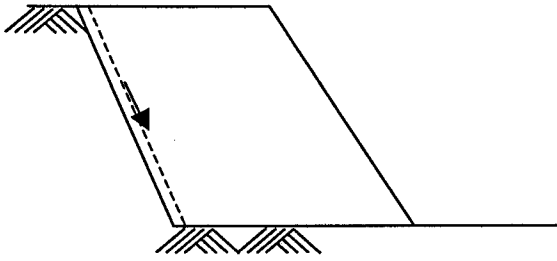
Şartlarına uygun olarak bulunan depolama alanında yapılacak deponi kesitlerinin çeşitleri Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Fakat Şekil 2.5.b.,c.,d.,e.'de gösterilen kesitlerde, kesikli çizgilerle gösterilen istenmeyen bir durum olan kaymalarla karşılaşılır [38].



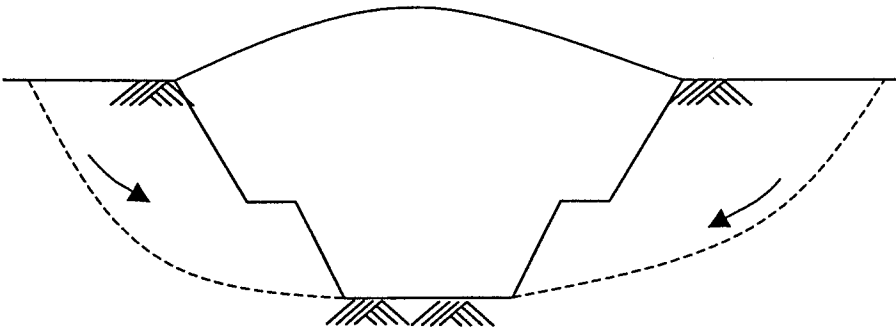
(a)



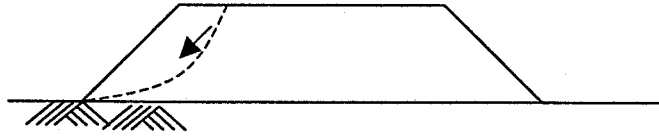
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 2.5.Çöp depolama alanı kesitleri

2.4. Geçirimsiz Tabaka Olarak Kullanılan Malzemeler

Çöp depolama alanının geçirimsiz tabaka için aşağıda verilen çeşitli malzemeler kullanılabilir [39].

- 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 killer kullanım için tavsiye edilir. 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 dibe çökmeden yüzebildiği görülmektedir (Brown devinimi). Kil taneleri su içinde, negatif elektriksel yükten dolayı yapısına suyu alarak 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 yoluyla düşük yayılımı gibi. Bentonit, kolloidal alüminim hidrosilikattır ve hacmi su ile 10 ile 30 kat artar.

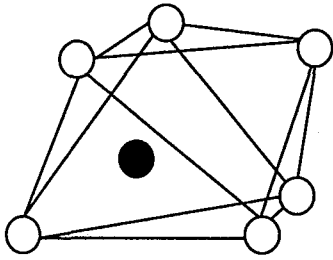
Zemin davranışını iyileştirme amacıyla kullanılan bütün sentetik malzemelere geosentetik denir. Geosentetik türlerinin başlıcaları; geotekstil, geomembran, geonet(geoağ), geohasır, geokompozittir. Geotekstillere, geçirimli ve esnek malzemelerdir. Özellikleri , mekanik olarak çekme dayanımını, gerilme-deformasyon özellikleri, sünme, delinme dayanımı, yırtılma dayanımı ve patlama dayanımıdır. Hidrolik özelliği ise ; geçirgenlik ve gözenek boyutlarıdır. Ayrıca U.V. ışığı, ısı, su, kimyasal madde ve mikroorganizma açısından dayanıklıdır. Bunun yanında geotekstillere kalın türleri drenaj ve geomembranların delinmeye karşı korunması için kullanılır. Geomembranlar, geçirimsiz ve esnek malzemelerdir. HDPE (Yüksek yoğunluklu polietilen) kimyasal etkilere ve U.V. ışınlarına dayanımı, arazide birleştirmenin kolay oluşu, farklı kalınlıklarda bulunabilmesiyle düşük maliyetli olması nedeniyle sık kullanılır. Bunun yanında PVC (polivinil klorür) geomembranları da düzenli deponilerde kullanılır. HDPE , kimyasal maddelere yüksek dayanımları nedeniyle taban kaplamasında daha çok kullanılır. Deponi alanlarında geomembranlar düşük geçirgenliğe sahip olduğundan örtü tabakalarında yer altı suyuna sızıntının önlenmesinde taban ve üst örtü tabakasında sızdırmazlık için kullanılır. Geonet, drenaj ürünleri plastik formunda kalıptan çıkmış tabakalardır.

3. KİL MİNERALLERİNİN ÖZELLİKLERİ

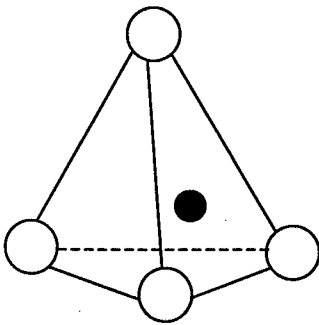
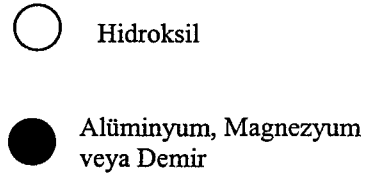
3.1. Kilin Minerolojik Özellikleri

3.1.1. Kil minerallerinin yapısı

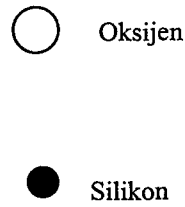
Kil minerallerinin büyük bir çoğunluğunun kristal kafesleri iki yapısal birimden oluşur. Bu birimlerden birincisi, birbirine yakın sıralanmış iki oksijen yada hidroksil tabakasından oluşan ve bu iki tabakanın arasında oktahedral koordinasyonlu bir alüminyum, demir ya da magnezyum içeren yapıdır. Tek bir oktahedral birimde 6 oksijen ya da hidroksil bulunmaktadır. Yapıda alüminyum bulunduğunda, olası boşlukların yalnızca üçte ikisi doldurulabilmekte, böylece gipsit yapısı oluşmaktadır: $Al_2(OH)_6$. Magnezyum varlığında ise yapıdaki



(a)



(b)



Şekil 3.1.a. Oktahedron

b. Tetrahedron

pozisyonların tümü dengelenmektedir. Dolayısıyla daha sağlam olan brusit yapısı oluşmaktadır: $Mg_3(OH)_6$. Oktahedral üniteleri Şekil 3.1.a'da gösterildiği şekilde kil yaprakları oluşturur [40].

İkinci birim yapı silika tetrahedronlarıdır. Silikon atomu, köşelerdeki dört oksijenden (ya da yapının dengelenmesine gerek varsa hidroksilden) eşit uzaklıkta ve tetrahedron un ortasında yer alır. Silika tetrahedronları, hegzagonal bir kristal kafes oluşturacak biçimde dizilirler (Şekil 3.1.b). Ardalanan tabakaların bileşimi $Si_4O_6(OH)_4$ şeklindedir. Bu hegzagonalı oluşturan tetrahedronların tabanları aynı düzlem üzerindedir. Böylece en altta bir oksijen katmanı, onun üzerinde bir silikon katmanı, onun üzerinde de her bir silikonun tam üzerinde bir hidroksil yer almak üzere bir hidroksil katmanı oluşmaktadır. Ancak, bu tetrahedral birim yapının, kil minerallerinde bazı distorsiyonlar gösterdiği de kanıtlanmıştır[41, 40].

Kil minerallerini oluşturan levhalar arasında kimyasal bir bağ mevcut değildir. Levhaların birbirine temas yüzeyleri klavaj düzlemleri olup mineraller kolaylıkla bu düzlemler boyunca ayrılabilir. Oksijen atomları ile birleşmiş silisyum, alüminyum, magnezyum veya demir atomlarından meydana gelen bu levhalar, silis (SiO_2) veya alüminyum (AlO_3) levhası olabilir. Silis levhası çok sayıda 4 yüzeyinin birbiriyle birleşmesinden meydana gelir. Bu tetrahedranın 4 köşesine eşit aralıkla yerleştirilmiş oksijen atomları merkezinde de bu atomlardan eşit uzaklıkta bir silisyum atomu bulunur. Alümin levhası ise çok sayıda oktahedronun köşelerinde bulunmaktadır. Bu bakımdan alümin levhasında, iki hidroksil tabakası ile bunların arasında bir alüminyum, demir veya magnezyum atomları bulunur. Levhaların yan yana geliş şekli ana kil mineralini tayin eder.

Kil mineralleri çoğunlukla karışık yapılu kristaller olup bu kristallerin sıralanışına göre gruplandırılır ve aynı gruba ait kil mineralleri de aşağı yukarı benzer özelliklerle birbirine bağlantılı olurlar. Alkali mineraller veya alkali metaller, kil minerallerinin esas bileşimi olarak killerin bileşiminde bulunurlar. Bazı killeri tek bir minerallerden ibarettir. Killerin büyük bir kısmı birkaç mineralin karışımından meydana gelmiştir. Killerin içerisinde kil mineraline ilave olarak, kuvars, kalsit, feldispat ve prit gibi kil olmayan yabancı maddelerde bulunabilir. Bazı killeri organik maddeleri ve suda çözünebilir tuzları da içerir. Killerin oluştukları ortamın ısısı, dengesi ve basınç değeri meydana gelecek kil

mineralinin cinsini tayin etmektedir. Asidik ortamda, düşük ısı ve basınç altında kaolinit tipi mineraller meydana gelmektedir. Eğer alkali iyonu olarak potasyum mevcutsa ve bunun konsantrasyonu belirli bir miktarın üzerinde ise montmorillonit veya mika oluşmaktadır. Alkali iyon olarak magnezyum bulunması montmorillonitin oluşmasına neden olur. Killerin kimyasal analizleri nadiren kil minerallerini birbirinden ayırabilmektedir. Fakat x-ışınları difraksiyonu ve diferansiyel termal analizler gibi tanıma metotları ile kil mineralleri birbirinden ayırt edilebilmektedir.

Killerin başlıca özelliklerinden biri de ısıl işlemlerle eski haline gelmeyecek şekilde değişikliğe uğramalarıdır. Killerin yoğunluğu içerdikleri kristal arası su miktarıyla orantılı olarak değişir. Killerin yoğunlukları genel olarak 2.0–2.3 gr/cm³ arasındadır [42].

3.1.2. Kil mineralinin şekli ve genel yapıları

İlk zamanlarda topraktaki mineral kolloidlerin amorf ve şekillerinin levha şeklinde yuvarlak olduğu zannedilmekteydi. Günümüzde tekniğin ilerlemesi ile kil parçacıklarının levha şeklinde oldukları kesinlikle ortaya konulmuştur. Bu parçacıklardan bazıları mikaya benzer ve hegzagonaldır. Diğerleri düzensiz levha şeklindedir. Bütün hallerde yatay eksenleri düşey eksenlerden uzundur.

Her kil parçacığı şekli ne olursa olsun, levha şeklinde ve çok sayıda kristal ünitelerden meydana gelmiştir. Levhaların, bir kil parçacığı içindeki dizilişi bir mika parçacığına çok benzer. Bu kristal üniteleri kolloidin tipine bağlı olarak değişik derecelerde birbirine bağlanmışlardır. Bazı kil minerallerinde (bentonit gibi) bu üniteler arasındaki mesafeler ıslanma ve şişme ile genişler. Diğer bazı killerde (kaolinit gibi) ise üniteler birbirine çok daha sıkı bağlanmışlardır ve çok az bir genişleme gösterebilirler.

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

Her bir kil parçacığı izomorfus yer değiştirmeden dolayı negatif elektrikle yüklü olduğu için elektriksel olarak aktiftir. Negatif elektrik yükleri nedeniyle kil parçacıkları pozitif elektrikle yüklü katyonları kendine çeker ve bağlar. Bu çift tabakanın (double layer) meydana gelmesi ile sonuçlanır. Bir ortamda kil kolloidi hareket ettiği zaman ona bağlı binlerce katyonda birlikte hareket eder. Kristal yapıdaki kil parçacıkları negatif elektrik yükü taşıdıklarından elektrik akımı geçen bir ortamda hareket eder.

Kil parçacıkları etrafında fazla miktarda su adsorbe edilmiştir. Bu suyun bir kısmı kil parçacıklarına bağlı bulunan katyonların hidrasyonu sonucunda tutulmaktadır. Bir değerlikli katyonlar iki değerlikli katyonlara nazaran daha fazla hidrate olurlar. Ayrıca kil parçacıkları etrafında su tuttıkları gibi kristalleri oluşturan levhalarda su tutarlar [43].

3.1.3. Kil minerallerinin minerolojik yapıları

Kil mineralleri, kristal özelliklerine göre genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [25].

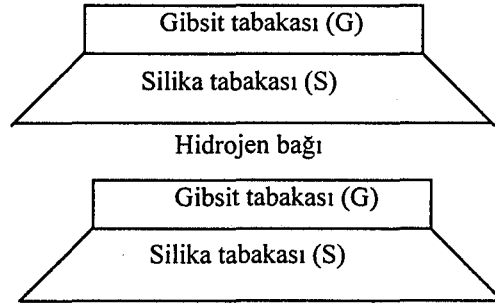
- Kaolinit kil minerali
- İllit kil minerali
- Montmorillonit kil minerali
- Klorit kil minerali
- Halloysit kil minerali
- Vermikülit kil mineralleri

Kaolinit Kili; tüm kil mineralleri gibi kaolinit de bir tabakalı silikattır. Kristal üniteleri, bir gibsit ve bir silika tabakalarının üst üste dizilmesinden oluşur. Her bir tabaka 7,2°A kalınlığındadır. Tabakaların yanal boyutları 1000°A–2000°A ve kalınlığı 100°A-1000°A arasındadır. Kaolinit kilinin yapısı Şekil 3.2.'da gösterilmiştir.

Kristali oluşturan üniteler birbirine oksijen hidroksit bağı ile sıkıca bağlanmışlardır. Bu yüzden kil ıslandığında kristal üniteleri arasındaki mesafe

genişlemez. Kristal üniteleri arasına su moleküllerinin ve kationlarının girmesi çok güçtür. Bu sebeple kaolinitin efektif yüzeyi sadece dış yüzeylerdir. Bunun sonucu olarak kaolinitin kation değişim kapasitesi diğer kil mineralleri gruplarından daha düşüktür.(3–15meq/100gr)

Kaolinit kristalleri kabaca hegzagonaldir. Çapları genel olarak 0,1–0,5 mikron arasında değişir. Diğer silikat kil minerallerinin aksine, kaolinitin plastiklik, kohezyon, büzülme ve şişme özellikleri çok zayıftır. Kaolinit ıslanmış zaman orta derecede bir plastisiteye sahip olurken, diğer kil minerallerinden daha büyük içsel sürtünmeye sahiptir. Bu gruptaki minerallerin özgül ağırlıkları 2,60–2,68 gr/cm³ ve özgül yüzeyleri 10 m²/gr. civarındadır. Kaolinit kilinin formülü 2H₂O.Al₂O₃2 SiO₂ şeklindedir [41].



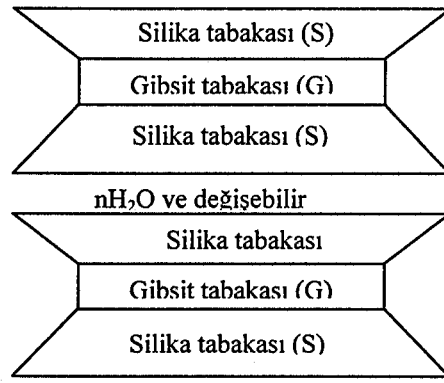
Şekil 3.2.Kaolinit kilinin yapısı

Montmorillonit Kili: Montmorillonit kristali alt ve üstten iki silika tabakası ile kuşatılmış bir gibsit tabakasından ibaret kristal ünitelerinin üst üste gelmesiyle meydana gelmiştir. Silis ve gibsit tabakaları oksijen atomuyla birbirine bağlanmıştır. Montmorillonit kristalleri iki silika tabakası ve bir gibsit tabakasından oluşan ünitelerden meydana gelmiştir. Montmorillonit kilinin yapısı Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.

Kristal üniteleri birbirine H₂O ve kationlar ile bağlanmıştır ve kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebilir. Montmorillonit kristallerinin çapları 0,01–2 mikron arasında değişir. Kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebildiğinden kationlar ve su molekülleri üniteler arasına girebilir. Böylece montmorillonit miktarı yüksek olan killer ihtiva ettikleri değişebilir kationların tabiatına bağlı olarak önemli miktarda şişme veya büzülme

gösterilebilir. Montmorillonit kil kristalinin dış yüzeylerine ek olarak geniş bir iç yüzey mevcuttur. Bu iç yüzeylerde negatif elektrikle yüklüdür. Bu yüzden montmorillonit kili yüksek bir katyon değişim kapasitesine sahiptir. Katyon değişim kapasitesi 80–150 meq/100 gr arasında değişmektedir ve kaolinitin 10–12 mislidir.

Suyun kristal üniteleri arasına girmesiyle montmorillonit kristalleri büyük oranda genişler ve şişerler. Montmorillonit yaprakları suyla sarılmış olup ıslandıkları zaman yüksek plastisiteye ve düşük içsel sürtünmeye sahiptir.

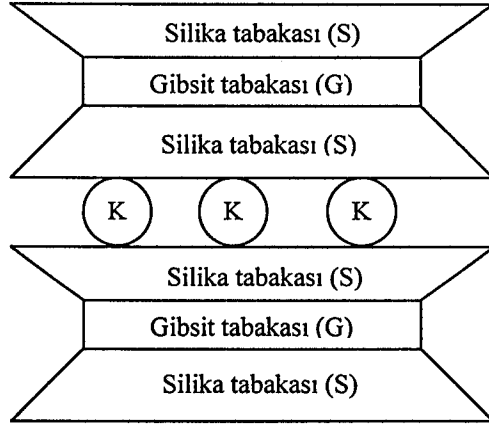


Şekil 3.3. Montmorillonit kilinin yapısı

Kurudukları zaman çok miktarda büzülme ve çatlama gösterirler. Bu gruptaki killerin özgül ağırlıkları 2,2–2,3 gr/cm³ özgül yüzeyleri ise 800m³/gr civarındadır. Bu gruptaki killerin genel formülü (OH)₄Si₈O₂NH₂ O şeklindedir.

İllit Kili: doğada en yaygın bulunan kil mineralleridir. Genel yapısı bakımından montmorillonit kiline benzer. Bununla beraber taneciklerin çapı nispeten daha büyüktür. Silis tabakasındaki silisin %15'i alüminyumla yer değiştirir. Açıkta kalan valanslar ise geniş ölçüde K⁺⁺ iyonları tarafından doldurulmuştur. Potasyum atomlarının kristal üniteleri arasında yer aldığı ve üniteleri birbirine bağladığı kabul edilmektedir. Bu sebeple kristal üniteleri arasındaki mesafeler fazla genişleme göstermez. Bunun sonucu olarak hidrasyon, katyon adsorpsiyon, şişme, büzülme ve plastiklik gibi özellikler belirgin değildir. Fakat bu özellikleri kaolinit ile montmorillonit arasındadır.

İllit kilinin şişme özelliği montmorillonit kilinden az içsel sürtünmesi ise fazladır. Bu gruptaki kil minerallerinin özgül ağırlıkları $2,64-3,0 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir, özgül yüzeyleri ise $80 \text{ m}^2/\text{gr}$ civarındadır. Kimyasal formülü, $(\text{OH})_2\text{Al}_2\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x\text{O}_{10}$, $0,5 < x < 0,75$ şeklinde değişik bir tarzda gösterilir. İllit kilinin yapısı kilinin yapısı şematik olarak Şekil 3.4’da gösterilmiştir [41].



Şekil 3.4. İllit kilinin yapısı

Klorit Kili; Yeşil renkli, demir minerali bakımından zengin kil mineralleridir. Birçok güncel sedimanter havzalarda, topraklarda ve sedimanter kayalarda saptanmışlardır. Hatta bazı çökeltme havzalarının egemen kil minerali olduğu görülmektedir.

Klorit yapısı, trioktahedral mika yapraklarının, brusit yapısında bir bağlayıcı ile bağlanarak ardalanmasından oluşmaktadır [42].

Halloysit Kili;Kaoliniti meydana getiren bileşenlerden meydana geldiği kabul edilmektedir. Halloysit beyaz, yeşilimsi ve açık mavimsi renklidir, mavimsi yeşilimsi renkli taze numuneleri zamanla toz haline gelerek beyazlaşmaktadır.

Halloysit kristalleri elektron mikroskopla lif ve çubuk şeklinde görülmektedir. Bu lif ve çubukların, içi boş tüplerden meydana geldiği tespit edilmiştir. Halloysitin tüp şeklinde olma sebebi kesin tespit edilmemiştir.

Vermikülit Kili; Mikalara benzeyen vermikülit, uzunca bir süre bir trioktahedral mika türü olarak düşünülmüştür. Ancak daha sonra yapılan araştırmalarla mika

bileşimindeki birim tabakaların birbirlerinden su molekülleri tarafından ayrıldığı saptanmıştır.

Vermikülitler, trioktahedral ya da dioktahedral mika tipi yapıdadırlar ve tabakalar arası bağları mika ve kloritlerinkinden zayıf, montmorillonitlerinkinden kuvvetlidir [40].

3.1.4. Kaolin kilinin endüstrideki kullanımı

Kaolin ismi, Çince Kauling (Çin'de Jauchau Fu yakınındaki bir tepenin adı) isminden türemiştir. Bu tepede bulunan killer yüzyıllardan beri üretilerek porselen ve seramik eşya yapımında kullanılmıştır. Kaolin terimi uzun yıllar kaolinit minerallerinin adı olarak da kullanılmıştır. Kaolin demir muhtevası düşük beyaz veya beyaza yakın renktedir. Kaolin kilinin teorik bileşimi $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ olan kaolinit grubu minerallerden meydana gelir.

Kaolin kili doğrudan endüstride kullanılabildiği gibi, öğütme, zenginleştirme ve beyazlatma işlemlerinden sonra da kullanılır. Zenginleştirme işlemlerine tabi olmuş kaolinlerin tane boyutu, beyazlık derecesi, kimya ve mineral bileşimi, kuruma ve pişme küçülmesi gibi özellikleri belirtilebilir.

Kaolin başlıca seramik, kağıt, çimento, refrakter malzeme üretimi, seramik izolatörler, gübre, yapıştırıcılar, zirai ilaçlar ile böcek ve sinek öldürücüleri, tıbbi ilaçlar, yemler, ağartıcı ve absorbentler, katalizörler, deterjan ve kozmetikler, boyalar, lastik ve plastik malzemeler, tekstil boyaları ve çirişleri, döküm kalıpları, kurşunkalem üretimi gibi birçok imalatta çeşitli şekilde kullanılmaktadır. Kullanış alanına göre bazı özellikler ve standartlar istenmesi yanında bazı isimlendirmelerde yapılmaktadır.

Su ile zenginleştirilmiş kaolinler yumuşak, yüksek plastik ve düşük aşındırma özelliğindedir. Bir kısım kaolinler organofilik veya hidrofobik hale getirmek üzere bazı kimyasal işlemlere tabi tutularak dış yüzey boyalarında kullanılmaya elverişli hale getirilir [44].

3.2. Killerin Fiziko – Kimyasal Özellikleri

3.2.1. pH

Yüksek pH değeri kil tanelerini dispers yapmakta ve kil taneleri yüzeyindeki negatif yükü arttırmaktadır. Dolayısıyla taneler arasındaki itmeyi arttırmaktadır. pH değeri, ortamda H^+ veya OH^- iyonlarının bulunma derecesini ifade etmektedir. pH değişimi zemin/su karışımını önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük pH değeri, toprakta flokulasyonu ve gevşek zemini ifade etmektedir. Yüksek pH değeri ise dispersiyonu ve sıkı zemini belirtir. pH değeri kil tanelerinin adsorpsiyon karakterini etkiler. Asit durumunda adsorpsiyon artar. Kil tanelerinin köşeleri pozitif yükle yüklenir. pH değerinin düşük olması kil tane yüzeyinin elektriksel potansiyelini azaltmaktadır. Yani negatif yüzeyleri nötralize etmektedir. Zeminin pH değeri metal miktarlarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH değeri, genellikle kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için 6-8 arasında olmalıdır [41].

3.2.2. Elektriksel iletkenlik

Kil / su sisteminin elektriksel iletkenliği, ortamın elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Kil / su sisteminin elektriksel iletkenliği, karışımdaki iyonların tipi ve sayısı ile ilgilidir. Tane konsantrasyonu artarsa, kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve koloidal tanelerin hareketi solüsyonun iletkenliği arttırmaktadır.

Bir tanede elektriksel yükün değeri doğrudan o tanenin yüzey alanı ile ilgilidir. Bu nedenle o tanenin davranışına etki eden elektriksel kuvvetlerin kitle kuvvetlerine göre değeri de tanelerin birim kütesine düşen yüzey alanı ile ilgilidir. Tane birim kütesine gelen yüzey alanı tanelerin davranışına etki eden elektriksel yükün mertebesini gösterir [41].

3.2.3. Ağır metaller

Metaller, zemin içindeki kil mineralinin yüzeylerine katyon değişim kapasitesi ile adsorbe olur. Metaller genellikle killere ve organiklere sıkıca bağlıdır. Metal ile kil arasındaki işlemler; metal tipi, zemin tipi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraktaki metal konsantrasyonunun ilerlemesi kolaylıkla gözlenebilir. Toprak pH ' ının ayarlanması ile düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklarda metallerin toprak içinde ilerlemesi durdurulabilir [41].

3.2.4. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

Katyon değişim kapasitesi, izomorfus yer değiştirme kapasitesinin bir ölçüsüdür. İzomorfuz yer değiştirme olayı kristal yapıda herhangi bir değişiklik olmadan iyonların yerlerine eşit veya farklı değerli başka iyonlara bırakmasıdır. Örneğin, zeminde alüminyum un çok olduğu bir yerde bir silikon atomunun yerini bir alüminyum atomu alması şeklinde olabilir. Böyle bir durumda silikon +4 alüminyum +3 değerlidir.

Bu değişimle her değişim için bir dengelenmemiş elektrik yükü ortaya çıkar. İyonlar eş boyutlu olmadıkları için kristal yapıda şekil bozulması olur. Bunun bir sonucu, kristal yapısının büyümesi engellenmektedir. Kaolinit kilinde bu tip değişimler az olup kaolinit kil taneciğinin elektriksel yükü göz önüne alınırsa yaklaşık her 400 silikon iyonundan birisinin bir alüminyum iyonu tarafından tutulduğu söylenebilir.

İzomorfus yer değiştirme kil tanelerine negatif yük sağlamaktadır. Bu dengesizliği önlemek için ortamdaki katyonlar kil tanelerinin kenarlarına ve bloklar arasına girmektedir. Bu katyonlar birçok durumda yerlerini bir başka katyona da bırakabilmektedir. Yük dengesizliğini giderebilmek için gerekli katyon miktarına katyon değiştirme kapasitesi denir. Katyon değişim kapasitesi spesifik yüzey alanının artması ile artmaktadır. Katyon değişim hızı kil mineraline , katyonlarına ve anyonlarına bağlıdır [43].

Killerin katyon değişimlerinin nedenleri;

- Silika-alumina birimlerinin kenarlarındaki kırık bağlar, değişebilir katyonlarla dengelenmiş olan doyurulmamış y¼kler oluşturur. Tanecik boyutu küç¼ld¼kçe kırık bağ sayısı ve buna bağlı olarak da katyon değişim kapasitesi artar. Kaolinit kilinde kırık bağlar katyon değişiminin en önemli nedenidir. Montmorillonit kilinde ise katyon değişiminin %20'si kırık bağlardan, %80'i örg¼ içi yer değiştirmelerinden ileri gelir.
- Örg¼ içi yer değiştirme ile örg¼ içinde dengelenmemiş y¼kler oluşur ve y¼klerin çoğu, adsorplanmış katyonlarla dengelenmiştir.
- Açıkta ki hidrosillerin hidrojeni değişebilir katyonlarla yer değiştirebilir. Bu etki de kaolinit kilinde önemlidir [45].

3.2.5. Anyon değişim kapasitesi (ADK)

Kil mineralleri, hidrosiller ve organik maddeler üzerinde pozitif y¼kler bulunmakla birlikte, negatif y¼kler çok daha fazla sayıda olduğundan anyon değiştirme kapasitesi, katyon değişme kapasitesine oranla daha azdır. Bu nedenle anyonların yer aldığı değişim reaksiyonları, katyonların yer aldığı değişim reaksiyonlarından daha az önemlidir.

3.2.6. Spesifik yüzey alanı

Kil tanelerinin spesifik yüzey alanı tane davranışına etki eden en önemli özelliklerden birisidir. Bunun nedeni; flokulasyon, dispersiyon, ve iyon değişimi spesifik yüzey olayına bağlıdır. Diğer nedeni ise, spesifik yüzey alanı, kil mineralinin tane çapına ve şekline bağlıdır. Çift tabaka kalınlığı da kil tanesinin yüzey alanına direk olarak bağlıdır. Yüzey alanının artması çift tabaka kalınlığının artmasını sağlar.

4. BOZÜYÜK İLÇESİ ÇÖP DEPONİ ALANI MEVCUT DURUMU

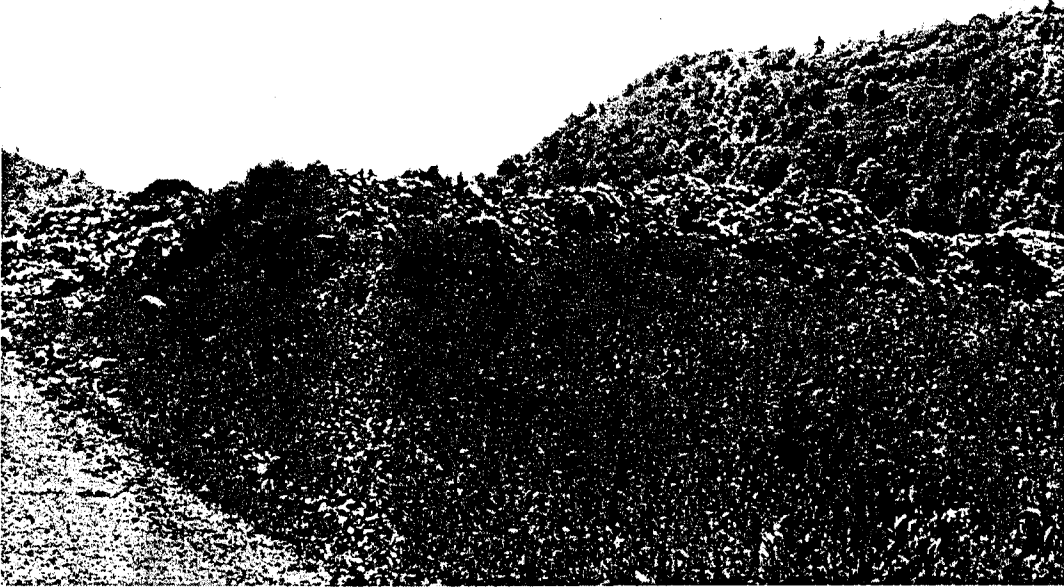
Bilecik ili Bozüyük ilçesinde evsel ve evsel nitelik taşıyan çöpler düzensiz olarak atılmaktadır. Ayrıca atıklar elle, sağlık ve hijyen koşullarına uyulmaksızın çalışan işçiler tarafından ayıklanmaktadır. Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de Bozüyük İlçesi düzensiz çöp depolama alanı verilmiştir. Bozüyük ilçesi 41.300 nüfuslu bir ilçe olup, Bozüyük Belediyesinden alınan bilgilere göre 2000 yılı itibarı ile atık miktarı yaklaşık 20.000 ton / yıldır. Çizelge 4.'de Bozüyük ilçesi aylık atık cinsleri ve miktarı verilmiştir. Bilindiği gibi katı atık çeşitleri genel olarak; evsel katı atıklar, endüstriyel katı atıklar, ticari atıklar ve tıbbi atıklardır.

Bozüyük İlçesi Belediyesine ait çöplerinin düzensiz olarak atıldığı arazide, herhangi bir drenaj sistemi olmadığı için çöplerden sızan sular, arazinin yakınında bulunan Ilgın deresine sızmaktadır. Bu dereden bir çok arazi sulanmakta ve birçok canlı su ihtiyacını karşılamaktadır. Bu nedenle, çevre sağlığı bakımından tehlikeli olan bu sızıntı suyunun oluşmaması için depolamanın bu arazi üzerinde yapılmaması gerekmektedir. Katı atık depolama alanlarında katı atık yüzeylerinden ve içinden sızarak oluşan su, sızıntı suyu olarak tanımlanır. Depolama alanlarında yağış sebebiyle katı atık kütlelerinin yüzeyinden, çeşitli kaynaklardan veya atığın kendisinden gelen sular fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerle yüklü sızıntı sularını oluştururlar. Sızıntı suları oldukça kirlilik konsantrasyonuna sahip olup rengi koyu kahve veya siyah renklidir. Fazla miktarda organik madde içerir ve alıcı ortama deşarjları sakıncalıdır.

Düzensiz çöp depolama alanlarında oluşan metan (CH_4) ve hidrojen sülfür (H_2S) gibi gazların oluşmasıyla yangınların olabileceği göz ardı edilmemelidir. Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi Bozüyük İlçesine ait düzensiz çöp depolama alanında çöpler yanmaktadır.

Çizelge 4.1. Bozüyük İlçesi aylık atık cinsleri ve miktarı

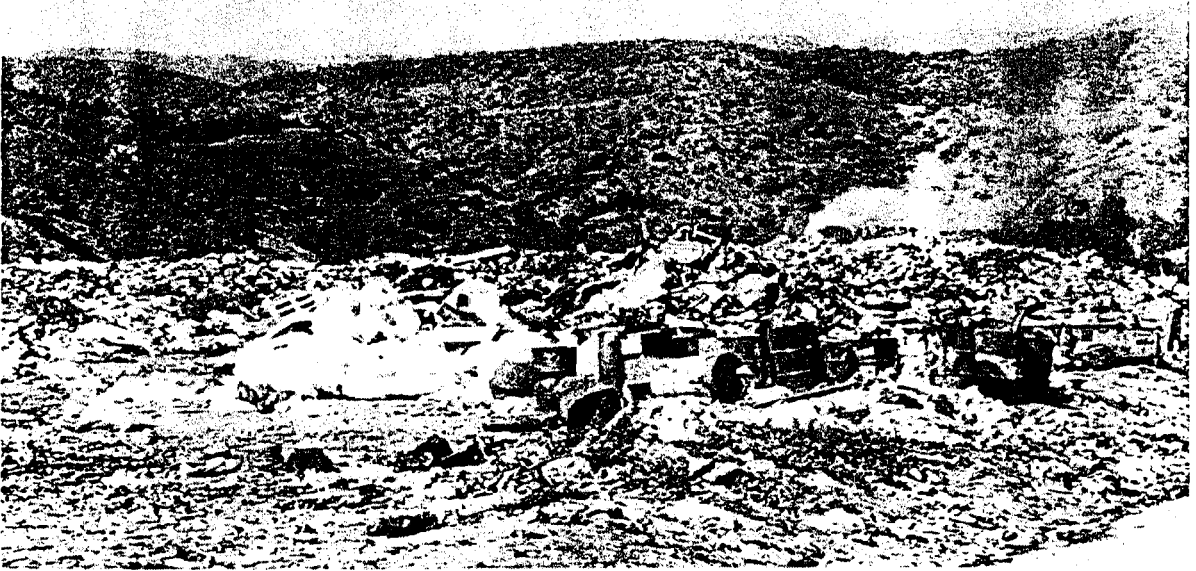
Bileşen	Miktar
Kağıt	10.000kg
Plastik	5.000kg
Naylon	3.000kg
Teneke	5.000kg
Cam	10.000kg
Tekstil	1.000kg
Organik Madde	2.000kg
Diğer	1.400.000kg
TOPLAM	1.800.000kg



Şekil 4.1.Bozüyük İlçesi mevcut çöp alanı



Şekil 4.2.Bozüyük İlçesi mevcut çöp alanı (köy yolu)



Şekil 4.3. Bozüyük İlçesi mevcut çöp alanı

Bu çalışmada kullanılan çöp suyu, Bozüyük çöp döküm sahasından alınmıştır. Çöp suyu, optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerden üç eksenli deney şartlarında 30 gün süreyle geçirilerek sızıntı deneyleri yapılmıştır. Numuneler içinden geçirilen çöp suyu, toplanarak ağır metal miktarları, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri belirlenmiştir. Sızıntı deneyi sonunda toplanan su içinde belirlenen kurşun, nikel, çinko, bakır ve krom gibi ağır metal miktarları toprakta müsaade edilen limitlerin altında olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bozüyük ilçesine ait katı atık kaynakları aşağıda verilmiştir.

- Konutlardan toplanan çöpler,
- Dükkanların, yemekhanelerin, otellerin, büroların ve açık pazarların ticari atıkları,
- Konutların, ticari binaların ve devlet dairelerinin ısıtma sistemlerinden kaynaklanan kömür külleri (cüruf),
- Sokak çöpleri,
- Yol ve parklardaki çöp kutularından toplanan atıklar,
- Askeri yerleşimlerin evsel ve büro atıkları.

Evsel katı atıkların bertarafında en ekonomik ve en basit yöntem düzenli depolamadır. Yeterli büyüklükte ve uygun alanlar bulunduğu müddetçe kullanılan düzenli depolama yönteminde, çevreye olan olumsuz etkiler minimuma indirilirken, atıklar kontrol altında ayrışarak inert ve kararlı maddelere dönüşümü sağlanır.

5. DENEY METODLARI

Gerek yer seçimi için, gerekse geçirimsizlik malzemesinin seçimi için birçok deneyler yapılır. Seçilen arazide yapılan sondajlar sonucunda elde edilen numunelerin indeks ve mekanik özellikleri belirlenir.

Kullanılacak geçirimsizlik malzemesinin, tane çapı dağılımı, spesifik gravitesi, kıvam limitleri, su muhtevası gibi indeks özellikleri, serbest basınç mukavemeti, konsolidasyon parametreleri, permeabilite katsayısı gibi mekanik özellikleri, pH değeri, elektriksel iletkenliği, katyon değişim kapasitesi, organik madde miktarı ve ağır metal miktarı gibi fiziko-kimyasal özellikleri ile sızıntı suyu geçirilen numunenin serbest basınç mukavemeti, sızıntı suyu içindeki ağır metal miktarı gibi çevresel şartlara ait özellikleri belirlemek için deneyler yapılmıştır.

5.1. Standart Kompaksiyon Deneyi

Standart kompaksiyon deneyi, zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığın ve optimum su muhtevasının belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyde değişik su muhtevalarında hazırlanan zemin numuneleri, 944cm^3 hacminde bir kalıp içinde, üç tabaka halinde ve her tabakaya 25 vuruş gelecek şekilde 590 kJ/m^3 enerji uygulanarak sıkıştırılmıştır. Deney sırasında alınan değerlere göre kuru birim hacim ağırlığı-su muhtevası arasındaki ilişkiden standart proktor eğrisi çizilmiştir. Bu çizilen eğrinin maksimum noktasına göre maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası değerleri belirlenmiştir.

5.2. İndeks Deneyleri

5.2.1. Su muhtevası

Su muhtevası, su ağırlığının tane ağırlığına veya atık içerisindeki toplam katı maddeye oranı olarak tanımlanır. Su muhtevası, konsolidasyon, flokule yapı,

sızıntı ve adsorbsiyon özelliklerinin anlaşılmasında önemlidir ve karışım oranlarının belirlenmesi için öncelikle belirlenmelidir. Çamur gibi endüstriyel atıkların katı madde konsantrasyonunun belirlenmesi için su muhtevasının bilinmesi ile çamurun akışkanlık özellikleri belirlenmektedir .

5.2.2. Tane özgül ağırlığı

Birim hacimdeki atık ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Atık veya zeminlerin tane özgül ağırlığı, hacim ve ağırlık ilişkisinin tespit edilebilmesi için gereklidir.

5.2.3. Tane çapı dağılımı

Endüstriyel atıkların tane çapı dağılımı, atıkların iyileştirme tekniklerinin seçimini doğrudan etkilediği gibi, iyileştirme sonrası yeniden kullanılabilirlik alternatiflerinin belirlenebilmesi için de oldukça önemlidir. İyi derecelenmiş gronülometri eğrisine sahip atık veya zeminler, yüksek mukavemet gibi mekanik özelliklere sahiptir ve stabilizasyon sonu atıkların değerlendirilebilmesi mümkün olmaktadır. İnce tane yapısına sahip atık veya zeminler, genellikle iyi işlenebilme özelliklerine sahiptir ve daha çok absorbent malzemeler içerdiği için iyi bir kimyasal stabilizasyon sağlamak fakat bunun yanında ince taneli atık veya zeminlerin mukavemeti düşük olmaktadır.

Numune önce 200 nolu elekten yıkanarak elek analizi yapıldı, daha sonra 200 nolu elek altından 50 gr. malzeme alınarak hidrometre deneyi ile tane çapı dağılımı belirlenir.

5.2.4. 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

5.3. Mekanik Deneyler

5.3.1. Deney numunelerinin hazırlanması

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

- Endüstriyel atıklar, kireç ve zeolit 105°C 'de etüvde kurutuldu.
- Belli oranlarda karıştırılan numuneler üzerine distile su kullanılarak standart kompaksiyon deneyi yapıldı ve optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlendi.
- Numuneler, optimum su muhtevasında distile su kullanılarak standart proktor kalıbında 25 vuruş ile üç tabaka halinde sıkıştırıldı.
- Sıkıştırılan proktor kalıbının üst tarafından, 14 cm boyundaki shelby tüpü zeminin içine sokuldu. Daha sonra shelby tüpünden numune çıkarılarak deneye hazır hale getirildi. Hazırlanma sırasında mold ve shelby tüpü arasında kalan numunelerden su muhtevası için numuneler alındı.

5.3.2. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyi, atığın zemini veya katı kütleyi kimyasal olarak nasıl etkilediğini belirlemede kullanılır ve S/S teknolojileri ile iyileştirilmiş zeminlerin sızmaya karşı gösterdiği direnç olarak da kabul edilebilir [23]. Serbest basınç deneyi, karışımın pozolanik aktivitesini gösterir.

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.

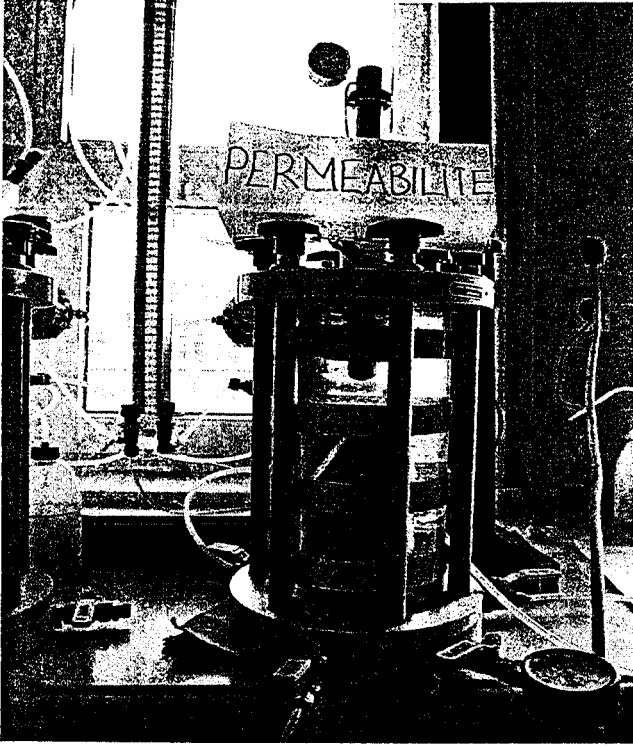
Serbest basınç deneyi, optimum su muhtevasında standart proktor kalıbında sıkıştırılan kil numunesinin eksenel doğrultuda yüklenmesiyle yapılmıştır. Eksenel yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısalması ölçülerek gerilme-şekil değiştirme eğrisi çizilmiştir. Eksenel gerilmenin en büyük değeri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

5.3.3. Düşen seviyeli permeabilite deneyi

S/S teknolojilerinin önemli bir amacı da permeabiliteyi azaltarak sızmayı engellemektir. Permeabilite katsayısı kirliliğin fiziksel olarak izole edilme kapasitesini gösterir. Atık veya zemin içerisindeki asit ve bazlar zemin kütledeki mineraller ve diğer katı maddelerin erimesine sebep olur, boşluklar ve dolayısıyla permeabilite artar.

Permeabilite katsayısının belirlenmesi için laboratuarda bilinen iki yöntemden farklı olarak üç eksenli deney sistemi ile permeabilite deneyi yapıldı. 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.

Üç eksenli deney aletinde deney hücresine optimum su muhtevasında distile su ile standart proktor kalıbında hazırlanan kil numunesi örselenmeden yerleştirildi. Hücre basıncı 20 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. Şekil 5.1 'de permeabilite deneyi sistemi verilmiştir.



Şekil 5.1. Permeabilite deney sistemi

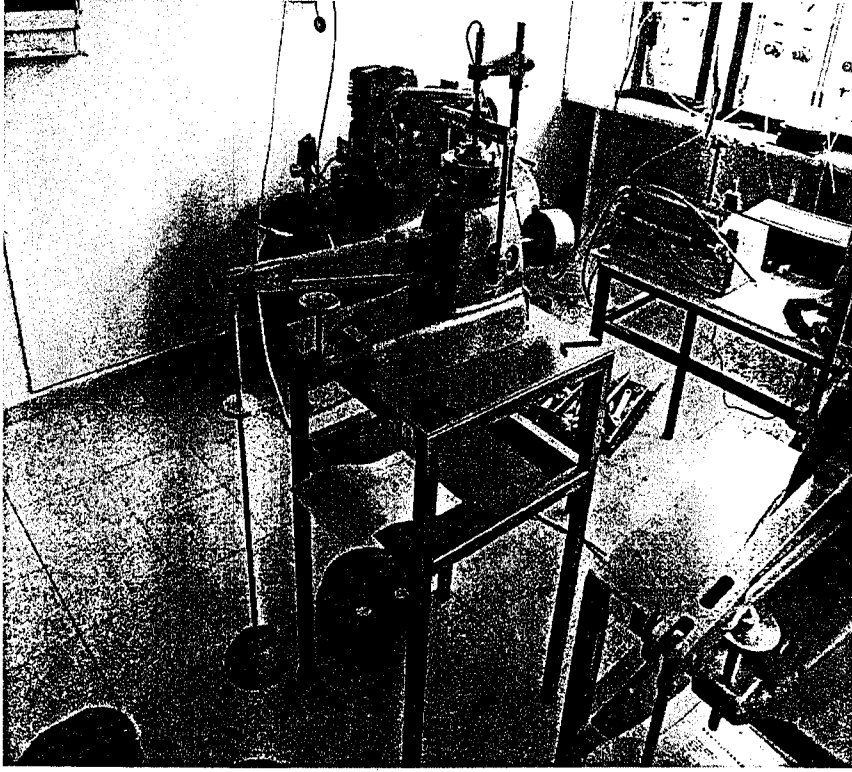
5.3.4. Permeabilite sonrası serbest basınç deneyi

Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numuneler üç eksenli deney şartlarında permeabilite deneyi sonrasında kayma mukavemeti belirlenmiştir. Bu deneyin amacı uygulanan kil tabakalarının tabi şartlar altındaki dayanımı hakkında fikir edinmektir. Üç eksenli deney şartlarında permeabilite deneyi yapılan karışımın, serbest basınç deneyi ile numunenin doymuş su muhtevastaki mukavemeti belirlenmiştir.

5.3.4. 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.

Konsolidasyon deneyi, optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin ödometre haznesine yerleştirilip 24 saat aryla yük uygulanması ile yapılır. Deney başında sıfır konumuna getirilen deformasyon saati, 24 saat sonunda okunarak düşey oturma miktarındaki farklılıklar belirlenir. Hesaplamalar sonucu konsolidasyon parametreleri belirlenir. Şekil 5.2 'de ödometre deneyi sistemi verilmiştir.



Şekil 5.2 Ödometre deney sistemi

5.4. Fiziko – Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

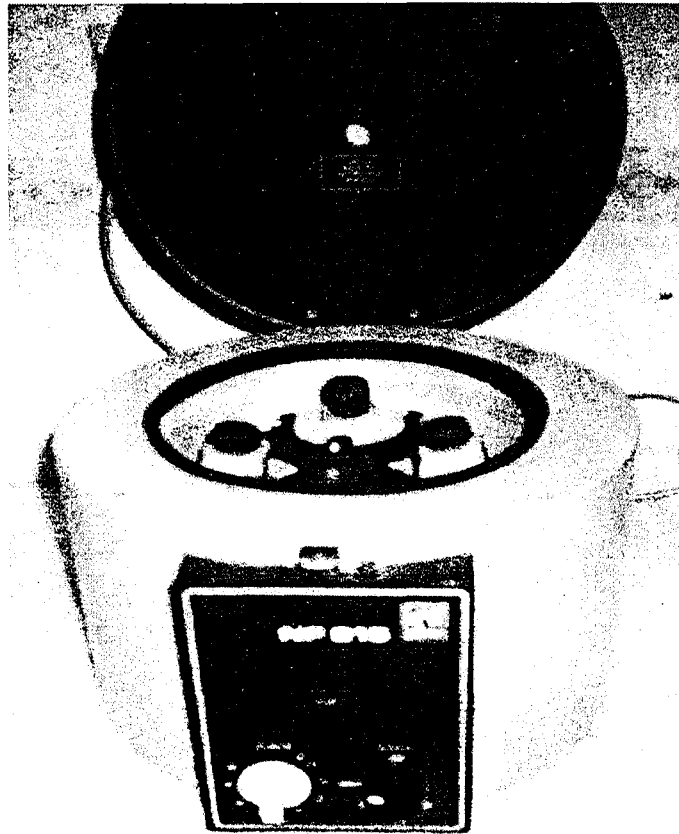
5.4.1. Katyon değişim kapasitesinin tayini

Killerin katyonları elektriksel güç ile bağlama miktarına veya zeminlerin 100 gramındaki değişebilen katyonların mili ekvivalentleri toplamına (meq/100gr zemin), zeminin katyon değişim kapasitesi denir. Zeminlerin değişebilir katyonlarının en önemlileri Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ ve H^+ iyonlarıdır.

Zeminin tane boyutu küçüldükçe, organik ve inorganik kirleticilerin tutulabilmeleri kolaylaşmaktadır. Kil gibi katyon değişim kapasitesi yüksek

zemin türleri ağır metalleri adsorblayabilmektedir. pH değeri, zemindeki katyon değişim kapasitesini direkt olarak etkilemektedir. Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Al^{+3} ve H^+ gibi katyonlar, zemin içinde yüksek katyon değişim kapasitesine sahiptirler. Katyon değişim kapasitesi, zeminin birim ağırlığı ve birim kütledeki değişebilen toplam katyonlar miktarını gösterir. Zeminin katyon miktarı, kil ve organik madde miktarı ile artar.

Katyon değişim kapasitesi sodyum doyurma (saturasyon) metodu ile belirlendi. Numuneler öncelikle, 24 saat $105^{\circ}C$ ' de kurutuldu, 100 nolu elekten elenen numuneler sodyum asetat ile santrifüj kullanılarak doymun hale getirildi. Böylece numune içindeki kil yüzeyindeki ve tabakalar arasındaki katyonlar ile sodyum yer değiştirmiş oldu. Daha sonra, numuneler isopropyl alkol ile tuzları atmak için yıkandı. Son olarak , numuneler amonyum asetat ile zemin içindeki kil yüzeyine adsorbe edilen sodyumun ortama çıkarılması için yıkandı. Buradan, sodyum miktarı atomik absorpsiyon cihazı ile belirlendi.



Şekil 5.2 Santrifüj aleti (Katyon değişim kapasitesi)

5.4.2. pH tayini

pH değeri, zemindeki katyon değişim kapasitesini direk olarak etkilemektedir. Kil tanelerinin kenarlarından ve organik maddelerden ayrılan H^+ iyonu ve benzeri yükler atıkların pH değerini etkilemektedir. pH değeri artarsa, ortamın katyon değişim kapasitesi de artmaktadır. Düşük pH seviyelerinde kovalent bağ ile bağlanmış H^+ ayrılmaz, fakat yüksek pH değerlerinde H^+ diğer katyonlar ile yer değiştirebilir.

Karışımın yüksek pH değeri kil tanelerini dispers yapmakta ve kil taneleri yüzeyindeki negatif yükü arttırmaktadır. 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 permeabilitelerinden dolayı kirletici 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.

Laboratuarda oda sıcaklığında (18–21°C) kurumaya bırakılan numuneler tamamen hava kuru normuna (%3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 40 nolu elekten elenerek 20 gr alındı. Alınan numune 50 ml saf su ile bir beher içinde doymun hale getirildi. Karıştırılan karışımların üzeri kapatılarak bir gün beklemeye bırakıldı. Bekletilen çözeltilerin üstteki berrak kısmı içerisine pH metrenin cam elektrodu daldırılarak numunenin pH değeri belirlendi.

5.4.3. Elektriksel iletkenlik

Su ve atık arasındaki elektriksel iletkenlik, ortamdaki elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüdür. Elektriksel iletkenlik, karışım içerisinde iyon tipi ve sayısı ile ilgili olarak artar. Tane konsantrasyonu artarsa, kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve koloidal tanelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini arttırmaktadır. Zemindeki tuz

oranı elektriksel iletkenlik ile belirlenir. Elektriksel iletkenlik değeri 4 miliSiemens (4000 mikroSiemens/cm) değerinden fazla ise zemin tuzludur.

Laboratuarda oda sıcaklığında (18–21°C) kurumaya bırakılan numuneler tamamen hava kurusu normuna (%3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 16 nolu elekten elendi. Daha sonra bu numunelerden 150-250 gr arasında alınarak saf su ile bir beher içinde doygun hale getirildi. Toprağın su ile doygun hale gelmesi halinde çamurun yüzeyi ışığı yansıttığı için parıldar kap eğilince yavaşça çamur akar. Karıştırma işi bitince doygun hale getirilmiş çamurun üzeri kapatılarak 1 gün bekletildi. Elektriksel iletkenliği ölçülecek çözeltilerin içerisine elektrot daldırılarak numunenin elektriksel iletkenliği belirlendi.

5.4.4. Organik madde tayini

Organik madde miktarı, su muhtevasının iyi bir göstergesidir. Zemin içindeki organik madde miktarı arttıkça su muhtevası da artmaktadır. Bunun nedeni suyun organik madde-kil ortamında tutulmasıdır. Zemine organik madde veya ham petrol ilavesi, organik madde miktarını arttırmaktadır.

Organik madde miktarı deneyi, 0,5 mm 'lik elekten geçirilmiş, fırında 105°C ' de kurutulmuş numunelerden 0,5–1,0 gr tartılır. Tartılan örnekler 600–750 ml 'lik erlenlere konur. Üzerlerine 10 ml $K_2Cr_2O_7$ eklenir, üzerine 20 ml H_2SO_4 eklenir ve ısınma olur. Yanmanın tamamlanması için yarım saat kadar beklenir. Daha sonra 150 ml saf su konur ve çalkalanır. Üzerine H_3PO_4 ilave edilir. 8–10 damla difenil amin indikatörü damlatılarak bürette hazırlanmış 1 N Mohr tuzu ile titre edilir. Mor renk önce maviye döner bundan sonra damlatma yavaşlatılmalıdır. İlk krom yeşiline döndüğü an titrasyon sonunu gösterir. Yeşil renk Cr^{+3} 'ten ileri gelir. Mohr tuzu ile titrasyonun amacı erlenlere H_2SO_4 ilavesi ile açığa çıkan ısı yardımı ile örnekteki C yanmış, bu sırada $K_2Cr_2O_7$ bir kısmı harcanmıştır. Harcanan kısmı bulabilmek için kalan kısım mohr tuzu ile saptanır. Fazla toprak (C) fazla kromat gerektirdiği için geri titrasyonda mohr tuzu sarfiyatı azdır. Organik madde fazla ise daha asit ilave edilirken bikromat az geldiği için renk yeşile döner. Bu durumda ya daha düşük tartım alınır ya da daha

yeşil renk kayboluncaya kadar bikromat eklenir (Hesaplamalarda göz önüne alınmalıdır).

5.4.5. Toplam ağır metal miktarı tayini

Metaller, zemin içindeki kil mineralinin yüzeylerine katyon değişim kapasitesi ile adsorbe olur. Metaller genellikle killere ve organiklere sıkıca bağlıdır. Metal ile kil arasındaki işlemler; metal tipi, zemin tipi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraktaki metal konsantrasyonunun ilerlemesi kolaylıkla gözlenebilir. Toprak pH değerinin ayarlanması ile düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklarda metallerin toprak içinde ilerlemesi durdurulabilir [41]. Krom, kurşun, çinko ve mangan gibi ağır metaller suda çözünebilmektedir. Katyon değişim kapasitesi değeri metallerin zemin içinde tutulma kapasitesinin bir ölçüsüdür [18]. Topraktaki metaller, bakır, krom, nikel, çinko, kurşun gibi metallerdir.

Bakır (Cu)

Bakır elementi genellikle mangan ve demirin hidroksit oksitleri ile meydana gelir. Bakırın adsorpsiyonunda organik madde ve serbest mangan oksitleri önemlidir. Yeryüzündeki ortalama bakır içeriği 2-40 mg/kg, kirlenmiş topraklarda ise 1000 mg/kg'dır. Yüzey sularında bulunan bakır bitkiler için zararlıdır. Bakır elementi sudaki canlılar için kuvvetli toksik nitelik taşıyan bir elementtir. Maksimum bakır miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 1-190 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 36 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 500 mg/kg'dır. 1991 yılında yayınlanan Resmi Gazetede sudaki maksimum bakır miktarı 0.2 mg/l olarak verilmiştir.

Fazla organik madde içeren zeminlerde bakır miktarı azdır. Bitkiler tarafından iki değerli bakır katyonu olarak alınır. Bakır fazlalığı, bitkilerin demir almasını güçleştirir. Toprakta bakır ile organik madde arasındaki ilişki önemlidir.

Topraktaki bakırın önemli bölümü zor çözünebilir veya çözünmeyen organik ve inorganik bileşikler olarak bulunur.

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

Bakır birçok ürünün elde edilmesinde (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. Aynı şekilde arıtma çamurlarında bakır içeriği 10.000 mg/kg kuru ağırlık düzeyine kadar çıkabilmektedir.

Çeşitli bitkilerde yaklaşık 20 mg/kg kuru ağırlık üzerine bakır zehirliliği saptanmıştır. Bazı bitkilerin besin çözeltisinde 0.1 mg/l konsantrasyonu aynı şekilde olabilmektedir.

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 toksitesesi 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 bulunması halinde bile, mera otlarında bakır içeriği çok yüksek olur (15 mg/kg kuru madde) ve koyunlarda zehirleyici etkiye bulunur [18].

Çinko (Zn)

Çinko tuzlarının zehirliliği oldukça düşüktür. Çinko kirliliği maden operasyonlarından ve galvanize boruların paslanmasından olabilir. Maksimum çinko miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 300 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 300 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 2-180 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 140 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 3000 mg/kg'dır. 1991 yılında yayınlanan Resmi Gazetede içme suyundaki maksimum çinko miktarı 0.5 mg/l olarak verilmiştir.

Organik madde miktarı fazla ise çinko miktarı da fazladır. Bitkiler tarafından Zn^{++} şeklinde alınır. Toprakta katyon halinde veya mineral bünyesinde bulunmaktadır. Çinko çözünürlüğü pH değeri 5.2'den küçük ve 6'dan büyük olursa azalır. Topraktaki çözünebilir çinko, ancak %1'dir. pH değeri yüksek olursa bu çözünemeyen miktar %0.1'lere düşer. Toprağın asitliği arttıkça yani toprağın pH değeri azaldıkça çinko bileşiklerinin çözünürlüğü artar. Toprak içindeki fazla çinko, bitkilere ve mikroorganizmalara toksik etki yapar. Kirlenmemiş topraklarda çinko içeriği 10-80 mg/kg'dır.

Kirlenmiş topraklarda çinko bileşikleri şeklinde bulunur. Toprağın pH değerine göre ve kirliliğin derecesine göre çinko bileşik miktarı değişir. Hafif asitli kirlenmemiş topraklarda toplam çinkonun %40 ile %60'ı organik bağlıdır. $pH > 7$ olduğunda çinkonun mangan oksit ve demir oksitleri artmaktadır. Kirlenmiş topraklarda ise çinkonun oksitlere bağlı miktarı %85'i civarına ulaşmaktadır.

Çinko endüstride kullanılan ağır metallerin başında gelmektedir. Paslanmaya karşı demirin galvanize edilmesi, çelik üretimi ve çeşitli alaşımlar çinko ile yapılır.

Arıtma çamuruyla, yerleşim yerlerinin çöplüklerinin kompostlarıyla ve bunun gibi balçıklarla da çinko birikimi olmaktadır. Bunların çinko içeriği 3000 mg/kg kuru maddenin altındadır. Endüstri bölgelerindeki arıtma çamurlarında çinko içeriği çok yüksek (10.000 mg/kg kuru ağırlık) olmaktadır. Yıllardan beri verilen atık sularla da toprağın çinko zenginleşmesi sağlanmaktadır.

Almanya arıtma çamuru yönetmeliğine göre çinko için toplam 300 mg Zn/kg'dır. Hafif asitten nötr aside kadar bu miktardan bir çinko zehirliliği beklenemez. $pH < 5-6$ olduğunda çinko çözünürlüğü ve alınabilirliği artması nedeniyle bu sınır değeri yüksektir. Bunun için bu sınır değer 150 mg/kg toprak miktarına düşürülmelidir.

Krom (Cr)

Krom elementi toprakta (zeminde) diğer metallerden farklı olarak az miktarda bulunmaktadır. Krom genellikle endüstride kalay (alloys), katalitik,

krom oksit ve krom tuzları için kullanılır. Krom tuzları temizlik solüsyonları ve boyalarda kullanılır. Rafineri atıklarında oldukça fazla miktarlarda bulunan bir ağır metaldir. Krom zehirlenmesi deri bozukluklarına yol açmaktadır. Krom İnorganik bir kimyasaldır. Zemin içinde taşınabilen ve en fazla çözünebilen bir metaldir. Kromun zararlı şekli kromat (CrO_4^{2-}) gibi kromun hexavalent veya dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) durumudur.

Kromun toprak içindeki kil minerallerine adsorbe edildiği ve çözünürlüğünün $\text{pH}>4$ olduğu koşullarda gerçekleştiği ve $\text{pH}=5.5$ civarında ise çökeldiği bilinmektedir. Maksimum krom miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 0.5-110 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 100 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 800 mg/kg, EPA değerlerine göre sızıntı suyu içerisinde 5 mg/l, EPA değerlerine içme suyunda 0.05 mg/l'dir. 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 kirlilik meydana getirilmektedir.

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 temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 2-200 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 85 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 600 mg/kg, EPA değerlerine göre sızıntı suyu içerisinde 5 mg/l, EPA değerlerine içme suyunda 0.05 mg/l'dir. 1991 yılında yayınlanan Resmi

Gazetede sudaki maksimum kurşun miktarı 1 mg/l olarak verilmiştir. İnorganik bir kimyasaldır.

İnsan ve hayvanda ciğer, böbrek ve özellikle kemik ve dişlerde birirmektedir. İnsanlarda gıda maddelerince ve solunum yoluyla alınabilir. Hemoglobinin sentezinde görev alan enzimleri engeller, anemi oluşur. Solunan kurşunun % 30'u ciğerde birikir.

Kurşunun çözünürlüğü, ortamın pH değeri, toplam kurşun içeriği, redoks koşulları ve diğer maddelerin durumu ile etkilenir. Kadmiyum, çinko ve nikelin aksine kurşun toprakta son derece immobil (hareketsiz) bir elementidir. pH değeri 5'den büyükse çok az çözünür. Kurşun, spesifik adsorbsiyon özelliğinden dolayı diğer tüm metallerden 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.

Nikel (Ni)

Nikel elementi zemin içindeki mevcudiyeti demir ve mangan hidroksitleri ve organik maddeler ile mümkündür. Nikel, bakır ve çinkodan farklıdır. Asit zeminler, zemin solüsyonu içindeki nikelin çözünebilirliğini artırır. Nikelin kanser yapıcı özelliği vardır. Topraklarda nikel oranı düşüktür. Fazla oranda nikel içeren topraklarda bitki zehirlenmeleri meydana gelir. Maksimum nikel miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 50 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 2-400 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 35 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 500 mg/kg, Japon değerlerine içme suyunda 3 mg/l'dir. 1991 yılında yayınlanan Resmi Gazetede sudaki maksimum nikel miktarı 0.2 mg/l olarak verilmiştir. .

Dünya nikel üretimi, 750.000 tondur. Çelik ve alaşım üretiminde, galvaniz ve elektronik endüstrilerinden atık ve atık sularla birikim gösterirler. Toprağın nikel ile havadan kirlenmesi ise, genelde kömür ve petrolün yanmasıyla ve motorlu araçlardan toprağa bulaşır.

Toplam metal miktarı yaş yakma yöntemi ile yapıldı. Numuneler 105°C’de etüvde 24 saat kurutuldu. 100 nolu (0.150 mm) elekten elenen numunelerden 1 gr alındı. 100 ml konsantre HNO₃ + Konsantre HCl (3:1) asit (ters kral suyu) ile iki saat 60°C’de yakıldı. Yaş yakma yöntemi de denilen bu işlem sonrasında soğumaya bırakılan asit karışımı gözenek çapı 0.2 mm olan selülöz nitrat kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Kurşun, bakır, krom, nikel ve çinko gibi metal miktarları Atomik Absorpsiyon (AA) cihazı ile belirlenmiştir. Sodyum ve Potasyum okumaları, Petracourt PFP1 Flame Photometer ile yapılmıştır. Uygulanan yöntem U.S. EPA Method 3050 metoduna uygun olarak belirlenmiştir.

5.5. Çevresel Şartlara Ait Özellikler

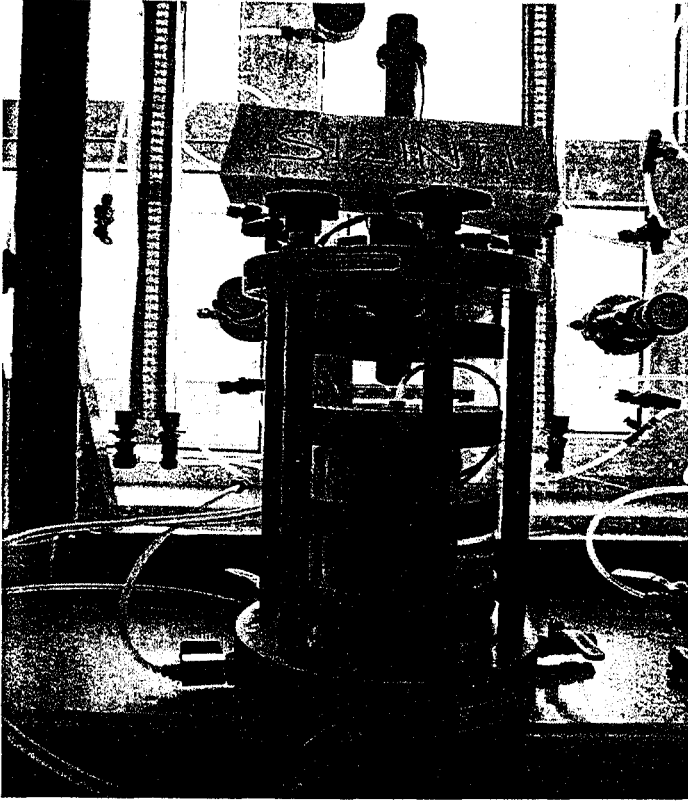
5.5.1. Sızıntı Deneyi

Atıklar, doğal çevrede yağmur ve kar sularına maruz kalmaktadır ve bu su ile ıslanarak kimyasal çözünmeye uğramaktadır. Kimyasal olarak kirlenen bu su zemin içerisinde sızarak kirlilik taşınmaktadır. İyi bir atık stabilizasyonunda sızıntı suyunun temizliği önemli bir kriterdir. Sızıntı suyunun kalitesi, kirliliğin sabitlendiğinin yani mikrokapsüllemenin gerçekleştirildiğinin göstergesi olmaktadır [20].

Optimum su muhtevasında hazırlanmış numunelerden üç eksenli deney şartlarında 5 gün süreyle, 20 psi’lik basınçla çöp suyu geçirilmiştir. Numuneler içinden geçirilen çöp suyu toplanarak, sızıntı suyu içindeki ağır metal miktarları, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri belirlenmiştir. Geçirimsizlik tabakasını oluşturan kil çöp suyundaki kirleticileri tutan bir malzemedir. Bu deney sonunda kilin kirleticileri tutabilme kapasiteleri belirlenir. Şekil 5.3 ‘de sızıntı deneyi sistemi verilmiştir.

5.5.2. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç

Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelere, üç eksenli deney şartlarında sızıntı deneyi yapıldıktan sonra serbest basınç deneyi yapılır.



Şekil 5.3. Sızıntı deney sistemi

Uygulanan kil tabakalarının tabii şartlar altındaki dayanımı hakkında fikir vermesi amacıyla yapılan bir deneydir. Çöp suyu içindeki metallerin numuneler üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak mukavemetin değişimi belirlenmektedir.

6. KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, Seramik endüstrisi atık su arıtma çamuru ve demir döküm endüstrisinin atık kumu, ilave malzeme olarak kireç, zeolit gibi malzemeler, sızıntı suyu için çöp suyu ve numune hazırlanmasında distile su kullanılmıştır.

6.1. Endüstriyel Atıklar

6.1.1. Atık Çamuru (Seramik Endüstrisi Atık Su Arıtma Çamuru)

Arıtma tesisi atıkları, atık su arıtma tesislerinin ızgaralarında, kum tutucularında ve çökeltme tanklarında biriken atıklardır. Atık su çamurları çok farklı nitelikte olabilir. Birincil arıtım (ön arıtım) çamurları atık suda bulunan ve kolayca çökebilen katı maddeleri içerebilir. Biyolojik çamurlar; aktif çamur damlatmalı filtre vb. çeşitli biyokimyasal arıtım yöntemlerinin fazla çamurlarıdır. Kimyasal çamur ise atık suya kirleticileri çöktürmek için ilave edilen kimyasal maddeler sonucu oluşan ve az çözünen kimyasal bileşikleri ve bu bileşiklerin çökerken sürükledikleri maddeleri içerir.

Seramik malzemeler, anorganik kökenli ve genellikle birden fazla sayıda doğal ve yapay ham maddenin sulu veya kuru karışımının çeşitli yöntemlerle şekillendirilmesi, gerektiğinde sırlanması, kurutulması ve pişirilmesi yoluyla üretilen sert ve dayanıklı maddelerdir . Çeşitli türdeki seramik ürünlerinin üretim süreci, üretilen ürünün özelliklerine bağlı olarak değişiklikler göstermekte ise de genel olarak [44].

- Sır bünye ham maddelerini hazırlama süreci (depolama, kuru ve yaş öğütme, pişirme, magnetik ayırma, homojenleştirme, karıştırma, eleme, spray drying veya filtre-kurutma-öğütme, vakumla çamurun havasını boşaltma, sulu çamur hazırlama vb.)
- Şekillendirme süreci (sulu yöntem (döküm ve pres döküm), yarı yaş yöntem (çömlekçi torna, şablon torna, döner taşı torna, vakum pres), kuru yöntem (pres, izostatik pres)),

- Kurutma süreci (açık veya kapalı alan kurutması, kamara kurutması, kanal kurutması, yuvarlak masa kurutması, salıncaklı kurutma, ışımaya yoluyla kurutma vb.), bisküvi pişirimi (gerektiğinde uygulamak üzere),
- Sırlama süreci (pişmemiş ham mamul üzerine veya pişmiş bisküvi mamul üzerine, daldırma, akıtma, püskürtme, elektrostatik, kuru sırlama, fırında sırlama yöntemleri ile),
- Dekorasyon süreci (gereken durumlarda, sır altına, sır üstüne veya sırlarla birlikte, fırça, elek, baskı, püskürtme, kağıt transfer, lastik damga, çıkartma yöntemleri ile),
- Pişirme süreci (direkt veya indirekt temaslı, açık hava, kamara, ring, tünel, zigzag ve hızlı pişirim fırınları ile) ve
- Su arıtımı ve gaz, toz ve buhar şeklindeki emisyonların azaltımına yönelik işlemler dizisini içine alan basamaklardan oluşmaktadır [44].

Seramik endüstrisi hali hazırda arıtma çamurlarını, belirli bir miktara ulaşana dek arıtma tesisi yanındaki bir depolama alanında bekletmekte ve daha sonra herhangi bir işleme tabi tutmadan belediye'nin göstermiş olduğu nihai depolama alanına sevk etmektedir. Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere tesis yetkilileri, arıtma tesisine gelmeden önce sırlama ünitesinden gelen atık suların büyük bir kısmını geri kazanmak amacıyla bir geri kazanım ünitesi inşa etmişlerdir. Çökeltme havuzlarından oluşan bu ünite, sırlama atık suları çöktürdükten sonra, sığın geri kazanımı ve sırlamada tekrar kullanımı söz konusu olmaktadır. Bu ünite, atık su arıtma tesisinin yükünü azaltırken, gerek atık su gerekse atık çamurda bulunabilecek ağır metal miktarını azaltmakta ve tesise bir ekonomik döngü sağlamaktadır [44].

6.1.1.1. Atık çamurun özellikleri

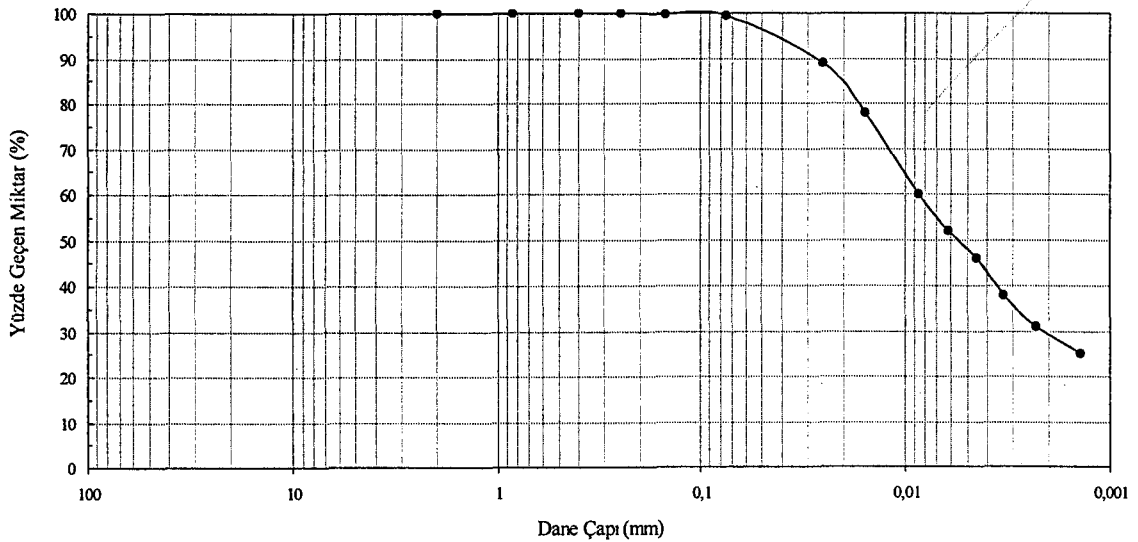
Atık çamura ait standart proktor eğrisi Şekil 6.2.'de gösterilmiş olup, atık çamurun optimum su muhtevası %31 bulunmuştur. Tabii su muhtevası %52 olup malzeme çamur halindedir. Atık çamurun spesifik gravitesi $G_s = 2,55 \text{ gr/cm}^3$, likit

limiti, $LL = \% 42$, plastik limiti, $PL = \%27$ olup atık çamurun sırlama işlemine tabi tutulması nedeniyle plastikliğinin düşük olduğu gözlenmiştir. Yapılan elek analizinden atık çamurun $\%4$ kum, $\%56$ silt ve $\%40$ kil olduğu bulunmuştur. Şekil 6.2.'de atık çamura ait standart proktor deney sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.1.'de atık çamurun indeks, mekanik deney sonuçları, Çizelge 6.2.'de fiziko kimyasal deney sonuçları, Şekil 6.1.'de granülometri eğrisi verilmiştir. Çizelge 6.3.'de sızıntı (leachate) deneyi sonunda toplanan sızıntı suyu içindeki toplam metal miktarı verilmiştir.

Çizelge 6.1. Atık Çamurun indeks, mekanik ve çevresel şartlara ait özellikleri

Malzeme	w_n	W_L	w_P	G_s	q_u^1	q_u^2	q_u^3	KP		Tane Çapı Dağılımı (%)		
								Cc	Cs	Kum	Silt	Kil
Atık Çamur	52	42	27	2,55	0,88	0,70	0,70	0,46	0,005	4	56	40

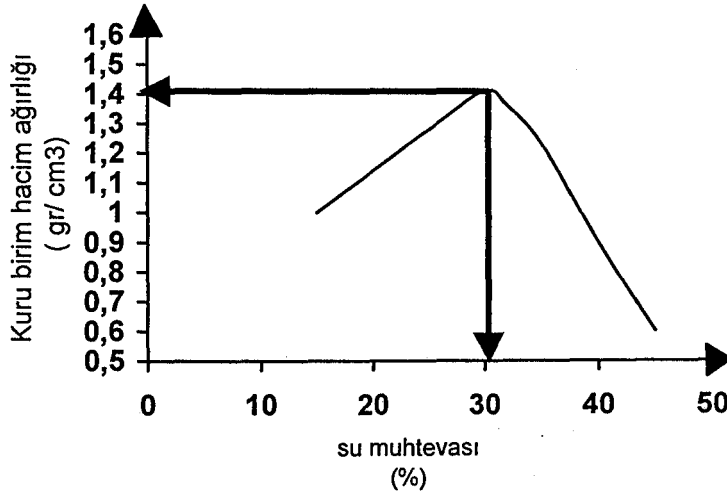
W_n : Tabi su muhtevası, W_L : Likit limit, W_P : Plastik limit, G_s : Spesifik Gravite,
 q_u^1 : Serbest basınç deney sonucu, q_u^2 : Permeabilite sonrası serbest basınç deney sonucu,
 q_u^3 : Sızıntı sonrası serbest basınç deney sonucu, KP: Konsolidasyon parametreleri.



Çizelge 6.2..Atık çamurun fiziko-kimyasal özellikleri

Malzeme	pH	KDK (meq/100g)	Eİ (mS/cm)	Ca (%)	OMM (%)	Ağır metal miktarları(mg/lt)				
						Pb	Cr	Zn	Ni	Cu
Atık Çamur	7,86	21	0,48	2,20	%1	122	61	12100	125	13

KDK:Kasyon Değişim Kapasitesi, Eİ:Elektriksel İletkenlik, Ca: Kalsiyum miktarı,OMM:Organik Madde Miktarı.



Şekil 6.2. Atık Çamurun Standart Proktor Eğrisi

Çizelge 6.3.Sızıntı suyunun ağır metal miktarları

ATIK ÇAMURU	PH	Eİ (mS/cm)	Ağır Metaller				
			Pb	Cr	Zn	Ni	Cu
1.gün	5,26	1,25	0,48	0,13	2,01	1,45	0,51
3.gün	8,37	1,29	0,19	0,13	0,86	0,10	0,19
5.gün	8,51	1,16	0,29	0,14	0,55	0,04	0,18

6.1.2. Kalıp kumu (Demir Döküm Atığı)

Kalıp kumu, Toprak Demir döküm Fabrikasının döküm bölümünde döküm işlemlerinden sonra geriye kalan endüstriyel bir atıktır. Atıklar işlemden geçtikten sonra asit havuzlarına getiriliyor ve burada kireçlendirilip sulandırılıyor. Daha sonra preslenip doğaya bırakılıyor. Kullanılan kalıp kumu ilave edildiğinde karışımın mukavemeti artıyor. Böylelikle atık çamurun mukavemetini arttırmak için belirli bir maliyetle alınan kum yerine kalıp kumu kullanılarak hem döküm atığı değerlendirilmiş oluyor hem de ekonomik bir çözüm bulunmuş oluyor.

Çizelge 6.4 'de kalıp kumun indeks deney sonuçları, Çizelge 6.5'de kalıp kumun fiziko-kimyasal deney sonuçları ve Şekil 6.4.'de granülometri eğrisi verilmiştir . Şekil 6.5'de inşaat sektöründe kullanılan kuma ait granülometri eğrisi verilmiştir.

Çizelge 6.4 'de kalıp kumun indeks özellikleri

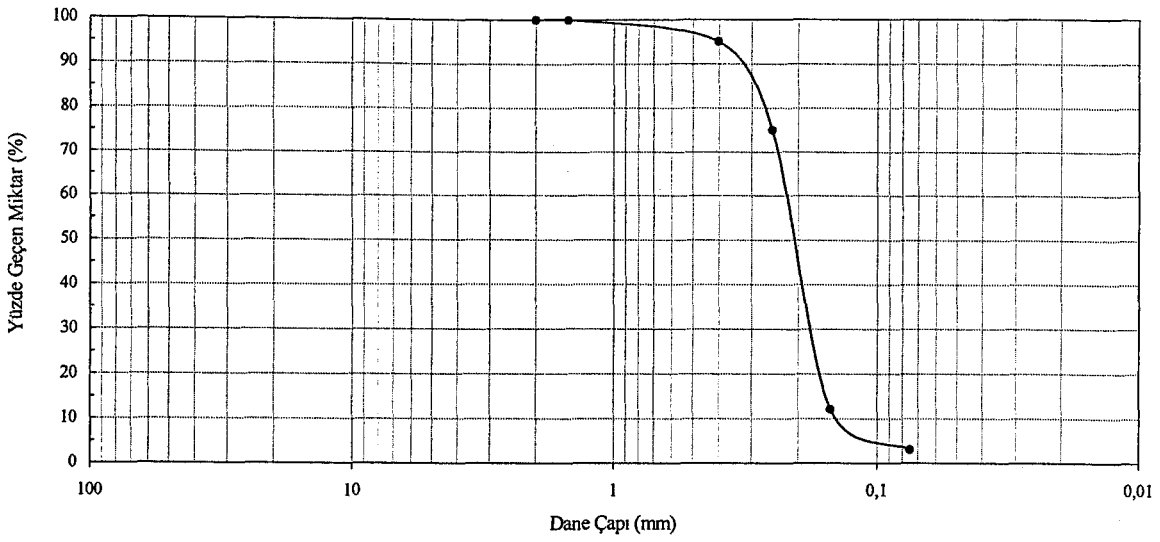
Malzeme	w _n (%)	w _L (%)	w _p (%)	G _s	Tane Çapı Dağılımı (%)		
					Kum	Silt	Kil
Kalıp Kum	9	-	-	2.44	97	3	-

W_n:Tabi su muhtevası, W_L:Likit limit, W_p:Plastik limit, G_s:Spesifik Gravite.

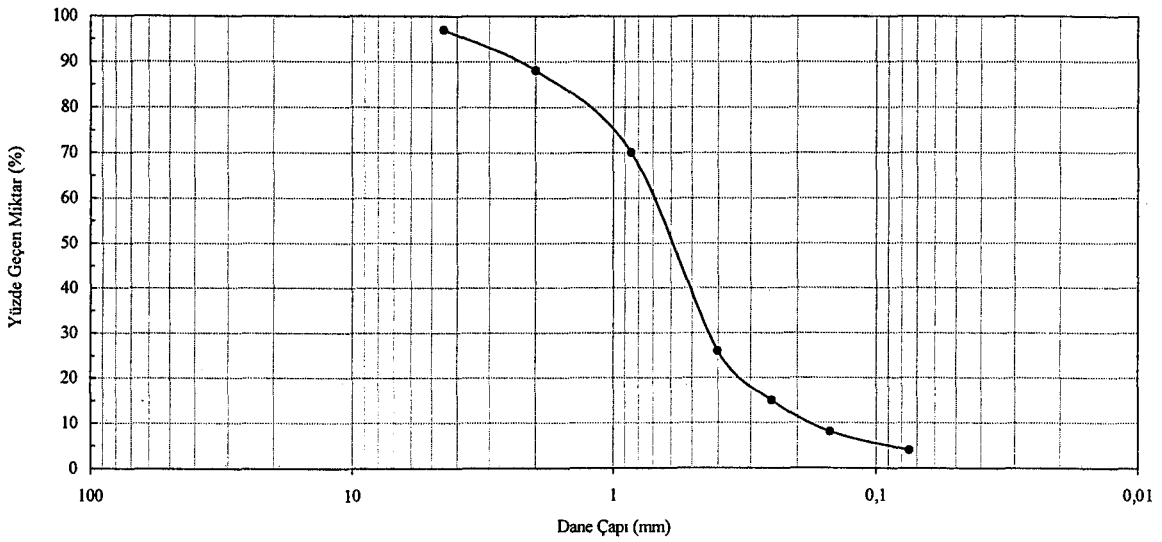
Çizelge 6.5'de kalıp kumun fiziko-kimyasal özellikleri

Malzeme	pH	KDK (meq/100g)	Eİ (mS/cm)	Ca (%)	OMM (%)	Ağır metal miktarları (mg/lt)				
						Pb	Cr	Zn	Ni	Cu
Kalıp Kum	9	43,48	1,02	0,7	1,50	72	19	44	60	12

KDK:Katyon Değişim Kapasitesi, Eİ:Elektriksel İletkenlik, Ca: Kalsiyum miktarı,OMM:Organik Madde Miktarı.



Şekil 6.4. Kalıp Kumuna ait granülometri eğrisi



Şekil 6.5. İnşaat kumuna ait granülometri eğrisi

6.2. İlave Malzemeler

Atık çamuru ve kalıp kumunu stabilize etmek için kireç ve zeolit gibi ilave malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelere ait özellikler aşağıda verilmiştir.

6.2.1. Kireç

Kireç, çoğunlukla kalsiyum oksit (CaO) olarak adlandırılır. Kalker veya kireçtaşının (CaCO₃) öğütülerek 1800°F (980°C)'de pişirilmesi ile elde edilir. Kalker, kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat (CaCO₃) bulunan tortul kayalara denir. Ayrıca mineraloji biliminde %90 kalsit minerali içeren kayalara da kalker denmektedir. Kalker saf halde iken az miktarda aragonit içerir. Kalsit ve aragonit teorik olarak %56 CaO, %44 CO₂ ihtiva eder. Kalkerin özgül ağırlığı 2.5-2.7 gr/cm³ arasındadır.

Bazik bir malzemedir ve silis, alümin ve demir oksit ile birleşme özelliği vardır. Kireç hidrolik bir bağlayıcı değildir, çünkü su altında sertleşmek için gerekli olan karbondioksiti bulamaz. Çeşitli tiplerde bulunduğu için literatürde farklı isimler altında toplanmıştır. Bu isimler ve bunların formülleri Çizelge 6.6.'de verilmiştir [21, 46].

Çizelge 6.6. Literatürde verilen kireç çeşitleri ve formülleri* .

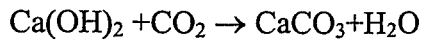
Kireç Cinsleri	Formülü
Sönmüş Kireç (Carpid-Slaked Lime, Calcium Hidroksit)	Ca(OH) ₂
Sönmemiş Kireç (Quicklime-Calcitic Quicklime)	CaO
Kalsiyum Karpit	CaC ₂
Kalsiyum Karbonat (Calcite)	CaCO ₃
*Martin et al., 1990; Pancoski et al., 1988; Zarlinki et al., 1991.	

Kireç ile stabilizasyon sonunda oluşan reaksiyonlardan birisi katyon değişimi ve flokulasyon-agloremasyon reaksiyonudur. Bu reaksiyonlara koloidal (<0.001 mm) reaksiyonlar da denir. Bu reaksiyon zemin, sıvı ve kireç arasında oluşan ilk reaksiyondur. Kirecin kuvvetli Ca⁺⁺ iyonları, kil yüzeyindeki diğer sodyum, magnezyum ve hidrojen gibi zayıf iyonlarla yer değiştirir ve kil taneleri yüzey uç atraksiyonu nedeni ile birbirini çeker. İyon alışverişinde kil taneleri

kalsiyum katyonlarını yüzeylerinde tutarlar. Kil yüzeyi üzerinde diğer iyonlarda bulunmaktadır, ancak kil yüzeyindeki kalsiyum katyonları hakim durumdadır. Bu iyon değişimi kil tanelerinin yüzeyindeki elektrik yüklerini değiştirmektedir. Kil tanelerinin birbirlerine yapışması, iyonların yük ve büyüklüğüne bağlıdır. Tek değerlikli iyonların yerini alan iki değerlikli kalsiyum iyonları, kil tanelerini birbirlerine çeker. Bu reaksiyon olurken killi toprağın plastisitesi düştüğü gibi, toprak daha gevşek bir hal alır. Özellikle kil içeriği yüksek topraklar siltimsi bir hal alırlar. Zemin yapısı daha irileşir, yani tane çapı artar ve koagülasyon meydana gelir. Likit limit azalır ve zemin daha az plastik hale gelir. Atıkların plastisitesini azaltarak plastikten katı hale geçmesini sağlar. Atığın çalışabilirliğini ve yük taşıma kapasitesini artırır. Atıklardaki sıvı miktarı azaltılıp kuru malzeme elde edilebilir. Bunlar ani reaksiyondur yani zaman gerektirmez ve genellikle birkaç gün içinde tamamlanır.

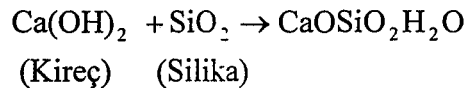
Oluşan diğer reaksiyon ise pozolanik veya bağlayıcı (çimentolaşma) reaksiyonudur. Zemin veya atık ile toprak kireç arasında meydana gelen en önemli reaksiyonlardan birisi de, kireçteki kalsiyum katyonu ile toprakta mevcut olan alüminyum ve silisyum minerallerinin reaksiyona girerek kalsiyum alüminat ve kalsiyum silikatlar meydana getirmesidir. Kil yüzeyindeki silikatlar Ca^{++} tarafından tutulur. Neticede camsı (jelatin) bir malzeme (CS-kalsiyum silikat veya CA-kalsiyum alüminatlar) oluşur. Bu kalsiyum silikatlar zamanla sertleşir ve suda erimeyen oldukça dayanımlı bir bağlayıcı yani çimentolaşmış bir karışım elde edilir. Meydana gelen bu bileşikler çimentonun hidrasyonundan meydana gelen bileşiklere benzer. Daha sonra kalsiyum silikatların (CS) su ile teması neticesinde CSH-kalsiyum silikat hidratlara dönüşür. Aynı şekilde, kalsiyum alüminatlar (CA), CAH-kalsiyum alüminat-hidratlara dönüşür. Bu reaksiyona da hidrasyon reaksiyonu denir. Pozolanın tipi ve miktarı ile kirecin aktivitesi çimentolaşmayı etkiler. Toprağın içerisinde arzu edilen miktarda pozolan mevcut değilse, suni pozolanlar ilave etmek sureti ile çimentolaşmanın oluşması sağlanır. Killerin bir kısmı (montmorillonit) esasen pozolanik olup, kireç ile çimentolaşma yapar. Kaolinit, illit ve klorit gibi killerde tabii pozolanik hassasiyet mevcut değildir.

Karbonatlaşma olayı ise kirecin havadan karbondioksit emerek, reaksiyona girmesidir. Karbondioksit, kalsiyum karbonat teşkil etmek üzere kalsiyum hidroksit ile aşağıdaki gibi reaksiyona girer.



Toprak ile kireç karışımında, kalsiyum karbonatın meydana gelmesi, çimentolaşma olayını etkilediği gibi, pozolanik reaksiyona mani olur. Toprak ve kireç karışımının normal mukavemet kazanmalarını önler. Bu nedenle, sönmüş kirecin hava ile teması önlenmeli ve hemen kullanılmaya çalışılmalıdır.

Atıklardaki oil pozolanik reaksiyona engel olmaz. Bu reaksiyon zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Pozolanik reaksiyon, atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmekte ve atığı çalışabilir hale getirmektedir [36]. Zemin ile kireç arasındaki pozolanik reaksiyon, kireç ve zemindeki silika veya alumina arasında olmaktadır. Bütün bunlar zaman alıcı reaksiyonlardır. Pozolanik reaksiyon, kil içindeki silika ile kireçteki kalsiyum arasında aşağıdaki gibi meydana gelir.



Genel olarak kireç ile stabilizasyon sonunda meydana gelen reaksiyonlar ve onların fiziko-kimyasal değişimleri şu şekilde özetlenebilir. Kimyasal bağ ile kirletici içindeki oil ve ağır metal gibi zararlı madde miktarında azalma olur. Ortamdaki sıvı miktarını azaltır ve böylece kil tanesi etrafındaki dağınık çift tabakanın (diffuse double layer) kalınlığını azaltır. Karışımın serbest basınç mukavemetini ve donma/çözölmeye karşı mukavemetini artırır. Ancak zemin cinsine bağlı olarak değişen belirli bir kireç miktarından sonra mukavemet artışı olmaz. pH değerini yükselterek mikroorganizmaların gelişimini engeller ve atık bozularak çevreye karşı kötü koku oluşturmaz. Permeabilite azalır. Hidrokarbonların çözünürlüğü oldukça azalır (sızıntı suyu temizdir). Şişme gösteren zeminlere Ca^{++} ilavesi likit limiti düşürdüğünden şişme potansiyeli ve plastisite azalır. Adsorbsiyon özelliği kaybolur ve hacim artar [49]. Atıktaki oil'i bünyesine alarak etkisiz hale getirmektedir. Zemin+atık+kireç arasında katyon değişimi, flokulasyon ve aglomerasyon reaksiyonları oluşur. Zemin plastikten

katı hale geçer. Daha gözenekli bir ortam meydana gelir. Zeminde Ca^{++} ilavesinin artırılması, kuru birim hacim ağırlığını azaltırken optimum su muhtevasını artırır. Topraktaki Ca^{++} fazlalığı, mikrobiyolojik faaliyetleri hızlandırdığından, organik maddelerin hızlı ayrışmasına neden olur. Bu şekilde atıklar iyileştirilmekte ve aynı zamanda, yol malzemesi olarak kullanılması sağlanmaktadır. Toprağa $Ca(OH)_2$ ilave edildiğinde değişebilir alüminyumun H^+ iyonları ile şu şekilde bir değişim meydana gelir [36, 47].

(Değişebilir) $_H Al + 2Ca(OH)_2 \rightarrow$ Değişebilir $Ca_2 + Al(OH)_3 + H_2O$ ve pH yükselir, değişebilir Al ve Mn ise sifıra kadar inebilir.

Kireç ilave etmekle, likit limitte azalma, plastik limitte artış meydana gelir. İlave edilen kireç miktarının artırılması ile likit limitin azalması bazı topraklarda görülmeyebilir. Çok plastik topraklara kireç ilavesi, likit limit azaltır, az plastik veya plastik olmayan topraklarda ise likit limit artmaktadır. Killi topraklara kireç ilave edilirse hacimde azalma meydana gelmektedir. İlave edilen kirecin tesiri ile büzülme limiti artmakta ve büzülme oranı azalmaktadır.

Kireç ilave edilen topraklarda mukavemeti değerlendirmek için serbest basınç, üç eksenli basınç mukavemeti deneyleri yapılmaktadır. İlave edilen kireç miktarı arttıkça, serbest basınç değeri artmaktadır. Ancak optimum kireç miktarı, toprak ağırlığının %8-%10'u arasında olmaktadır. Toprak ile kireç karışımlarının zaman ile mukavemetleri artmaktadır. Ve bir daha toprak eski haline dönememektedir. Bu nedenle uzun ömürlü sayılmaktadır. Plastisite indisinde çok az azalma olmasına karşı mukavemette bir azalma olmamaktadır. İlave edilen kireç miktarının artmasına paralel olarak karışımın arazi rutubeti de artmaktadır. Killi toprakların şişme basıncı yüksektir. Kireç ilavesi ile şişme basıncında önemli azalmalar olmaktadır. Montmorillonit kiline %8 kireç ilavesi ile şişme basıncı, 7 psi'dan 1 psi'ya düşmüştür [42].

Toprak ve kireç karışımlarındaki fiziko-kimyasal olaylar sonucu karbonatlaşma ve topaklanma (flokülasyon) fiziksel değişimler de görülmektedir [42, 20, 36].

Deneylerde kullanılan kirecin fiziko-kimyasal deney sonuçları Tablo 6.5.'de verilmiştir. Kirecin pH değeri 12,60 olarak, elektriksel iletkenliği 6,29 mS/cm

olarak belirlenmiştir. Katyon değişim kapasitesi 16,43 meq/100gr olarak belirlenmiştir. Organik madde miktarı %24,38 bulunmuştur.

6.2.2. Zeolit

6.2.2.1. Zeolit tarihçesi

İlk zeolit minerali 1756 yılında İsveç’li mineralog Baron Cronstedt tarafından bulunmuştur. Bu kristaller ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyun köpürmesinden dolayı Yunanca “Kaynayan Taş” anlamına gelen zeolit adını almıştır.

Zeolitlere, ikiyüzyıl boyunca yalnız volkanik kayaların kovuklarında yer alan aksesuar mineral olarak bakılmış ve kristal analizi yapılmamıştır. Kristal yapıları X-ışınları kırınımı, IR absorpsiyonu, NMR, ESR gibi analiz yöntemlerinin gelişmesi sonucu yapılmıştır. Union Carbide Corporation jeologları tarafından 1958 yılında ticari olarak kullanılabilir tortul kayalar içinde ilk doğal zeolit bulunmuştur [18].

Zeolitler 1932 yılında McBain tarafından molekülleri büyüklüklerine göre ayırma özellikleri nedeniyle “Molekül Elek” olarak adlandırılmıştır.

6.2.2.2. Zeolitlerin kimyasal bileşimi ve yapısı

Zeolitler, alkali ve toprak alkali elementlerinin kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatları olarak tanımlanır. Adsorpsiyon özellikleri ilginç olan bu kristallerin genel yapısal formülleri; $M_{x/n}.Al_2O_3.xSiO_2.yH_2O$ şeklindedir. Burada M, n değerlikli bir katyon (Na^+ , K^+ , Ca^{++} vb.)’dur. Mol sayılarını gösteren x ve y ise zeolit türüne göre değişir. Herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi, SiO_4 yada AlO_4 dörtyüzlüsüdür. Bu dörtyüzlünün merkezinde, oksijenden çok daha küçük olan silisyum yada alüminyum iyonu ve dört köşesinde de oksijen iyonları bulunur. Silisyum iyonu +4 değerlikli; alüminyum iyonu +3 değerlikli ve oksijen iyonu -2 değerlikli olduğundan, bir silisyum iyonu kendini çevreleyen dört oksijen iyonunun ancak -4 değerliliğini karşılar. Böylece her oksijen iyonunun -1 değerliliği kalır ve başka bir silisyum iyonu (ya da alüminyum iyonu) ile birleşebilir. Bu şekilde dörtyüzlülerin uzayda zincirleme

birleşmelerinden, zeolitin bir bal peteğine benzer gözenek ve kanallar içeren kristal yapısı oluşur. Silisyum iyonunun yerine alüminyum iyonunun alması sonucu dörtyüzlülerin elektrik yükünün dengelenmesi için ek bir artı yüke ihtiyaç duyulur. Bu ek yük, değişebilir katyonlarca (Na^+ , K^+ , Ca^{++}) sağlanır.

Zeolitlerin gözenek boyutları kristal yapılarına ve bir dereceye kadar da içerdikleri katyonlara bağlıdır. Çoğu zeolitte kristal yapı Si-O-Al atomlarının meydana getirdiği halkalarla bağlanmış gözeneklerden oluşur. Bu halkaların oluşturduğu geçit pencere olarak adlandırılır ve pencere boyutu halkalardaki atom sayısı ile orantılıdır. Pencere 4 ile 12 arasında oksijen iyonu (ve eşit sayıda alüminyum yada silisyum iyonu) içerir. Zeolitlerin kovuk sistemleri, pencerelerle birbirine bağlanmış gözenekler yerine bir kanallar sistemi ile daha iyi tanımlanabilir. Bu durumda kanalların pencere boyutları yine pencereleri oluşturan halkaların eleman sayısına bağlıdır. Zeolitlerin boşluk sistemleri bir, iki ya da üç boyutta olabilir [48].

Zeolitlerin benzer yapıdaki diğer mineral gruplarından ayıran en önemli özelliklerden birisi de yapı içindeki kanallarda su moleküllerinin bulunmasıdır. Yapıda bu su moleküllerinin yer alabileceği birkaç boşluk vardır. Bu boşluklarda Na^+ , K^+ ve Ca^{++} su molekülleri ile çevrilir ve su molekülleri zayıf bağlarla hem artı yüklü katyonlara hem de silikat yapıya bağlıdır. Genellikle kalsiyumlu zeolitler diğerlerinden daha fazla su içerirler. Şabazit, höylendit ve stilbit yapısı içindeki su molekülleri potasyumdan daha çok kalsiyum katyonu ile bağlantılıdır [48].

Zeolitler ısıtıldıklarında, su moleküllerinin yapıdan değişiklik yapmadan, birçok mineralde görülen aksine, belirli sıcaklıklarda, kesikli olarak değil de, sürekli şekilde yapıdan ayrılır. Suyun yapıdan uzaklaşması sırasında, katyonlardan bazıları da dışarı atılırlar. Yapıda elektrik dengesini korumak için bazı katyonlar kanalların çeperlerinde veya kanal yapılarındaki boşluklar içinde yer alırlar ve diğer katyonlarla her zaman yer değiştirebilir. Su moleküllerinin ve katyonlardan bazılarının atılması kanallardaki tıkanıklıkların giderilmesini sağlar. Ancak tutulan katyonların özellikleri kanal açıklığını büyük ölçüde etkiler.

Zeolitler kristal yapının belirlediği homojen bir pencereye sahip olduklarından, bir karışım içinde sadece bu pencereden geçebilecek büyüklükteki

moleküller adsorplanır, daha büyük boyutlu moleküllü zeolit dışında kalırlar. Bu çalışmada kullanılan zeolit Türkiye'nin en önemli zeolit yataklarından biri olan Gördes-Balıkesir yöresinden temin edildi ve zeolit 100 nolu elekten elenerek kullanılmıştır. Zeolit'in indeks deney sonuçları Tablo 6.5 'de verilmiştir .

Zeolit'in fiziko-kimyasal deney sonuçları Çizelge 6.5.'de verilmiştir. Zeolit'in pH değeri 8,24, elektriksel iletkenlik değeri 0,44 mS/cm bulunmuştur. Sodyum doyurma metodu ile yapılan katyon değişim kapasitesi değeri 165meq/100gr olarak belirlenmiştir. Kalıp kumun ağır metal miktarları ; kurşun (Pb) 30mg/kg , krom (Cr) 0,9 mg/kg, çinko (Zn) 25 mg/kg , nikel (Ni) 3mg/kg ve bakır (Cu) 5 mg/kg olarak bulunmuştur. Zeolitin organik madde miktarı %0,25 ve kalsiyum miktarı % 2,94 olarak belirlenmiştir.

6.3. Sızıntı Suyu

6.3.1. Çöp suyu

Katı atık depolama alanlarında, katı atık yüzeylerinden ve içinden sızarak oluşan sudur. Depolama alanlarında yağış sebebiyle katı atık kütlelerin yüzeyinden, çeşitli kaynaklardan veya atığın kendisinden gelen sular fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerle yüklü sızıntı sularını oluşturur. Sızıntı suları oldukça yüksek kirlilik konsantrasyonuna sahiptir. Rengi koyu kahve veya siyaha yakındır. Yüksek miktarda organik madde içerir ve alıcı ortama deşarjları sakıncalıdır.

Çöp suyuna ait özellikler Çizelge 6.5 'de verilmiştir. Çöp suyunun pH değeri 7,36 elektriksel iletkenlik değeri 1,29 mS/cm bulunmuştur. Çöp suyunun ağır metal miktarları ; kurşun (Pb) 0,02mg/kg , krom (Cr) 1,92 mg/kg, çinko (Zn) mg/kg , nikel (Ni) 0,02mg/kg ve bakır (Cu) 5 mg/kg olarak bulunmuştur. Şekil 6.6. 'da kullanılan malzemelerin ağır metal miktarları verilmiştir.

6.3.2. Distile suyu

Bu çalışmada, karışımlar için kullanılan distile suyun özellikleri Çizelge 6.5.' de verilmiştir. Distile suyu, çeşme suyunun damıtılmasıyla laboratuarda elde edilmiştir.

Çizelge 6.7.İlave Malzemelerin indeks ve fiziko-kimyasal özellikleri

Malzeme	pH	KDK (meq/100g)	Eİ (mS/cm)	Ca (%)	OMM (%)	Ağır metal miktarları (mg/lt)					Tane Çapı Dağılımı (%)		
						Pb	Cr	Zn	Ni	Cu	Kum	Silt	Kil
Kireç	12,60	16,43	6,29	100	1	-	-	-	-	-	5	75	20
Zeolit	8,23	165	0,44	2,94	0,25	30	0,9	25	3	5	100 nolu elek altı		
Kalıp Kumu	9	43,48	1,02	0,7	1,50	72	19	44	60	12	97	3	-
Çöp Suyu	7,36	-	1,29	-	-	0,02	1,92	0,42	0,02	0,03	-	-	-
Distile Su	7	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

KDK:Katyon Değişim Kapasitesi, Eİ:Elektriksel İletkenlik, Ca: Kalsiyum miktarı,OMM:Organik Madde Miktarı.

7. KARIŞIMLARIN LABORATUARDA STABİLİZASYONU

7.1. Karışımlar ve Oranları

Bu çalışmada, Eczacıbaşı Fabrikasından temin edilen atık çamuru ve Toprak Demirdöküm Fabrikasından temin edilen kalıp kumu kullanılmıştır. Bu atıklar, kireç, zeolit gibi ilave malzemelerle belirli oranlarda karıştırılmıştır. Atık çamuru ve kalıp kumu atıkları belirli oranlarda karıştırılarak tek ilave malzemeli karışım olarak atık çamuru + kalıp kumu (%20) karışımı, kireç ve zeolit ilavesi ile iki ilave malzemeli karışımlar olarak da atık çamuru + kalıp kumu (%20) +kireç (%10) ve atık çamuru + kalıp kumu (%20) + zeolit (%10) karışımı oluşturulmuştur. Tek ve iki ilave malzemeli karışımlar atık çamurun ağırlığının yüzdesine göre belirli oranda homojen olarak karıştırılmıştır.

7.1.1. Tek ve iki ilave malzemeli karışımlar

Tek ilave malzemeli karışımlarda kum ve kalıp kumu kullanılmıştır. Atık çamuru ile bu tek ilave malzemeli karışımlar atık çamurun ağırlığının yüzdesine göre belirli oranda karıştırılmıştır. Kullanılan malzemelerin atık üzerindeki fiziksel, kimyasal ve geoteknik etkilerinin gözlenebilmesi için, %31 su muhtevasına sahip atık çamurunun ağırlıkça %20, %40 ve %80'u oranlarında tekli karışımlar uygulanmıştır. Çizelge 7.1.'de tek ilave malzemeli karışım oranlarına ait serbest basınç mukavemeti ve permeabilite katsayısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.1. Tek ilave malzemeli numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri ve permeabilite katsayısı

Karışımlar	Serbest basınç değeri (kg/cm^2) ve Permeabilite katsayısı değeri (cm/sn)					
	%20		%40		%80	
	q_u (kg/cm^2)	k (cm/sn)	q_u (kg/cm^2)	k (cm/sn)	q_u (kg/cm^2)	k (cm/sn)
Atık Çamuru + İnşaatKumu	2,06	$2 \cdot 10^{-4}$	2,08	$1 \cdot 10^{-5}$	2,28	$2 \cdot 10^{-4}$
Atık Çamuru + Kalıp Kumu	2,20	$2,60 \cdot 10^{-7}$	2,27	$5 \cdot 10^{-7}$	2,60	$5 \cdot 10^{-6}$

Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre, kalıp kumu ile hazırlanan numunelerin mukavemeti, inşaat sektöründe kullanılan kum ile hazırlanan numunelerin mukavemetinden daha yüksek değerler vermiştir. Böylelikle hem kalıp kumu değerlendirilmiş olmakta ve hem de kalıp kumun satın alma maliyeti olmadığından daha ekonomik olmaktadır. Çizelge 7.1.'de en yüksek mukavemeti %80 oranında kalıp kumu ilavesi vermiştir. Fakat, %20 oranında ilave edilen kalıp kumu ile yapılan karışımın permeabilitesi daha düşüktür. Dolayısıyla, tek ilave malzemeli karışım oranı olarak %20 kalıp kumu seçilmiştir.

Stabilizasyon çalışmalarında görüldüğü gibi, numunelerin mukavemeti kireç ilavesiyle artırılabilir. Ayrıca adsorbsiyon özelliğinin kuvvetli olduğu bilinen zeolitin, ilavesiyle belirli oranlarda numunelerin katyon değişim kapasitesini artırılabilir. Çizelge 7.2.'de iki ilaveli malzeme karışım oranları ve bu oranlardaki serbest basınç mukavemet değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.2. İlave malzemelerin oranlarına göre serbest basınç deneyi sonuçları

Karışımlar	Serbest basınç mukavemet değerleri (kg/cm ²)		
	%10	%20	%40
Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Kireç	3,86	3,90	Numune dağıldı
Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Zeolit	2,14	2,10	2,00

Serbest basınç deneyi sonucuna göre, kireç ilaveli numunenin mukavemeti genelde zeolit ilaveli numunenin mukavemetinden daha fazladır. Bu çalışmada, kireç ve zeolit yüzdeleri %10 olarak seçilmiştir.

7.2. Karışımlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları

7.2.1. İndeks Deney Sonuçları

Numunelerin, su muhtevası, tane özgül ağırlığı, tane çapı dağılımı ve kıvam limitleri değerlerini belirlemek için indeks deneyleri yapılmıştır.

7.2.1.1. Su muhtevası

Laboratuarda yapılan deneyler sonucunda, stabilize edilmiş atık çamuru üzerinde 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.

Atık çamuruna ilave edilen kalıp kumu ölçülen taze su muhtevasını azaltmıştır. Çizelge 7.3.’de karışımların ölçülen su muhtevası değerleri, tek ve iki ilave malzemeli karışımlar için verilmiştir. Atık çamuru+kalıp kumu(%20) karışımının su muhtevası %27 olarak belirlenmiştir. Kireç ve zeolit ilavesi ile karışımların su muhtevaları azalmıştır.

7.2.1.2. Tane özgül ağırlığı

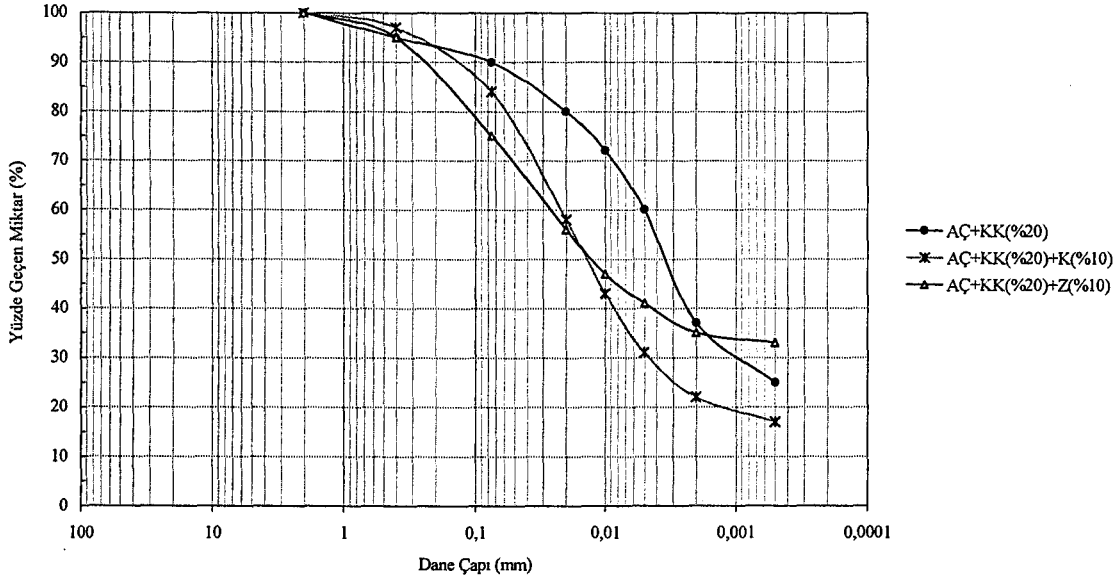
Deneylerde tane özgül ağırlığı ASTM D854-83 (1985) belirtilen metoda uygun olarak belirlenmiştir. Çizelge 7.3.’de karışımların tane özgül ağırlığı verilmiştir. Atık çamuru+kalıp kumu(%20) karışımına kireç ve zeolit ilavesi, spesifik graviteyi arttırmıştır.

7.2.1.3. Tane Çapı Dağılımı

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

Atık çamuru+kalıp kumu(%20) karışımının tane çapı dağılımı %10 kum %53 silt %37 kil içermektedir. Kireç ve zeolit ilaveli karışımların tane çapı dağılımı sırasıyla, atık çamuru+kalıp kumu(%20)+kireç(%10) karışımı %16 kum %62 silt ve %22 kil ve atık

çamuru+kalıp kumu(%20)+zeolit(%10) karışımı %25 kum %40 silt %35 kil içermektedir. Şekil 7.1.'de tek ilave ve iki ilave malzemeli karışımların granülometri eğrisi ve Çizelge 7.3.'de karışımların tane çapı dağılımı verilmiştir.



Şekil 7.1. İlave malzemelere göre granülometri eğrileri

7.2.1.4. Atterberg kıvam limitleri

Stabilizasyon numunelerinin likit limit ve plastik limitleri ASTM D4318-84 (1985) belirtilen metoda uygun olarak belirlenmiştir. Çizelge 7.3.'de karışımların kıvam limitleri verilmiştir.

Atık çamuru+kalıp kumu(%20) karışımına kireç ve zeolit ilavesi ile likit limitte azalma, plastik limitte artış meydana gelmiştir. Bunun nedeni kireç ilavesi ile tane çapının artması ve aglomerasyon meydana gelmesidir. Karışımlardaki likit limit değerinin düşmesi, karışımların mukavemeti hakkında fikir vermektedir. Çünkü, ince taneli yapı mukavemeti azaltmaktadır.

Çizelge 7.3. Karışımların indeks özellikleri

Karışımlar	G _s	W _n (%)	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)	Tane Çapı Dağılımı		
						Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
AÇ+KK(%20)	2,58	27,8	42	33	9	25	23	52
AÇ+KK(%20)+K(%10)	2,68	27,2	40	38	2	25	25	50
AÇ+KK(%20)+Z(%10)	2,75	26,5	40	37	3	25	30	45

W_n : Tabi su muhtevası, W_L:Likit limit, W_P :Plastik limit, I_P. Plastisite indisi, G_s:Spesifik Gravite,
AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit.

7.2.2. Mekanik deney sonuçları

Numuneler (karışımlar) üzerinde, serbest basınç mukavemeti, permeabilite katsayısı, permeabilite sonrası serbest basınç mukavemeti ve sızıntı sonrası serbest basınç mukavemeti gibi mekanik deneyler yapılmıştır.

7.2.2.1. Serbest basınç mukavemeti

Karışımların serbest basınç mukavemeti ASTM D2166-66 (1979) belirtilen metoda uygun olarak belirlenmiştir. Belirli oranlarda hazırlanan numuneler, naylon poşetler içinde 7 ve 28 günlük kürlere bırakıldı. Her bir kür bitiminde numuneler kırılarak serbest basınç mukavemetleri bulunmuştur. Böylece, çimentolaşma ve pozolanik reaksiyonların zamanla günlük değişimi belirlenmiştir. Çizelge 7.4.'de karışımların serbest basınç mukavemet değerleri verilmiştir.

Laboratuarda serbest basınç mukavemet değerleri zamana bağımlı 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. Serbest basınç mukavemet değerleri 28 günlük kürde bekletilen numunelerde daha yüksek değerdedir. Bunun nedeni karışım içindeki reaksiyonların 28 gün içinde tamamlanmış olmasıdır. Kireç ilavesi aglomerasyon-flokulasyon yapısı oluşturmaktadır. Atık çamuru içindeki Al ve Si mineralleri Ca tarafından tutulur ve zamanla suda erimeyen oldukça dayanımlı bir bağlayıcı yani çimentolaşmış bir karışım elde edilir. Dolayısıyla, kireç ilaveli karışımların mukavemetleri daha yüksektir. Zeolit ilaveli karışımın serbest basınç mukavemeti atık çamuru+kalıp kumu(%20)' ye göre yüksek değerde fakat kireç ilaveli malzemeye göre daha düşük değerdedir. Bunun nedeni ise zeolitin yapısında Al ve Si minerallerinin bulunmasıdır. Atık çamur içinde bulunan Al ve Si mineralleri ve zeolitin yapısındaki Al ve Si minerallerinin fazlalığı yani, Al ve Si doygunluğu nedeniyle zeolit ilaveli karışımın serbest basınç mukavemetini azaltmıştır.

7.2.2.2. Permeabilite katsayısı

Laboratuarda yapılan permeabilite deneyi, üç eksenli deney sisteminde, 20 psi sabit hücre basıncı altında yapılmıştır. Hidrolik yük 15 psi, ters basınç ise 5 psi olarak uygulanmıştır. Numune içerisine giren ve çıkan su seviyesi eşitlendiğinde numunelerin tamamen suya doymun hale getirildiği kabul edilerek permeabilite katsayısı belirlenmiştir. Yapılan deney, U.S. EPA Method 9100 (1986)'da belirtilen deney yöntemine uygundur. Çizelge 7.4.'de karışımların, permeabilite katsayısı verilmiştir.

Permeabilite deneyi sonucunda taze (0), 7 ve 28 günlük karışımlardan, en düşük permeabilite değerini zeolit ve kireç ilaveli karışım vermiştir. Bunun nedeni zeolit yüksek kation değişim kapasitesine sahip olması, kirecin ise pozolanik reaksiyon sonucu aglomerasyon bir yapı oluşturması nedeniyle permeabilite katsayısı düşük olarak belirlenmiştir. Karışımlar, düşük permeabilitelerinden dolayı kirletici sıvıların hareketini büyük ölçüde engellemektedir.

7.2.2.3. Permeabilite sonrası serbest basınç mukavemeti

Kil tabakalarının tabii şartlar altındaki davranışı hakkında fikir edinmek amacıyla, optimum su muhtevasında sıkıştırılan numuneler üç eksenli deney şartlarında yapılan permeabilite deneyi sonrası serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Permeabilite sonrası yapılan serbest basınç mukavemet değeri, serbest basınç mukavemet değerine göre düşük değerdedir. Permeabilite sonrası yapılan serbest basınç deneyi sonucu en yüksek mukavemet değerini kireç ilaveli karışım vermiştir.

Çizelge 7.4. Serbest basınç ve permeabilite katsayısı değerleri

	Taze numuneler				7 günlük numuneler				28 günlük numuneler			
	q_u^1 (kg/cm ²)	q_u^2 (kg/cm ²)	q_u^3 (kg/cm ²)	k (cm/sn) $\times 10^{-7}$	q_u^1 (kg/cm ²)	q_u^2 (kg/cm ²)	q_u^3 (kg/cm ²)	k (cm/sn) $\times 10^{-7}$	q_u^1 (kg/cm ²)	q_u^2 (kg/cm ²)	q_u^3 (kg/cm ²)	k (cm/sn) $\times 10^{-8}$
AÇ+KK(%20)	2,14	0,66	0,31	2,60	2,44	0,78	1,76	5	3,30	1,35	1,13	5
AÇ+KK(%20)+K(%10)	3,98	0,85	0,70	1,19	4,06	0,95	1,10	2	4,20	1,09	2,00	2,1
AÇ+KK(%20)+Z(%10)	2,30	0,55	0,44	3,90	2,36	0,59	0,62	0,42	2,99	0,68	0,65	8,8

q_u^1 : Serbest basınç deney sonucu, q_u^2 : Permeabilite sonrası serbest basınç deney sonucu,
 q_u^3 : Sızıntı sonrası serbest basınç deney sonucu, k: permeabilite katsayısı,
AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit.

7.2.3. Fiziko – Kimyasal Özellikler

Numunelerin, pH, elektriksel iletkenlik, katyon değişim kapasitesi ve toplam ağır metal miktarı gibi fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

7.2.3.1. pH

U.S. EPA Method 9045 (1986) metodu ile belirlenen pH değerleri, tek ve iki ilave malzemeli karışımlar için Çizelge 7.5. 'de verilmiştir.

Atık çamuru+kalıp kumu(%20) karışımına, kirecin pH değerinin yüksek olması nedeniyle kireç ilavesi pH değerini artırırken, zeolitin yapısında bulunan katyonlar nedeniyle zeolit ilavesi pH değerini azaltmıştır. Zeminin pH değeri metal miktarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH değeri genellikle kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6 ile 8 arasında olmalıdır.

7.2.3.2. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

U.S. EPA Method 9081 ile yapılan katyon değişim kapasitesi değerleri tek ve iki ilaveli karışımlar için Çizelge 7.5. 'de verilmiştir.

Kullanılan ilave malzemelerin sahip olduğu katyon değişim kapasitesi karışımdaki katyon değişim kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Karışımların katyon değişim kapasiteleri ilave malzemelere göre değişmektedir. Kireç ilavesi katyon değişim kapasitesini azaltırken, zeolit ilavesi katyon değişim kapasitesini arttırmıştır. Kireç, aglomera yapı oluştururken atık çamur ve kalıp kumu karışımını kapsüllemektedir. Bu nedenle atık çamuru+kalıp kumu(%20) karışımın sıvıyla temasını kesmektedir. Zeolitin ise katyon değişim kapasitesi yüksektir ve bu nedenle zeolit ilaveli karışımın katyon değişim kapasitesi yüksektir. Karışımların katyon değişim kapasitesi ne kadar yüksek değerde ise ağır metalleri tutma kapasitesi de o kadar yüksektir.

7.2.3.3. Elektriksel iletkenlik

Wilcox (1946) ve Karakouzian, et al (1996) tarafından verilen metotlara uygun olarak belirlenen elektriksel iletkenlik değerleri tek ve iki ilaveli karışımlar için Çizelge 7.5. 'de verilmiştir.

Elektriksel iletkenlik deneyi sonucu, kireç ilavesi elektriksel iletkenliği arttırırken zeolit ilavesi elektriksel iletkenliği azaltmıştır. Zemindeki tuz oranı elektriksel iletkenlik ile belirlenir. Elektriksel iletkenlik değeri 4 miliSiemens (4000 mikroSimens/cm) değerinden fazla ise zemin tuzludur.

7.2.3.4. Organik madde miktarı

Organik madde miktarı, Modifiye Walkley – Black yöntemine uygun olarak belirlenmiştir. Tek ve iki ilaveli karışımlar için organik madde miktarı değeri izelge 7.5.'de verilmiştir.

Organik madde miktarı, kireç ve zeolit ilavesiyle azalmıştır. Organik madde miktarı, su muhtevasının iyi bir göstergesidir. Zemin içindeki organik madde miktarı azaldıkça su muhtevası da azalmaktadır.

7.2.3.5. Toplam ağır metal miktarı

Toplam metal miktarları, U.S. EPA Method 3050 (1986) metoduna uygun olarak belirlenmiştir. Çizelge 7.5.' de tek ve iki ilave malzemeli karışımların toplam metal miktarları verilmiştir.

Toplam metal miktarı yaş yakma yöntemi ile yapıldı (Bernas, 1968). Numuneler 105°C'de etüvde 24 saat kurutuldu. 100 nolu (0.150 mm) elekten elenen numunelerden 10 gr alındı. 100 ml konsantre HNO₃ + Konsantre HCl (3:1) asit (ters kral suyu) ile iki saat 60°C'de yakıldı. Yaş yakma yöntemi de denilen bu işlem sonrasında soğumaya bırakılan asit karışımı gözenek çapı 0.2 mm olan selüloz nitrat kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Kurşun, bakır, demir, mangan, çinko, kobalt ve molibden gibi ağır metal miktarları Atomik Absorpsiyon (AA), Perkin Elmer Atomic Absorbtion Spectrometer 3110 cihazı ile, arsenik, kadmiyum, krom, baryum ve nikel gibi metal miktarları Inductively Coupled Plasma (ICP) cihazı ile belirlenmiştir. Sodyum ve Potasyum okumaları, Petracourt PFP1 Flame Fhotometer ile yapıldı. Uygulanan metod U.S. EPA Method 3050 metoduna uygun olarak belirlenmiştir.

Kireç ilavesi ile atık çamuru+%20kalıp kumu karışımın toplam ağır metal miktarı, krom ve çinko azalmıştır, nikel, bakır ve kurşun değerleri artmıştır. Zeolit ilavesi ile atık çamuru+%20kalıp kumu karışımın toplam ağır metal miktarı, krom, çinko, nikel, bakır ve kurşun değerleri azalmıştır. En düşük kurşun miktarı karışımlarda 142mg/kg olarak, en

Çizelge 7.5. Karışımlara ait fiziko-kimyasal ve çevresel şartlara ait özellikler,

	pH	KDK (meq/100g)	Eİ (mS/cm)	OMM (%)	Ca (%)	Ağır metal miktarı (mg/kg)				
						Pb	Cr	Zn	Ni	Cu
AÇ+KK(%20)	8,05	32,61	1,34	0,83	4,42	152	69	4.200	720	24
AÇ+KK(%20)+K(%10)	10,10	15,22	1,12	0,72	14,76	167	60	3.700	801	26
AÇ+KK(%20)+Z(%10)	7,99	34,78	0,59	0,69	5,88	146	58	3.300	104	19

AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit, Ca:Kalsiyum miktarı,
Eİ:Elektriksel iletkenlik, KDK:Katyon değişim kapasitesi, OMM:Organik madde miktarı.

yüksek değeri ise 167mg/kg olarak elde edilmiştir. En düşük krom miktarı karışımlarda 58mg/kg olarak, en yüksek değeri ise 69mg/kg olarak elde edilmiştir. En düşük çinko miktarı karışımlarda 3.300mg/kg olarak, en yüksek değeri ise 4.200mg/kg olarak elde edilmiştir. En düşük nikel miktarı karışımlarda 104mg/kg olarak, en yüksek değeri ise 720mg/kg olarak elde edilmiştir. En düşük bakır miktarı karışımlarda 19mg/kg olarak, en yüksek değeri ise 26mg/kg olarak belirlenmiştir. Karışımların metal miktarlarından kurşun, krom, nikel ve bakır miktarı sınır değerlerin altına çekilmiştir. Çinko miktarında ise kireç ve zeolit ilavesiyle azalma olmasına rağmen sınır değerlerin altına çekilememiştir. Atık çamurda çinkonun fazla olmasının nedeni, seramik endüstrisinde sık kullanılan sırlama malzemelerinin içerdiği yüksek oranlardaki çinko metalidir. Şekil 7.7.'de karışımların toplam metal miktarları verilmiştir.

7.2.4. Çevresel Şartlara Ait Deneyler

7.2.4.1. Sızıntı deneyi (leachate)

Optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler laboratuvarında sızıntı deneylerine tabi tutulmuştu. Numunelerden, 1. 3. ve 5. günlerde sızıntı suyu toplanmıştır. Sızıntı deneyi U.S. EPA Method 9100 (1986) belirtilen metoda uygun olarak yapılmıştır. Çizelge 7.6.'da sızıntı suyu içindeki ağır metal miktarları verilmiştir.

Atık çamuru+kalıp kumu(%20) karışımın, atık çamuru+kalıp kumu(%20)+kireç(%10) karışımı ve atık çamuru+kalıp kumu(%20)+zeolit(%10) karışımın 1., 3. ve 5. gün sonunda sızıntı suyu içinde kurşun, çinko, krom, bakır, ve nikel miktarı sınır değerlerin altında bulunmuştur.

7.2.4.2. Sızıntı deneyi sonrası serbest basınç mukavemeti

Numunelerden geçirilen çöp suyunun numune üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak mukavemetin değişimi belirlenmiştir. Çizelge 7.4'de sızıntı deneyi sonrası yapılan serbest basınç deney sonuçları verilmiştir.

Sızıntı sonrası yapılan serbest basınç mukavemet değeri, serbest basınç mukavemet değerine göre düşük degerdedir. Sızıntı sonrası yapılan serbest basınç deneyi sonucu en yüksek değeri kireç ilaveli malzeme vermiştir.

Çizelge 7.6. Sızıntı suyu içindeki pH, elektriksel iletkenlik ve metal miktarı değerleri

TAZE NUMUNELER	pH	Eİ (mS/cm)	Ağır Metal Miktarı (ml/l)				
			Pb	Cr	Zn	Ni	Cu
AÇ + KK(%20)							
1.gün	8,22	1,07	0,04	0,14	0,68	0,09	0,16
3.gün	8,51	1,59	0,09	0,13	0,31	0,02	0,17
5.gün	8,49	1,33	0,05	0,12	0,08	0,03	0,14
AÇ+KK(%20)+K(%10)							
1.gün	8,60	1,09	0,07	0,17	0,02	0,09	0,27
2.gün	9,57	1,36	0,02	0,18	0,05	0,02	0,46
3.gün	12,19	2,90	0,09	0,28	0,06	0,01	0,31
AÇ+KK(%20)+Z(%10)							
1.gün	7,01	1,08	0,12	0,16	0,56	0,05	0,06
2.gün	7,04	1,50	0,03	0,32	0,52	0,06	0,09
3.gün	7,00	1,40	0,01	0,25	0,40	0,09	0,11
AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit, Eİ:Elektriksel iletkenlik, KDK:Kasyon değişim kapasitesi							
Pb: Kurşun, Cr: Krom, Zn: Çinko, Ni: Nikel, Cu:Bakır.							

(a)

7 GÜNLÜK NUMUNELER	PH	Eİ (mS/cm)	Ağır Metal Miktarı (ml/l)				
			Pb	Cr	Zn	Ni	Cu
AÇ+KK(%20) 1.gün	8,37	1,80	0,26	0,17	0,17	0,05	0,15
	8,18	2,15	0,10	0,14	0,14	0,02	0,07
	8,48	1,90	0,19	0,14	0,02	0,03	0,07
AÇ+KK(%20)+K(%109) 1.gün	9,67	1,23	0,29	0,18	0,03	0,09	0,47
	12,44	1,95	0,24	0,24	0,14	0,01	0,31
	12,56	1,18	0,21	0,19	0,06	0,02	0,24
AÇ+KK(%20)+Z(%10) 1.gün	7,73	2	0,12	0,34	0,05	0,01	0,06
	7,70	1,80	0,10	0,25	0,03	0,05	0,08
	7,50	1,60	0,07	0,10	0,02	0,09	0,10

AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit, Eİ:Elektriksel iletkenlik, KDK:Katyon değişim kapasitesi
Pb: Kurşun, Cr: Krom, Zn: Çinko, Ni: Nikel, Cu:Bakır.

(b)

28 GÜNLÜK NUMUNELER	PH	Eİ (mS/cm)	Ağır Metal Miktarı (ml/l)					
			Pb	Cr	Zn	Ni	Cu	
AÇ+ KK(%20)	1.gün	8,46	1,37	0,20	0,13	0,41	0,02	0,19
	2.gün	8,39	2,15	0,19	0,18	0,85	0,03	0,24
	3.gün	8,70	1,54	0,24	0,19	1,06	0,05	0,29
AÇ+KK(%20)+K(%10)	1.gün	11,77	1,73	0,10	0,15	0,05	0,10	0,86
	2.gün	12,26	3,09	0,03	0,19	0,10	0,07	1,24
	3.gün	12,32	4,00	0,01	0,13	0,03	0,08	0,62
AÇ+KK(%20)+Z(%10)	1.gün	8,09	1,32	0,09	0,20	0,07	0,02	0,05
	2.gün	8,09	1,74	0,05	0,17	0,05	0,03	0,08
	3.gün	8,00	1,36	0,03	0,14	0,02	0,06	0,12

AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit, Eİ:Elektriksel iletkenlik, KDK:Katyon değişim kapasitesi
Pb: Kurşun, Cr: Krom, Zn: Çinko, Ni: Nikel, Cu:Bakır.

(c)

7.3. Sonuçlar

Tek ve iki ilave malzemeli karışımlara ait deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Atık amuru yeterince mukavemete sahip olmadığından karışıma inşaat kumu ve kalıp kumu ilave edilmiştir. Kalıp kumu ilaveli karışımın mukavemeti hem daha yüksek değerde hem de kalıp kumun satın alma maliyeti olmadığından daha ekonomiktir. Bu nedenle, atık çamurun mukavemetinin artırılması için atık çamurun %10 oranı kadar kalıp kumu ilavesi yapılmıştır ve değer 2,20 kg/cm² olarak bulunmuştur. Permeabilite katsayısı ve serbest basınç mukavemeti deneyleri sonucunda en uygun değer vereni karışım atık çamuru+kalıp kumu(%20) olarak seçilmiştir.
- Atık amuru+kalıp kumu(%20) karışımın ağır metal miktarını azaltmak, mukavemetini arttırmak ve permeabiliteyi azaltmak için kireç, katyon değişim kapasitesini arttırmak ve permeabiliteyi azaltmak için zeolit ilavesi yapılmıştır. İlave malzemelerle atık çamurun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri iyileştirilmiştir. İlave malzemelerle su muhtevası %27'ye kadar dŐŐürülmüŐtur. En iyi mukavemeti, %10 kireç ilaveli karışım vermiştir ve değer 4,20 kg/cm² olarak belirlenmiştir. Karışımların mukavemeti zamanla önemli miktarda artmaktadır. En iyi permeabilite katsayısını değerini %10 zeolit ilaveli karışım vermiştir ve değer $8,8 \times 10^{-8}$ cm/sn olarak belirlenmiştir. Laboratuarda hazırlanan karışımların permeabilite değerleri literatür değerleri (10^{-7} – 10^{-8} cm/sn) içindedir. Karışımların kurşun, krom, bakır ve nikel miktarları limit değerlerin altında, çinko miktarı ise limit değerleri civarındadır. En dŐŐük metal miktarı değerlerini %10 zeolit ilaveli karışım vermiştir. Karışımların sızıntı suyu içindeki metal miktarı, sızıntı içinde mŐsaade edilen limitlerin altındadır.

8. DEPONİ ALANI DİZAYNI

Topografik yapısı, jeolojik durumu, hidrojeolojisi ve vb. özellikleri çöp depolama alanı olarak kullanılabilir yerin tespitinde önemli parametrelerdir. Daha sonra tecrübeli bir geoteknik mühendisin gözetiminde yapılacak geoteknik etüdü ve deponi (depolama) alanının dizaynı için gerekli olan kriterlerin belirlenmesi önemlidir.

8.1. Arazi Eğimi

Zemin profilini tespit etmek için geoteknik araştırmalara paralel olarak hidrojeolojik çalışmalar da yapılmaktadır.

Raymond N.Yong'ın Kanada için yaptığı çalışmada arazi eğimi 2:1 olarak alınmıştır. İzmir-Harmandalı düzenli çöp deponi alanında kamyonun inebileceği %10'luk kısmen %7'lik eğim esas alınmıştır. İstanbul Büyük şehir Belediyesi düzenli çöp deponi alanında, arazi eğimi %2'den büyük alınmıştır. Bozyük ilçesi için verilen çöp deponi dizaynı arazi eğimi %7 ve %8 olarak verilmiştir.

8.2. Geçirimsiz Tabaka Sistemi

Katı atık depolama alanlarında en önemli sorun atık içinde oluşan sızıntı suyudur. Bu sızıntı suyunun yer altı suyunu ve zemini kirletmemesi için deponi alanı tabanının geçirimsiz olması gerekmektedir. Bu geçirimsiz malzeme için mineral, geosentetik ve kompozit malzemeler kullanılabilir. Literatürde permeabilite sayısı, Katı Atık Yönetmeliğinde 10^{-7} ile 10^{-8} cm/sn arasında, EPA'nın verdiği değer ise 10^{-7} cm/sn'dir. Geosentetik malzeme ile mineral malzemenin birlikte kullanılmasıyla permeabilite 10^{-10} - 10^{-13} cm/sn arasında olabilmektedir. Yurt dışında çeşitli ülkelerde alt geçirimsizlik tabakası için verilen permeabilite değerleri sırasıyla, Avusturya, Belçika, Macaristan, İtalya, Portekiz ve İsviçre'de $k \leq 10^{-7}$ cm/sn, Fransa'da $k \leq 10^{-4}$ ve Almanya'da $k \leq 10^{-8}$ cm/sn olarak kullanılmaktadır. Üst geçirimsizlik tabakası için verilen permeabilite değerleri sırasıyla, İtalya'da 10^{-7} cm/sn ve Almanya'da 10^{-8} cm/sn olarak kullanılmaktadır. Bozyük ilçesi için verilen çöp deponi dizaynında kullanılan

malzemelerin permeabilitesi 10^{-8} cm/sn mertebesindedir. Bu değer literatür sınırları içerisindedir.

Geçirimsiz malzeme olarak kil minerali kullanıldığında ; sıkıştırılmamış kil kalınlığı 60cm–600 cm arasında, sıkıştırılmış kil kalınlığı ise 15 cm-150 cm arasındadır [40]. İstanbul Büyük şehir Belediyesi düzenli çöp deponi alanında, tabi zemin üzerine, iki ayrı kademede serilip sıkıştırılmış permeabilitesi $k < 10^{-6}$ cm/sn olan 60cm, kil tabakası serilmiştir. Almanya’da tehlikeli atık deponi alanında, $k = 10^{-8}$ cm/sn olan geçirimsizlik kil tabakası 1,5 m olarak uygulanmıştır. Fransa’da ise $k = 10^{-7}$ cm/sn olan geçirimsizlik kil tabakası 5 m olarak uygulanmıştır. Bozüyük çöp deponi dizaynında geçirimsizlik kil tabakası 90 cm olarak alınmıştır. Ayrıca tabana geçirimsizlik tabakası olarak geosentetik malzemelerde önerilmiştir.

8.3. Sızıntı Suyu ve Drenajı

8.3.1. Sızıntı suyunun toplanması

Sızıntı suyu çöp deponi alanlarının önemli bir sorunudur. Sızıntı suyu, depolama sahalarında, yağış sebebiyle katı atık kümelerinin yüzeyinden çeşitli kaynaklardan veya atığın kendisinden gelen sular fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerle sızıntı suyunu oluştururlar. Sızıntı suyu miktarı, atıkların kompozisyonu, miktarı, türü ve yağışlara göre değişir. Sızıntı suyu içindeki ağır metaller kil tabakasının katyon değişim kapasitesi özelliğiyle tutulmaya çalışılır.

Deponi alanında oluşan sızıntı suları, depo sahası tabanında bulunan geçirimsiz tabaka üzerine döşenen bir dren sistemi ile depo tabanından uzaklaştırılır. Dren sisteminde kullanılan dren borularının minimum çapı 100 mm ve minimum eğimi %1 olmalıdır. Bu borular, basınca dayanıklı yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) delikli borulardır. Bu boruların et kalınlığı 10 veya 16 Atü iç basınca dayanacak şekilde olmalıdır. İstanbul Büyük şehir Belediyesi düzenli çöp deponi alanında kullanılan dren boruları HDPE olup özel et kalınlığına (ovalleşme tahkikine uygun) sahiptir. Bozüyük çöp deponi dizaynında dren buru çapı $\varnothing 100$ ve $\varnothing 150$, taban eğimi %2 olarak verilmiştir.

Dren boruları münferit borular şeklinde ve mümkün olduğunca yatayda veya düşeyde kıvrım yapmadan depo gövdesi dışına çıkarılarak bir noktada toplanır. Dren borularının üst kısmı delikli, taban kısmı deliksizdir. Delik alanı tüm boru yüzey alanının %30'u olmalıdır.

Ayrıca, dren boruları çevresine kum-çakıl filtre yerleştirilmelidir. Bu filtrenin yüksekliği boru sırtından itibaren minimum 30 cm olmalıdır. ABD uygulamalarında drenaj tabakasının en az %2 eğimle ve minimum drenaj tabakası kalınlığı 30 cm olarak alınmaktadır. Drenaj sisteminde kullanılan çakıl veya mıcırın çapı 16/32 veya 8/16 ve kireç oranı da %30'dan az olmamalıdır.

Sızıntı suyunun toplandığı havuzların kapasitesi iyi hesaplanmalıdır. Hesapta, sızıntı suyu miktarı ve bölgeye düşen maksimum yağış miktarı bilinmelidir. Buna göre de deponi alanında sızıntı suyunu atacak yeteri kadar dren borusu, ana toplayıcılar ve bacalar bulunur.

8.3.2. Sızıntı suyunun azaltılması

Sızıntı suyunun kaynağı öncelikle çöplük alanı üzerine yağın yağmurdur. Yağmurun deponi gövdesinden kısa sürede uzaklaşması için deponi üzerine %3'den küçük olmamak kaydıyla eğim verilmelidir. Sahanın kenarına drenaj hendekleri açılarak, deponi alanı etrafındaki yüzey sularının deponi alanına girmesi önlenir. Bu hendekler, yüzey sularının tamamını taşıyabilecek kapasitede olmalıdır. Depo sahası önceden belirlenmiş kısımlar halinde işletilmeli, her bir kısım tamamen doldurulmadan bir sonraki kısım başlatılmamalıdır. Kısımlar atık boşaltma sahasının en yüksek tarafından başlayarak sıra ile birbirini izlemelidir. Böylece dolum yapılan bölgeden kaynaklanan sızıntı sularının sahanın diğer bölgelerine düşen yağmurun sularına karışması önlenir. Atıklar tabakalar halinde sıkıştırılmalı ve ilk katı atık tabaka yüksekliği 2m olmadan sıkıştırma araçları sahaya girmemelidir. Böylece depo tabanı ve dren borularının zarar görmesi engellenmiş olmaktadır.

8.4. Gaz Drenajı

Katı atıklar içindeki organik bileşenlerin oksijensiz ortamda parçalanması sonucunda çöp gazları oluşmaktadır. Depolama sahasında çöp gazlarını toplamak için uygun bir alt yapı bulunmadığı takdirde bu gazlar tehlike yaratabilir. Gaz çıkışı ilk 2 yılda artış göstermekte ve daha sonra azalarak 25 yıl görülmektedir. Gaz miktarı, çöp niteliğine göre değişir. Mesela 1 ton çöp için 60-180 m³ gaz çıkışı olmaktadır. Deponi alanında oluşan gazlar; %55-%60 metan gazı, %35-%40 karbondioksit, %2-%3 hidrojen, %1 sülfür, karbonmonoksit ve azot.

Metan ve karbondioksit gaz karışımının havadaki oranı %5-15 arasında olursa patlayıcı karışım oluşturmaktadır. Depolama alanlarında oluşan karbondioksit ağır bir gaz olduğu için dipte yoğunlaşarak yer altı suyuna karışır ve pH değerinin azalmasına dolayısıyla suyun çözücü özelliğinin artmasına neden olabilmektedir.

Düzenli depolama alanlarında çöp gazlarının çıkışı için delikli borular veya çakıl bacalar kullanılmaktadır. 3 m uzunluğunda seçilmesi uygun olan minimum 150-200mm'lik delikli-sert PVC boruları tabanda 1mx1m ebadında açılmış kuru çukurun ortasına konularak, 50mm'lik yıkanmış kireç taşı ile çakıl boru etrafına 1 metre çapında desteklenir. Çöp ara katmanları sıkıştırılırken ikinci PVC boru birincinin üzerine geçecek şekilde yükseltilip, çakıl ile etrafı çevrilir. Çöp dolgu derinliği arttıkça işlem yenilenir, fakat çöp boşaltımı sırasında dozerin devirmemesi için, çöp tahliye yerlerinin bacadan 1-2 metre uzakta olması faydalıdır ve her 50 metrede bir havalandırma bacası yerleştirilmelidir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi düzenli çöp deponi alanında, oluşturulan geçirimsizlik tabakasından sonra alana dikey olarak yarıçapı 25-50m olan gaz bacaları yerleştirilmiştir. Bu gaz bacaları 150mm HDPE delikli borulardan oluşturulmuştur. Gaz bacalarının çevresinde, drenaj malzemesi ile doldurulmuş ve çelik ızgarayla (80cm çapında) çevrilmiş filtre tabakası mevcuttur.

Bozuyük çöp deponi dizaynında, her 50 m de bir, yarıçapı 30 cm, 150mm HDPE delikli borular verilmiştir. Çöp gazlarının çıkışı için gaz bacaları çevresine, drenaj malzemesi ile doldurulmuş tabaka oluşturulacaktır.

8.4.1. Gaz toplama sistemleri

Katı atık deposunda oluşan gazlardan faydalanılacak ise bu gazlar aktif gaz toplama sistemleri ile toplanarak değerlendirilir. Aktif gaz toplama sisteminde gaz, yatay ve düşey kollektör toplama sistemi ile toplanır. Eğer bu gazlardan faydalanılmayacaksa veya miktarı az ise doğrudan atmosfere verilir.

8.4.2. Depo gazının değerlendirilmesi

Teknik ve ekonomik şartlara göre depo gazı değerlendirilebilir. Depo gazları, deponi alanındaki işletme ve idari binaların enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilir. Depo gazı değerlendirilebilir. Depo gazları, deponi alanındaki işletme ve idari binaların enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilir.

8.4.3. Aktif gaz toplama sistemlerinin kontrolü

İşletme devamlı kontrol altında bulundurulmalı, vakum ve hava miktarı sabit tutulmalıdır. Tesisin haftalık bakımı yapılmalıdır. Teknik kontroller en az aylık periyotlarla yapılmalıdır. Tesis yıllık periyotlarda uzmanlar tarafından test edilmelidir. Depo gazı yıllık olarak iz elementler bakımından analiz edilmelidir.

8.5. Çöp Dolgu Kümesinin Yüksekliği

Çöp kümesinin stabil olmayan durumunda, kil tabakasında çatlaklar kolaylıkla meydana gelmektedir. Zararlardan kaçınmak için atık kümesinin stabilitesi gerektiği şekilde dizayn edilmelidir. Atık yığınlarının aralarındaki boşlukların doldurulması ile mümkün olduğunca tabaka etkilerinden kaçınılmalıdır. Atığın permeabilitesi sıkışma derecesine göre 10^{-1} - 10^{-5} cm/sn arasında değişmektedir.

Literatürde 30 metrenin üzerinde yapılmış depolama alanları mevcuttur. Katı atık yönetmeliğinde sıkıştırılmış çöp tabakasının 2 m.yi aşmaması öngörülmektedir. Literatürde İzmir Harmandalı katı atık düzenli depolama alanında ortalama dolgu yüksekliği 38m'dir. Raymond N. Yong'un Kanada için yaptığı çalışmada dolgu yüksekliği 20m'dir.

Deponi gövdesinde depolanacak atıkların ve çıkan sızıntı sularının birbiriyle çevreye ve ortama zarar verecek reaksiyon meydana getirmesi ve dolguların bunu sağlayacak şekilde yapılması esastır. Bunun için Resmi Gazetede, asidik ve bazik reaksiyon gösteren atıkların ayrı hücrelere depolanması ve sızıntı sularının ayrı ayrı toplanması zorunlu görülmüştür.

Atık hücrelerinin üzeri kaplama tabakası (geçirimsiz malzeme) ile kaplanır, dolgu süresince girebilecek yağmur suyu miktarını azaltacak önlemler alınır ve deponi sahasının yağmur suyu ile dolması önlenir. Hücre atık ile ilk seferde dolmaz ise ara örtü olarak kil ve plastik örtü ile örtülerek, benzer türden atıklarla depolanacak şekilde hazırlanır. Resmi Gazetede, organik atıklar için gaz drenaj boruları yerleştirilmesi istenir.

Dolgu çalışmaları sırasında, şev stabilitesini ve araçlarla makinaların kolayca manevra yapabilmelerini sağlamak için atığın oluşturduğu eğim 1/3 olacak şekilde yapılır. Resmi Gazetede atığı getiren araçların geçişi drenaj sistemine zarar vermeyecek şekilde planlanması istenir. İstanbul Büyük şehir Belediyesi çöp depolama alanında, sahaya getirilen çöpler dozerlerle 1/3 eğimde teşkil edilen yüzeye serilerek kompaktörle sıkıştırılmaktadır.

Bozüyük çöp deponi dizaynında, çöp dolgu yüksekliği, kullanılacak malzemenin taşıma gücüne ve sıkıştırılan çöp yoğunluğuna göre değişmektedir. Dolgu yüksekliğini hesaplarken kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$\text{Optimum Dolgu Yüksekliği} = \frac{\text{Zeminin Taşıma Gücü}}{\text{Sıkıştırılmış Çöp Yoğunluğu}}$$

Dizaynda deponi yüksekliği, sadece atık çamuru kullanılırsa H = 9 m, atık çamuru + kalıp kumu (%20) karışımı kullanılırsa H = 30 m, atık çamuru + kalıp kumu (%20) + kireç (%10) karışımı kullanılırsa H = 30 m, atık çamuru + kalıp kumu (%20) + zeolit (%10) karışımı kullanılırsa H = 30 m olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda çöp yoğunluğu yaklaşık 1t/m³ olarak alınmıştır.

Atığın kalınlığı en az 1m oluncaya kadar dolgu sahasında sıkıştırma yapılmaz. Gövde, atıklar sıkıştırılarak doldurulur ve boşluk bırakılmaz. Resmi

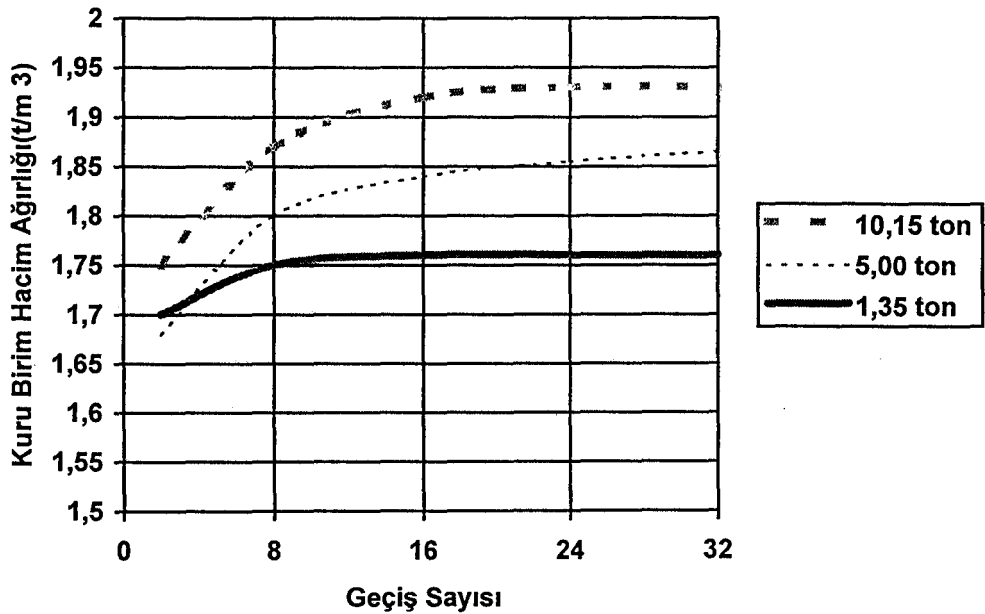
Gazetede koku ve toz çikaran atıkların çevreyi olumsuz yönde etkilemesini sağlayacak önlemler alınması istenir.

Resmi Gazetede, depo tesisi işletmecilerinin, depo tabanının işlevini yapıp yapmadığını, yüzey ve sızıntı suyunun miktar ve özelliklerindeki değişimlerini, depo gövdesi içindeki sıcaklık değişimlerini ve gövdedeki oturmayı devamlı olarak ölçmesi istenir.

8.6. Geçirimsiz Kil Tabakasının Sıkıştırılması

Kompaksiyon geçirimsiz tabakanın stabilitesi için genel bir uygulamadır. Atık depolama yerlerinin tam olarak stabilize olduğunun söylenmesi için, depolama alanının sıkışmasının tamamlanmış olması gerekmektedir.

Geçirimsiz kil tabakası, 30 cm'lik gevşek olarak seçilmeli ve kompaksiyon yapılmadan 1-3 gün beklenmelidir. Sıkıştırılmış tabaka kalınlığı yaklaşık 15 cm olacak şekilde (sıkıştırmadan önce kalınlık yaklaşık 25-30 cm) sıkıştırma yapılmalıdır.



Şekil 8.1. Geçirimsizlik kil tabakasının sıkıştırılması için gerekli silindir geçiş sayısı

Deponi alanı geçirimsizlik tabakasının nasıl sıkıştırılacağı kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri kullanılarak sıkıştırıcıların, geçiş sayılarının ve hızlarının belirlenmesi gerekir. Şekil 8.1.'de geçirimsiz kil tabakasının sıkıştırılması için gerekli silindir geçiş sayısı verilmiştir. 1 nolu eğri 10,15 tonluk silindir için, 2 nolu eğri 5 tonluk silindir için ve 3 nolu eğri 1,35 tonluk silindir için geçerli eğrilerdir [6]. 10,15 tonluk ve 5 tonluk silindirlerin sıkıştıracağı tabaka kalınlığı 30,5 cm, 1,35 tonluk silindirinin sıkıştıracağı tabaka kalınlığı 23 cm'dir. Boz büyük çöp deponi dizaynında, katı atık tabakasının silindir geçiş sayısı, atık çamuru için 6 geçiş sayısı, atık çamuru + kalıp kumu (%20) karışımı için 9 geçiş sayısı, atık çamuru + kalıp kumu (%20) + kireç (%10) karışımı için 32 geçiş sayısı, atık çamuru + kalıp kumu (%20) + zeolit (%10) karışımı için 8 geçiş sayısı olarak verilmiştir.

8.7. Çöp Dolgusunun Sıkıştırılması

Çöp yığını arasında ne kadar az boşluk olursa tabaka etkilerinden o kadar kaçınılmış olur. Katı Atık Yönetmeliğine sıkıştırılacak çöp yüksekliğinin 2 m.'yi geçmemesi gerekmektedir. Her 2m.' de bir atık üzerine %5 kireç ilavesi ile konut ve fabrikaların kül, cüruf ve molozları ara katman olarak kullanılabilir. Böylece inert atıklar da bu depolama sistemine dahil edilebilir. Kullanılan kirecin fonksiyonu, üst tabakadan gelen sızıntı suyunu absorbe etmesidir. Depolanan çöplerin sıkıştırılmasındaki amaç aşağıda verilmiştir. Boz büyük çöp deponi dizaynında çöp dolgusun sıkıştırılması 2 m. olarak verilmiştir.

- Atık yoğunluğunu mümkün olduğunca artırarak mevcut boş alanların optimum şekilde kullanılması,
- Günlük örtü ihtiyacının en aza indirilmesi
- Haşarat, sinek, böcek ve kuşların gelmesiyle oluşabilecek problemlerin azaltılması,
- Koku probleminin azaltılması.

8.8. Üst Örtü Tabakası

Depo tesisine dolgu işlemi tamamlandıktan sonra, dolgu üst deponi gövdesi yüzeysel su girmeyecek şekilde sızdırmaz hale getirilmelidir. Depolanan atığın, yağmur suyu ve çevredeki sulardan korumak için üst örtü tabakası kilden veya geosentetik malzemelerden yapılabilir. Alman Teknik Şartnamesinde $k < 5 \cdot 10^{-5}$ m/sn olmak üzere tabaka kalınlığı 0,5m olması istenmektedir. Literatürde üst örtü olarak kullanılan kil tabakasının permeabilitesi 10^{-1} - 10^{-2} cm/sn değerlerde olduğu görülmüştür. Ancak yağmur suyunun sızıntı suyu oluşturabileceği göz önüne alındığında permeabilitenin 10^{-6} cm/sn olması tercih edilir. N.Yong Kanada için yaptığı çalışmada bu kalınlığı 0,60m ve kaplama eğiminin %2 olarak vermiştir. Daniel (1993) ise kaplama eğimi 2,5:3 olarak vermiştir. Katı Atık Yönetmeliği'nde ise tabaka eğiminin %3 'den büyük olmaması istenmektedir. Bozüyük çöp deponi dizaynında üst örtü tabakasının eğimi %3, üst örtü tabakasının kalınlığı 30 cm olarak verilmiştir.

8.9. Çöp Deponi Alanı Ömrü

Evsel ve evsel katı atık özelliğindeki endüstriyel atıklar ile bunların atıksu arıtma çamurlarını depolamak üzere inşa edilen depo tesislerinin asgari kapasiteleri, nüfusu 100.000'den küçük olan yerleşim bölgelerinde 10 yıllık depolama ihtiyacını karşılayacak şekilde, nüfusu 100.000'den büyük olan yerlerde 500.000 m³ olarak planlanır [40]. Bozüyük ilçesi için 10 yıllık çöp deponi alanı dizaynı verilmiştir.

8.10. Sonuçlar

- Çöp deponi alanı için seçilen arazi eğimi, kamyonların inebilmesi için %7 civarında önerilmiştir. Tespit edilen arazinin coğrafi durumuna göre temel genişliği 6-10 m arasında, deponi yüksekliği ise 15-40 m arasında önerilmiştir. Geçirimsiz malzeme olarak, laboratuarda hazırlanan karışımlar kullanılmıştır. Karışımların permeabilite katsayısı literatür değerleri (10^{-7} - 10^{-8}) içinde olup 10^{-8}

mertebelerindedir. Deponi alt ve üst tabakası ile deponi yan yüzeylerinde laboratuarda hazırlanan karışımlar önerilmiştir. Çöp dolgu kümesinin yüksekliği, depolama alanı zemin emniyet gerilmesinin çöp yoğunluğuna oranlanarak elde edilmiştir. Laboratuarda hazırlanan karışımların çöp dolgu yüksekliği sırasıyla, atık çamuru + kalıp kumu (%20) karışımı için 30 m, atık çamuru + kalıp kumu (%20) + kireç (%10) karışımı için 40 m, atık çamuru + kalıp kumu (%20) + zeolit (%10) karışımı için 30 m, geosentetik ve geosentetik+karışım malzemeleri için 30 m yükseklik önerilmiştir. Katı atıkların sıkıştırılması için, 6 – 8 tonluk silindirler önerilmiştir ve bu silindirlere göre geçiş sayıları önerilmiştir. Sızıntı drenaj boruları, Ø100-Ø150 arasında, gaz havalandırma bacaları Ø150-Ø200 arasında, sıkıştırılacak katı atık tabakası kalınlığı 2 m olarak önerilmiştir.

- Her bir karışım için, deponi dizaynı parametreleri belirlenmiştir. Çizelge 8.1.'de karışımlar ile Çizelge 8.2.'de geosentetik ve karışım+geosentetik malzemeler ile deponi dizayn parametreleri verilmiştir. Şekil 8.2.'de deponi alanı üzerinde parametreler gösterilmiştir. Şekil 8.3.'de çöp deponi alanı planı ve kesiti verilmiştir. Şekil 8.4., Şekil 8.5. ve Şekil 8.6.' da verilen parametrelere göre çöp deponi dizaynı verilmiştir.

Çizelge 8.1. Karışımlar ile deponi dizaynı parametreleri

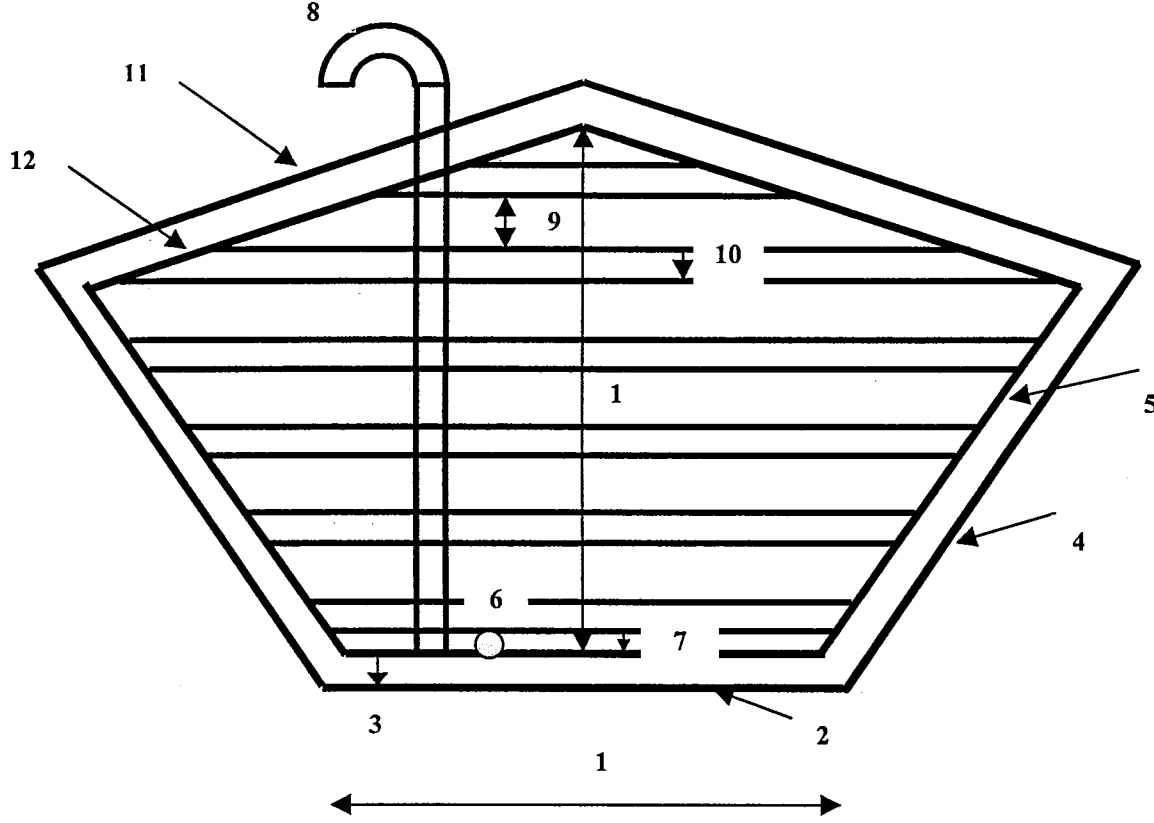
PARAMETRELER	AÇ	AÇ+KK(%20)	AÇ+KK(%20)+K(%10)	AÇ+KK(%20)+Z(%10)	LİTERATÜR
1. Deponi Alanı Boyutları					
- Temel Genişliği (B)	10 m.	10 m.	10 m.	10 m.	6 – 10 m.
- Deponi Yüksekliği (H)	10 m.	30 m.	40 m.	30 m.	15 – 40 m.
2. Temel Eğimi	%2	%2	%2	%2	%2,5 - %4
3. Geçirimsiz Alt Tabaka Kalınlığı					
- Sıkıştırma Yapılmadan	90 cm	90 cm.	90 cm	90 cm	60 – 610 cm.
- Sıkıştırma Yapılacaksa	(30+30+30)	(30+30+30)	(30+30+30)	(30+30+30)	15 – 75 cm.
- Kilin Optimum Su Muhtevası	%31	%27	%29	%28	
4. Arazi Eğimi	%8	%8	%8	%8	%7 - %10
5. Deponi Yan Yüzey Kalınlığı	25 cm.	30 cm.	25 cm.	30 cm.	20 – 50 cm.
6. Sızıntı Drenaj Boruları	Ø100	Ø100	Ø150	Ø150	Ø100 – 250
7. Kum – Çakıl Drenaj Tabakası Kalınlığı	25 cm.	25 cm.	25 cm.	25 cm.	15 – 30 cm.
8. Gaz Havalandırma Bacaları	Ø150 L: 3 m.	Ø150 L: 3 m.	Ø200 L: 3 m.	Ø200 L: 3 m.	Ø150- 200 L: 3 m.
9. Sıkıştırılacak Max. Atık Tabakası Kalınlığı	2 m.	2 m.	2 m.	2 m.	2 m.
10. Atık Tabakası Üzerine Serilecek Toprak + Kireç Kalınlığı	10 cm.	10 cm.	10 cm.	10 cm.	10 cm.
11. Kaplama Eğimi	%3	%2	%4	%3	%3 - %8
12. Üst Kaplama Tabakası Kalınlığı	30 cm.	30 cm.	30 cm.	30 cm.	25 – 60 cm.
13. Geçirimsiz Kil Tabakasının Sıkıştırılması için Gerekli Geçiş Sayısı (5 tonluk silindir, 30,5 cm'lik tabaka için)	6	9	32	8	3 6 32
14. Permeabilite (Kil)	$6*10^{-8}$	$5*10^{-8}$	$2,1*10^{-8}$	$8,8*10^{-8}$	$10^{-7}-10^{-8}$ cm/sn

Aç: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit.

Çizelge 8.2. Geosentetik ve karışım+geosentetik malzemeler ile deponi dizaynı parametreleri

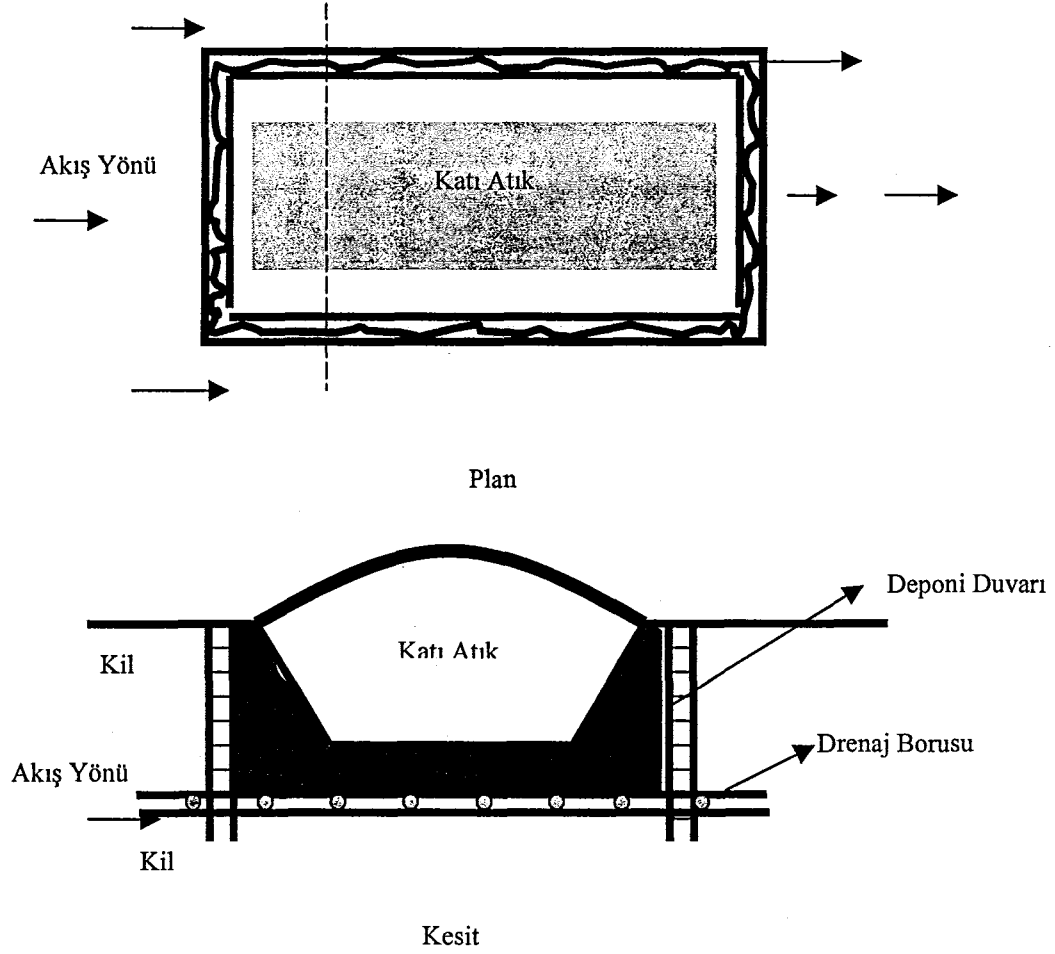
PARAMETRELER	G	G	AÇ+KK(%20)+K(%10)+G	AÇ+KK(%20)+Z(%10)+G	LİTERATÜR
1. Deponi Alanı Boyutları					
- Temel Genişliği (B)	10 m.	10 m.	10 m.	10 m.	6 – 10 m.
- Deponi Yüksekliği (H)	30 m.	30 m.	30 m.	30 m.	15 – 40 m.
2. Temel Eğimi	%2	%2	%2	%2	%2,5 - %4
3. Geçirimsiz Alt Tabaka Kalınlığı					
- Sıkıştırma Yapılmadan	Geomembran	Geomembran	Geomembran	Geomembran	60 – 610 cm.
- Sıkıştırma Yapılacaksa			+	+	15 – 75 cm.
- Geomembran Kalınlığı			30 cm. sıkıştırılmış kil	30 cm. sıkıştırılmış kil	
- Kilin Optimum Su Muhtevası					
4. Arazi Eğimi	%7	%7	%7	%7	%7 - %10
5. Deponi Yan Yüzey Kalınlığı	Geomembran	Geomembran	25 cm.	25 cm	20 – 50 cm.
6. Sızıntı Drenaj Boruları	Ø100	Ø100	Ø150	Ø150	Ø100 – 250
7. Drenaj Tabakası Kalınlığı	Geotekstil	Geotekstil	25 cm. (Kum – Çakıl)	25 cm. (Kum – Çakıl)	15 – 30 cm.
8. Gaz Havalandırma Bacaları	Ø150 L: 3 m.	Ø150 L: 3 m.	Ø200 L: 3 m.	Ø200 L: 3 m.	Ø150-200 L: 3 m.
9. Sıkıştırılacak Max. Atık Tabakası Kalınlığı	2 m.	2 m.	2 m.	2m.	2 m.
10. Atık Tabakası Üzerine Serilecek Toprak + Kireç Kalınlığı	10 cm.	10 cm.	10 cm.	10 cm.	10 cm.
11. Kaplama Eğimi	%3	%2	%3	%2	%3 - %8
12. Üst Kaplama Tabakası Kalınlığı	30 cm.	30 cm.	30 cm.	30 cm.	25 – 60 cm.
13. Geçirimsiz Kil Tabakasının Sıkıştırılması için Gerekli Geçiş Sayısı	6	9	32	8	3 6 32
14. Permeabilite					
Geomembran	-	-	-	-	10 ⁻¹² -10 ⁻¹⁵ cm/sn
Kil + geomembran					
Kil					

G: Geosentetik, AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit.

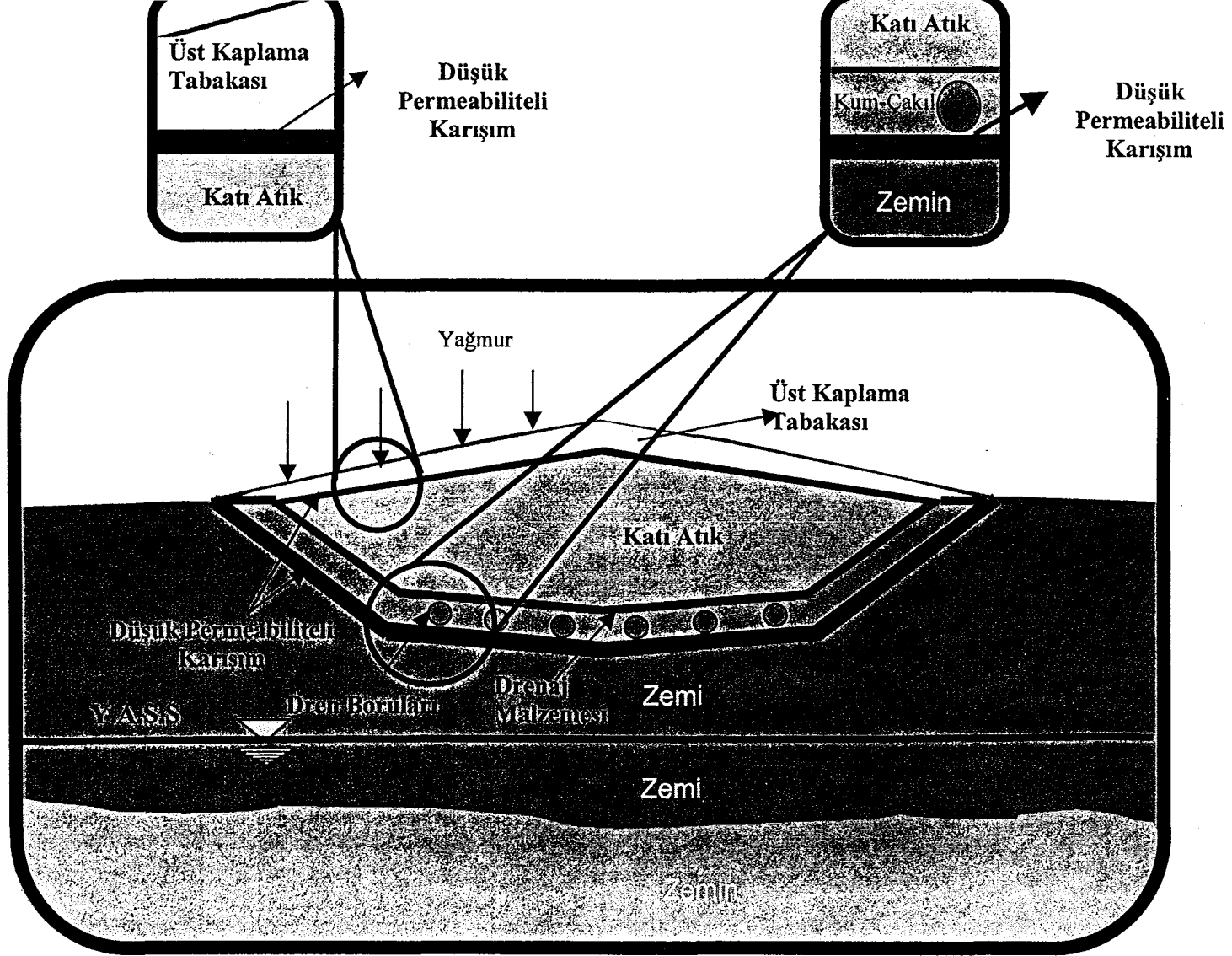


Şekil 8.2. Deponi Dizayn Boyutları

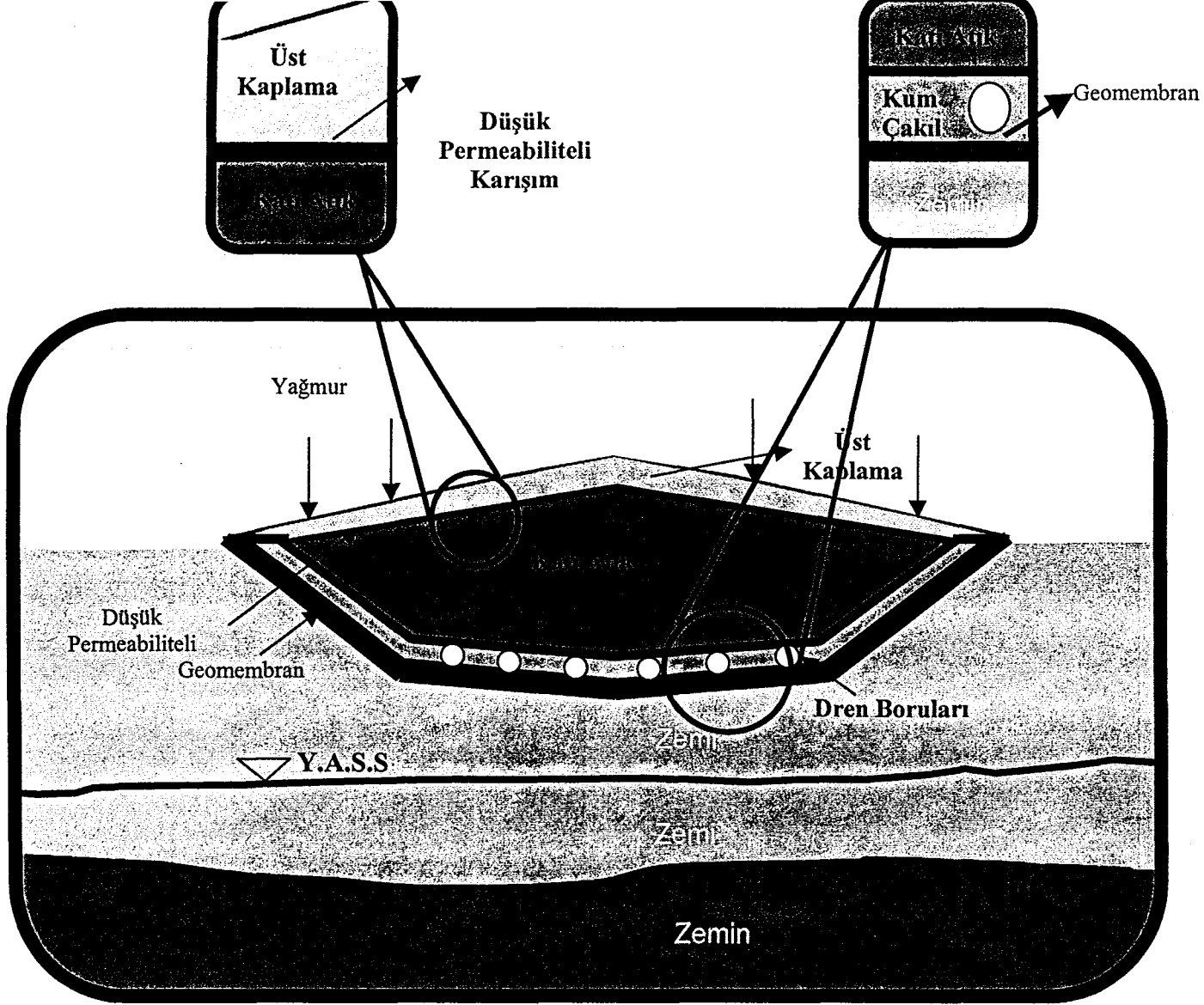
1. Deponi alanı boyutları,
2. Temel eğimi,
3. Geçirimsiz alt tabaka kalınlığı,
4. Arazi eğimi,
5. Deponi duvarı kil kalınlığı,
6. Sızıntı drenaj boruları,
7. Kum-Çakıl drenaj tabakası kalınlığı,
8. Gaz havalandırma bacaları,
9. Sıkıştırılacak max. Atık tabakası kalınlığı,
10. Atık tabakası üzerine serilecek toprak+kireç kalınlığı,
11. Kaplama eğimi,
12. Üst kaplama tabakası kalınlığı,
13. Geçirimsiz kil tabakasının sıkıştırılması için gerekli silindir geçiş sayısı,
14. Permeabilite.



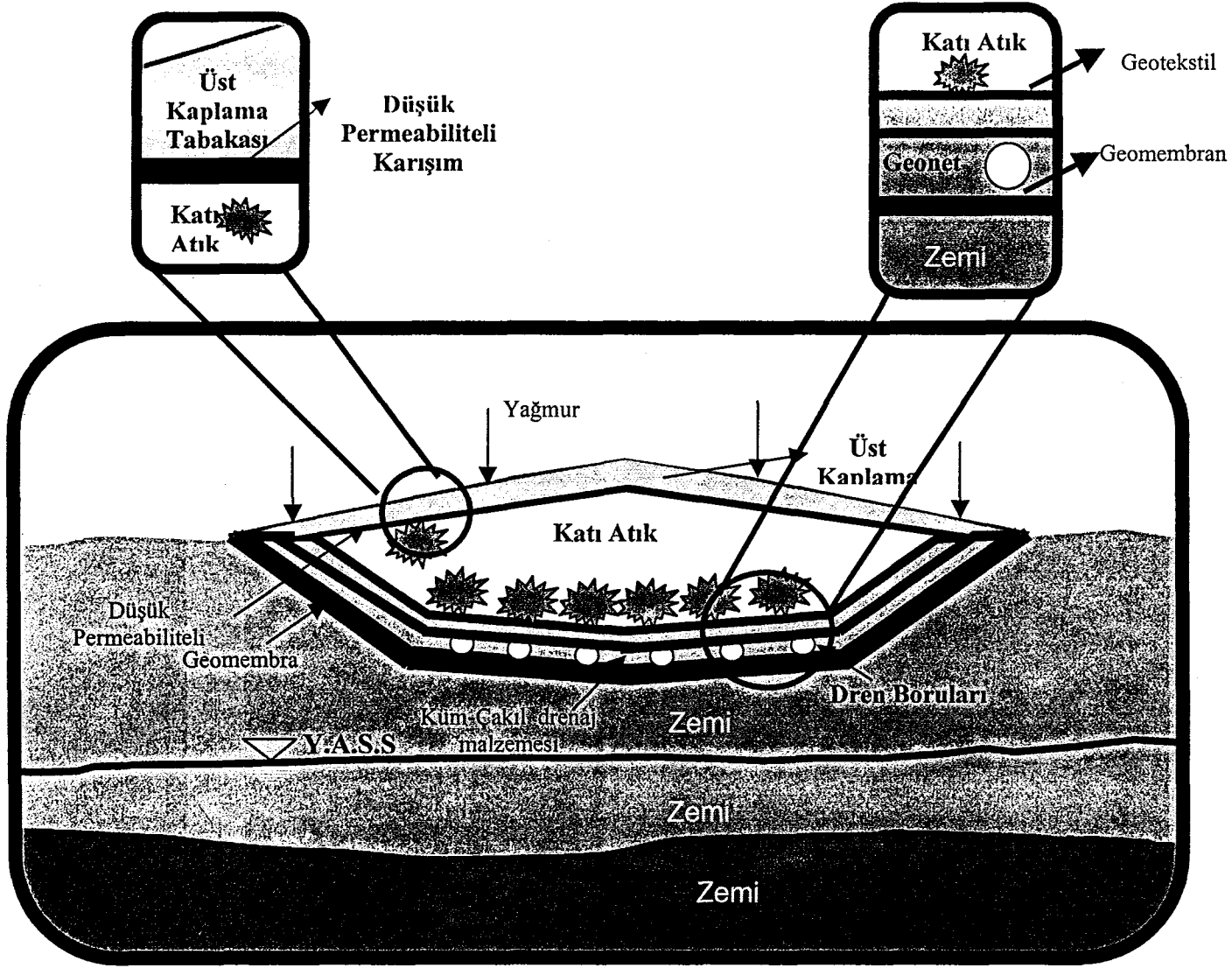
Şekil 8.3. Deponi dizaynı plan ve kesiti



Şekil 8.4. Çöp deponi alanı dizaynı



Şekil 8.5. Çöp deponi alanı dizaynı



Şekil 8.6. Çöp deponi alanı dizaynı

9. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kireç ve zeolit gibi ilave malzemeler ile stabilize (iyileştirilmiş) edilmiş atık çamuru ve kalıp kumu gibi endüstriyel atıkların geoteknik ve fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiş ve stabilize edilmiş karışımların çöp deponi alanında geçirimsizlik malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Bilecik İli Bozüyük İlçesi çöp deponi alanı önerilmiştir.

- Laboratuarda yapılan stabilizasyon çalışmaları sonucunda, en iyi mukavemeti değerini Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Kireç (%10) karışımı vermiştir. En iyi metal miktarını Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Zeolit (%10) karışımı vermiştir ve metal miktarı limit değerleri civarındadır. Laboratuarda hazırlanan karışımların metal miktarı bentonit, çimento, kül ve alçı gibi ilave malzemeler kullanılarak limit değerler altına indirilebilir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi karışımlar olarak, Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Zeolit (%10) karışımı ve Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Zeolit (%10) + Geomembran karışımı vermiştir. Geomembran malzemesi ile sızıntı suyunun yer altı suyuna ve zemine zarar vermesi daha da azaltılmaktadır. Fakat geomembran karışımı malzemenin ekonomik olmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla, Bilecik İli Bozüyük İlçesi çöp deponi alanı için Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Zeolit (%10) karışımı önerilmiştir.
- Bilecik İli, Bozüyük İlçesi için önerilen çöp deponi alanı, laboratuarda belirlenen karışımların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine göre önerilmiştir. Laboratuarda hazırlanan karışımlar çöp deponi alanı dizaynında, alt ve üst tabakalarda ve deponi yan yüzeyinde geçirimsizlik malzemesi olarak kullanılması önerilmiştir. Her bir karışım için, deponi dizaynı parametreleri belirlenmiştir.
- Bilecik ili, Bozüyük ilçesi çöp deponi alanı için arazi seçimi, yerleşim birimine uzaklığı, içme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yeraltı ve

yerüstü sularına uzaklığı, geoteknik, jeolojik ve hidrojeolojik yapısı gibi parametreler göz önüne alınarak yapılmıştır. Çöp deponi alanı için seçilen arazi eğimi, kamyonların inebilmesi için %7 civarında önerilmiştir.. Deponi alt ve üst tabakası ile deponi yan yüzeylerinde Atık Çamuru + Kalıp Kumu (%20) + Zeolit (%10) karışımı önerilmiştir. Geçirimsizlik alt tabaka kalınlığı 90 cm, üst tabaka kalınlığı 30 cm, yan tabaka kalınlığı 25 cm olarak seçilmiştir. Önerilen karışımın, permeabilite katsayısı $8,8 \times 10^{-8}$ cm/sn olup literatür değerleri içindedir. Bozüyük ilçesi nüfusu 100.000' nin altında olduğu için deponi ömrü 10 yıldır. 10 yılda depolanacak olan çöp ağırlığı, Bozüyük Belediyesinden alınan bilgiler doğrultusunda belirlenmiştir. Serbest basınç deneyinden elde edilen drenajsız kohezyon değerinden ve deponi taban alanından karışımın zemin emniyet gerilmesi 3 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre çöp deponi tabanına serilecek karışım, üzerine gelecek çöp ağırlığını taşıyabilecek kapasitededir. Çöp dolgu kümesinin yüksekliği, depolama alanı zemin emniyet gerilmesinin çöp yoğunluğuna bölümüyle 30 m olarak belirlenmiştir. Katı atıkların sıkıştırılması için, 5 tonluk silindir önerilmiştir ve bu silindire göre 8 geçiş sayısı önerilmiştir. Sızıntı drenaj boruları Ø150, gaz havalandırma bacaları Ø200, kum-çakıl drenaj tabakası kalınlığı 25 cm ve sıkıştırılacak katı atık tabakası kalınlığı 2 m olarak önerilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,1991.
2. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 1990, Handbook on in situ treatment of hazardous waste-contaminated soils, Risk Reduction Engineering Laboratory Office of Research and Development, U.S. Environmental Agency, Cincinnati, Ohio, EPA 540/2 - 90/002.
3. BURTON, D.J., Ravishankar, K., 1989, Treatment of hazardous petrochemical and petroleum wastes- current , New and Emerging Technologies, Noyes Publication.
4. WOOD, P., 1994, Innovative treatment of contaminated soils, Waste Management and Recycling International, The International Review of Waste Management, Recycling and Pollution Control Technology, Johnson. M., Samiullah, Y., London., 1994.,
5. KOYUNCU, H., Stabilizasyon/Sodifikasyon Yöntemiyle İyileştirilmiş Petrollü Sondaj Atıkların Fiziko-Kimyasal, Mikro-Yapısal ve Geoteknik Özellikleri, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D. Doktora Tezi, Eskişehir, Haziran 1998.
6. DERAMMELAERA, R. and HELGERSON, R., 1989, Integrated zero-emission groundwater and soil remediation facility and lockheed, Burbank, The proceedings of a conference on hydrocarbon contaminated soils.
7. BAUMAN, B. J., 1987, Soil contaminated by motor fuels: Research activities and perspectives of the American Petroleum Institute, The proceedings of the second national conference on the environmental and public health effects of soils contaminated with petroleum contaminated with petroleum products, Petroleum Contaminated Soils, Vol. I, University of Massachusetts, Amherts, Lewis Publishers.
8. KELLEMS, B.L., Slocum, R. W., Kavanaugh, M.C., 1991, Alternative for closure of solid oily waste sites on the North Slope of Alaska, International Arctic Technology Conference held in Anchorage in Alaska, Society of Petroleum Engineerings.
9. DEAN, W. G. and Cobb, B.G., 1989, State of Florida policy for soil treatment at petroleum contaminated sites, proceedings of a conference on hydrocarbon

- contaminated soils, Petroleum Contaminated Soils, Vol.III, University of
10. TESTA, S.M., WINEGARDNER, D.L., 1991, Restoration of petroleum-contaminated aquifers, Lewis Pub.
 11. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 1990, 'Interference mechanism in waste stabilization/solidification process' EPA/600/2-89/067, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio.
 12. AYER, E.A., 1991, In situ remediation of hazardous waste, Environmental Engineering.
 13. BROWN, K.J., 1991, The preferred contaminated soil remediation method at Shemya air force base, Proceeding of the 1991 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology.
 14. ASSINK, J.W., 1988, Physico-chemical treatment methods for soil remediation, Contaminated Soil'88.
 15. CANTER, L.W., 1990, Current practices and applications of ground water and soil remediation: successes and failures report on a colloquium sponsored by the water science and technology board, Ground Water and Soil Contamination Remediation: Toward Compatible Science, Policy, and Public Perception, National Academy Press, 1990.
 16. DRAGUN, J., 1991, Geochemistry and soil chemistry reactions occurring during in situ vitrification, Journal of Hazardous Materials.
 17. HWANG, D., 1988, Geotechnical performance evaluation of solidified wastes, Proceedings of the 20th Mid-Atlantic Industrial Waste Conference.
 18. CONNER, J.R., 1990, Chemical fixation and solidification of hazardous wastes. Van Nostrand Reinhold, New York.
 19. WEITZMAN, L., 1990, Factors for selecting appropriate solidification/stabilization methods, Journal of Hazardous Material, 24.
 20. MARTIN, J.P., Biehl, F.J., Browning, J.S. and Van-Keuren E.L., 1990, Constitutive behavior of clay and pozzolon-stabilized hydrocarbon refining waste. Geotechnics of Waste Fills Theory and Practice, ASTM STP 1070, Philadelphia.
 21. VAN-KEUREN, E., MARTIN, J., 1987, Pilot field study of hydrocarbon waste stabilization, Toxic and Hazardous Wastes.

22. ZARLINSKI, S.J., EVANS, J.C., 1991, Durability testing of a stabilized petroleum sludge, Proc.of the 22 th Mid-Atlantic Industrial Waste Conference.
23. JONES, L.W., 1990, Interference mechanisms in waste stabilization/solidification process. J. of Hazardous Materials, Vol. 24, 83-88, Elsevier Science Publishers.
24. KLEPPE, J.H., Otten, M.T., Finn, J.T., 1992, Stabilization/solidification of metal-contaminated soils: Two Case Histories, Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive and Mixed Wastes, 2nd Volume, ASTM STP 1123.
25. MORGAN, D.S. and NOVOA, J.L., 1984, Oil sludge solidification using cement 38.MITCHEL, J. K., Fundamental of Soil Behavior, Second Edication, University of California, Berkeley, 1992.
26. AKHTER, H., Butler, L.G., Branz, S., Cartledge, F.K. and Tittlebaum, M.E., 1990, Immobilization of As, Cd, Cr and Pb-containing soils by using cement or pozzolanic fixing agents, Journal of Hazardous Materials, Vol.24.
27. WINTERKORN, H.F., PAMUKÇU, S., 1991, Soil stabilization and grouting, Foundation Engineering Handbook, Winterkorn, H.F., Fang, H.Y., Van Nastrand Reinhold Company, New York.
28. NIKOLIC, O., LEGOVIC, B., 1988, Hazardous waste management and treatment in the largest Yugoslav Oil Refinery, Hazardous Waste: Detection, Control Treatment, Elsevier Publisher B.V., Amsterdam.
29. HIJAZI, H., 1990, Stabilized petroleum contaminented soils as construction material, Thesis, Master of Science in Civil Engineering, Lehigh University.
30. CZARNECKI, R.C., 1988, Making use of contaminated soil, Civil Engineering, December.
31. TOLMAN, A.L, BALLESTERO, A.P., BECK, W.W., EMRICH, G.H., MARTIN, A.W., 1978, Guidance manual for minimizing pollution from waste disposal sites, munipicial environmental research Laboratory Office of Research and Development, U.S.Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA 600/2.
32. RYAN, J.R., HANSON, M.L. and LOEHR, R.C., 1983, Land treatment practices in the petroleum industry land treatment, Hazardous Management

Alternative, Water Resources Symposium.

33. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 1978, Survey of solidification/stabilization technology for hazardous industrial wastes, municipal environmental research laboratory office of research development U.S. Environmental Protection Agency, Report No: EPA-600 / 2-79-056, Cincinnati, Ohio.
34. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 1992,. Silicate technology corporation's solidification/stabilization technology for organic and inorganic contaminants in soils. Applications analysis report. EPA/540/AR-92-10. Cincinnati, Ohio.
35. MERRIT, S.D., Batchelor, Little, D.N and Still, Michael.,1993, Applications of soil and cement chemistry to stabilization/solidification, Transportation Research Record, Nat. Research Council, No.1024.
36. PAMUKÇU, S., LYNN, J. B. and KUGELMAN, I.J., 1989, Solidification and re-use of steel industry sludge waste, Proc. of the 21 st Mid Atlantic Industrial Waste Conference, eds., Cole, C.A., and Long, D.A., Technomic Press, Lancaster.
37. EVCİMEN Y.,Eskişehir ili için çöp deponi alanı dizaynı,.Anadolu Üniversitesi,.Çevre mühendisliği bölümü,.Lisans bitirme tezi,Haziran 1998.
38. ISSMF Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics, Boshum, September 1997.
39. SHARMA, D.Harr, LEWIS P.Sam Geeta, Waste Containment Systems, Waste Stabilization and Landfills.
40. MILLOT (1970) ve GRIM (1968)'den çeviren Bülent Kiper, Killerin Jeolojik Özellikleri, Ankara, Şubat, 1977.
41. BRAJA, D., Principle of Geotechnical Engineering, Second Edition, 1990
42. ATANUR, A., 1973, Kireç Stabilizasyonu ve Yol Yapımındaki Tatbikatı, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No:208, Ankara, 1973.
43. ERGENE, A., Toprak Biliminin Esasları, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 1987.
44. GÖK, S., Kil Mineralleri ve Killerin Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama

Enstitüsü Endüstriyel Hammaddeler Daire Başkanlığı.

45. YURDAKOÇ, N., K., GÜZEL, F., VE TEZ, Z., 1989, Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) ve Belirleme Yöntemleri, 6. Ulusal Kil Sempozyumu.
46. PAMUKÇU, S. and WINTERKON, H. F., 1989, Soil stabilization and grouting, Ch. 9 in Foundation Engineering Handbook 2 nd ed, ed H, Y. Fang, (New York : Van Nostrand Reinhold).
47. TUNCAN, A., TUNCAN, M. ve KOYUNCU, H., 1996, Reuse of stabilized petroleum drilling wastes as sub-bases, 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, IS-Osaka96, M. Kamon, Editör, Vol.2, pp. 933-938, 5-8 Kasım, Osaka, Japan.
48. YÖRÜKOĞULLARI, E., Doğal Zeolitlerde Fiziksel Adsorpsiyon Uygulamaları, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Eskişehir, 1997.
49. ASTM, 1985, Annual book of ASTM standards, Natural building stones; soil and rock. (1985). Vol. 04.08, ASTM, Philadelphia, Pa.
50. GÜNAY, T., Orman Toprak Laboratuvarının Kuruluş ve Esasları ve Laboratuvar Teknikleri Semineri, 4/8 Nisan, Eskişehir, 1994.

EKLER

EK1. Literatürdeki Zemin, Sızıntı Suyu ve İçme Suyu için verilen Kirlilik Sınır Değerleri

EK2.Laboratuvarda Hazırlanan Karışımların Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

EK3. Kullanılan Malzemelerin, İlave Malzemelerin ve Karışımların Özellikleri

Çizelge EK. 1.1. Literatürde katı atıkları değerlendirme ve bertaraf tesisleri*

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
BOİ ₅	mg/l	100	50
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/l	160	100
Askıda Katı Madde	mg/l	200	100
Oil ve Grease	mg/l	20	10
Toplam Fosfor (PO ₄ -P)	mg/l	2	1
Toplam Krom	mg/l	2	1
Krom (Cr ⁺⁶)	mg/l	0.5	0.5
Kurşun (Pb)	mg/l	2	1
Toplam Siyanür (CN ⁻)	mg/l	1	0.5
Kadmiyum (Cd)	mg/l	0.1	----
Demir (Fe)	mg/l	10	----
Florür (F ⁻)	mg/l	15	----
Bakır(Cu)	mg/l	3	----
Çinko (Zn)	mg/l	5	----
Balık Biyodeneyi (ZSF)	mg/l	10	----
PH	----	6-9	6-9

*Türk Standartları -Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 4.9.1988 T. ve 19919 No.R.G.

Çizelge EK. 1.2. Literatürde içme suyunda müsaade edilen metallerin maksimum limitleri.

Metaller	Japon Temiz Su Kanununa Göre ¹ (mg/l)	U.S. EPA İçme Suyu Standardı ² (mg/l)	İçme Suyu Standardı ³ (mg/l)	İçme Suyu Standardı ⁴ (mg/l)	Avrupa Topluluğu İçme Suyu Standardı ⁵ (mg/l)	Kıta İçi Su Kaynakları Kontrolü ⁶ (ppm)
Arsenik (As)	0.5	0.05	---	<0.01	0.04	---
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 ⁻)	---	---	---	---	0.05	---
Nitrat (NO ₃ ⁻)	---	---	---	---	50	---
Nitrat (NO ₃ ⁻)	---	---	---	---	50	---
Aromatik Hidrokarbon	---	---	---	---	0.0002	---

¹Kamon, e al. (1991), ²Kern, et al. (1988), ³Environment Canada (1979), ⁴Pardus (1988), ⁵Water Environment Federation (WEF) (1993), ⁶Resmi Gazete (1991).

Çizelge EK. 1.3. Literatürde leachate (sızıntı) suyu içindeki organikler ve tuzların maksimum limitleri.

Organikler ve Tuzlar	İçme Suyu Standardı ¹ (mg/l)	Deşarj Standardı ² (mg/l)	Su İçinde Kabul Edilebilir Değer ³ (mg/l)	Su İçinde Kabul Edilebilir Değer ⁴ (mg/l)
Oil&Grease	15	10	---	100
Benzol	---	---	0.005	---
Fenol	0.02	1	---	0.5
Naftalin	---	---	0.62	---
Sülfat	---	10	---	1
Klorür	250	---	---	600
Ph	---	6-9	---	---
Sodyum	---	---	---	---
Elektriksel İletkenlik (mohs/cm)	23	---	---	---

¹Environment Canada (1979); ²Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (1988); ³Stephanatos, et al. (1988); ⁴Lagrega, et al. (1990).

Çizelge EK. 1.4. Literatürde leachate (sızıntı) suyu için müsaade edilen metallerin maksimum limitleri.

Metaller	TCLP ^a (mg/l)	ASTM ^a (mg/l)	EP Toxicity ^b (mg/l)	Literatürde Bulunan Değerler		
				Sızıntı Suyu ^c (mg/l)	Sızıntı Suyu ^a (mg/l)	Atık Suları ^d (mg/l)
Alüminyum (Al)	----	----	----	----	3.900	----
Arsenik (As)	0.70	0.04	5.0	----	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	204.000	----
Gümüş (Ag)	<0.01	<0.01	5.0	----	10	----
Kadmiyum (Cd)	<0.02	<0.02	1.0	0.3-17	20	100
Kalsiyum	----	247	----	----	304.000	----
Krom (Cr)	<0.01	<0.01	5.0	0.2-18	370	500
Kurşun (Pb)	<0.035	<0.035	5.0	0.001-2	330	500
Nikel (Ni)	----	----	----	0.2-79	----	134
Magnezyum (Mg)	----	<1.0	----	----	510	----
Potasyum (K)	----	----	----	----	1.100	----
Selenyum (Se)	<0.01	<0.01	1.0	----	14	----
Sodyum (Na)	----	----	----	----	1.100	----

^aFoxworthy, et al. (1996); ^bTaha (1993) ve Morgan (1984); ^cRay, et al. (1986); ^dSchurger (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).

Cizelge EK. 1.5. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum toplam metal miktarları

Metaller	Hollanda Normu Kirlenmiş Topraklar için Toprak Kriterleri-1990 ^a			Yeni Zelanda Normu Tavsiye Edilen Toprak Kalite Değerleri ^b (mg/kg)		Almanya Normu ^c (mg/kg)			ABD EPA ^d (mg/kg)	Türkiye ^b Çevre Bakanlığı ^e (mg/kg)
	(mg/kg)			Temiz Toprak	Araştırma Gerektirir	Arıtma Çamuru Sınır Değer	Toprak Sınır Değeri	Normal Topraklar	Kirli Zeminlerde Maksimum Değerler	Toprak
Temiz Toprak	Araştırma Gerektirir	Islah Gerektirir								
Antimon (Sb)	----	----	----	4 -44	20	----	----	----	----	----
Arsenik (Ar)	29	30	50	0.2-30	20	(80)	(20)	2-20	5	----
Bakır (Cu)	36	100	500	1-190	60	1200	100 (70)	2-40	----	100
Baryum (Ba)	200	400	2000	20-200	----	----	----	----	----	----
Bor (B)	----	----	----	1-75	----	80-120	(25)	5-80	----	----
Civa (Hg)	0.3	2	10	0.001-0.1	2	25	2	<0.5	----	----
Çinko (Zn)	140	500	3000	2-180	200	3000	300 (150)	10-80	----	300
Demir (Fe)	----	----	----	-	----	----	----	----	100	----
Kadmiyum (Cd)	0.8	5	20	0.04-2	3	20	3 (1)	<0.5	0.5	3
Kalay (Sn)	20	50	300	1-25	50	----	----	----	----	----
Kobalt (Co)	20	50	300	2-170	----	----	----	----	----	----
Krom (Cr)	100	250	800	0.5-110	50	1200	100	5-100	----	100
Kurşun (Pb)	85	150	600	2-200	300	1200	100	2-60	5	100
Mangan (Mn)	----	----	----	4-12600	500	----	----	----	50	----
Molibden (Mo)	10	40	200	<1-20	----	----	----	----	----	----
Nikel (Ni)	35	100	500	2 - 400	60	200	50	5-50	100	50
Selenyum (Se)	----	----	----	----	----	----	(5)	0.01-1.0	----	----
Talyum (Tl)	----	----	----	----	----	----	(1)	<0.5	----	----
Uranyum (U)	----	----	----	----	----	----	(5)	<0.5	----	----

^{a,b} Water Environment Federation (WEF), 1993; ^c Ülken, 1987; ^d Saarela, 1992; ^e Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliği, 1994.

Çizelge EK. 1.6. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum toplam metal miktarları*.

Metaller	İngiltere (mg/kg hava kurusu zemin) Kullanım Yeri	İngiltere (mg/kg hava kurusu zemin) Başlangıç Sınır Değeri
Arsenik (Ar)	Ev Bahçeleri,	10
	Parklar, Oyun Alanları, Açık Yerler	40
Bakır (Cu)	Herhangi Bir Bitki Yetişen Yerde	130
Bor (B)	Herhangi Bir Bitki Yetişen Yerde	3
Civa (Hg)	Ev Bahçeleri,	1
	Parklar, Oyun Alanları, Açık Yerler	20
Çinko (Zn)	Herhangi Bir Bitki Yetişen Yerde	300
Kadmium (Cd)	Ev Bahçeleri,	3
	Parklar, Oyun Alanları, Açık Yerler	15
Krom (Cr) (IV)	Ev Bahçeleri, Parklar,	600
	Oyun Alanları, Açık Yerler	600
Krom (Cr) (Toplam)	Ev Bahçeleri,	600
	Parklar, Oyun Alanları, Açık Yerler	1000
Kurşun (Pb)	Ev Bahçeleri,	500
	Parklar, Oyun Alanları, Açık Yerler	2000
Nikel (Ni)	Herhangi Bir Bitki Yetişen Yerde	70
Selenyum (Se)	Ev Bahçeleri,	3
	Parklar, Oyun Alanları, Açık Yerler	6

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

Çizelge EK. 1.7. Literatürde Kirli zeminler ve yeraltı suyu için verilen maksimum toplam metal miktarları*.

Metaller	Berlin Listesi-1							Berlin Listesi-2	
	Zemin				Yeraltı Suyu			Zemin	Yeraltı
	(mg/kg kuru ağırlık)				(mg/l)			(mg/kg kuru ağırlık)	Suyu (µg/l)
	Ia	Ib	II	III	I	II	III		
Arsenik (Ar)	10	7	20	40	40	60	80	5	40
Bakır (Cu)	200	100	500	----	40	60	----	100	40
Civa (Hg)	0.5	0.5	1	10	1	2	3	0.25	1
Çinko (Zn)	----	----	2000	3000	1000	1500	2000	----	500
Kadmiyum (Cd)	2	4.5	10	20	5	10	15	1	5
Kalay (Sn)	100	100	300	1000	40	100	150	50	----
Kobalt (Co)	100	100	200	----	----	----	200	50	50
Krom (Cr Toplam)	----	100	400	----	50	100	200	75	50
Krom (Cr ⁺⁴)	----	5	25	50	20	30	40	205	20
Kurşun (Pb)	100	100	500	600	40	60	150	50	40
Nikel (Ni)	200	50	----	----	----	75	150	100	20

Ia:Tutulma Alanı İçinde (Within Capture Zone), Ib:Within Restricted Area, II:Nehir Vadileri/Alüvyonlar (River valley/Aluvium), III:Akiferin olmadığı yerde (No Aquifer)
*Kaynak: Water Environment Federation (WEF) (1993).

Çizelge EK. 1.8. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum toplam metal miktarları (mg/kg).

Kullanım Yerleri		Arsenik (Ar)	Bakır (Cu)	Civa (Hg)	Berilyum (Be)	Çinko (Zn)	Kadmiyum (Cd)	Kalay (Sn)	Krom (Cr)	Kurşun (Pb)	Nikel (Ni)	Selenyum (Se)
Bütün Kullanım Alanlarında		20	50	0.5	1	150	1	0.5	50	100	40	1
1- Oyun Alanlarında	I	20	50	0.5	1	300	2	0.5	50	200	40	5
	II	50	250	10	5	2000	10	10	250	1000	200	20
2- Bahçelerde	I	40	50	2	2	300	2	2	100	300	80	5
	II	80	200	20	5	600	5	20	350	1000	200	10
3- Stadyumlar ve Spor Yapılan Sahalarda	I	35	100	0.5	1	300	2	2	150	200	100	5
	II	90	300	10	2.5	2000	5	20	350	1000	250	20
4- Parklar ve Yeşil Sahalarda, Az Bitki Yetiştirilen Yüzeylerde	I	40	200	5	5	1000	4	5	150	500	100	10
	II	80	600	15	15	3000	15	30	600	2000	250	50
5- Endüstriyel Alanlarda ve Yeşillendirilmemiş Alanlarda-	I	50	300	10	5	1000	10	10	200	1000	200	15
	II	150	1000	20	20	3000	20	30	800	2000	500	70
6- Endüstri Ambar ve Depolarda, Bitki Yetiştirilen Bölgelerde	I	50	500	10	10	1000	10	10	200	1000	200	15
	II	200	2000	50	20	3000	20	30	800	2000	500	70
7- Sebze ve Meyve Ekilen Alanlarda	I	40	50	10	10	300	2	2	200	500	100	5
	II	50	200	50	20	600	5	20	500	1000	200	10
8- Bitkiler Hariç Bütün Canlıların Olduğu Yerlerde	I	40	50	10	10	300	5	2	200	1000	100	5
	II	50	200	50	20	600	10	20	500	2000	200	10

I-Kabul Edilebilir Değerler, II- Tehlike Sınırı Değerleri
*Kaynak: Water Environment Federation (WEF). (1993).

Çizelge EK. 1.9. Literatürde kirlenmemiş topraklarda elementlerin ortalama miktarları* (mg/kg).

	Toprak	Yerkabuğu	Kireç Taşı	Kil Taşı
Arsenik (As)	1-15	3.5	2.5	10
Bakır (Cu)	2-40	35	4	45
Brom (B)	5-80	10	20	100
Civa (Hg)	0.02-0.5	0.02	0.03	0.45
Çinko (Zn)	10-80	70	25	95
Kadmiyum (Cd)	0.1-0.5	0.1	0.16	0.13
Kobalt (Co)	1-40	18	2	20
Krom (Cr)	5-100	80	11	90
Kurşun (Pb)	2-60	15	5	22
Mangan (Mn)	2-800	800	700	700
Molibden (Mo)	0.2-5	1.5	0.4	1.3
Nikel (Ni)	5-50	45	15	70
Talyum (Ti)	0.02-0.5	0.5	0.03	0.7

*Ergene, 1987.

Çizelge EK. 1.10. Literatürde kirli zeminler için verilen minerallerin tavsiye edilen kirlilik değerleri*.

Mineraller	Kirlenmiş Topraklar için Toprak Kriterleri-Hollanda			Yeni Zelanda Normu		Alman Normu	
	Temiz Toprak	Araştırma Gerektirir	Islah Gerektirir	Temiz Toprak	Araştırma Gerektirir	Toprak Sınır Değeri	Normal Topraklar
Florür (F)	400	500	2000	----	----	200	20-400
Sülfür (S)	2	20	200	----	----	----	----
Sülfat	----	----	----	35-1000	2000	----	----
Bromür (Br)	20	50	300	20	50	----	----
Siyanür (CN)	----	----	----	----	----	----	----
Toplam Serbest	1	10	100	----	----	5	----
Toplam Kompleks	5	50	500	----	----	----	----
PH	----	----	----	6-8	----	----	----

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

Çizelge EK. 1.11. Literatürde kirli zeminler için verilen maksimum mineral miktarları*.

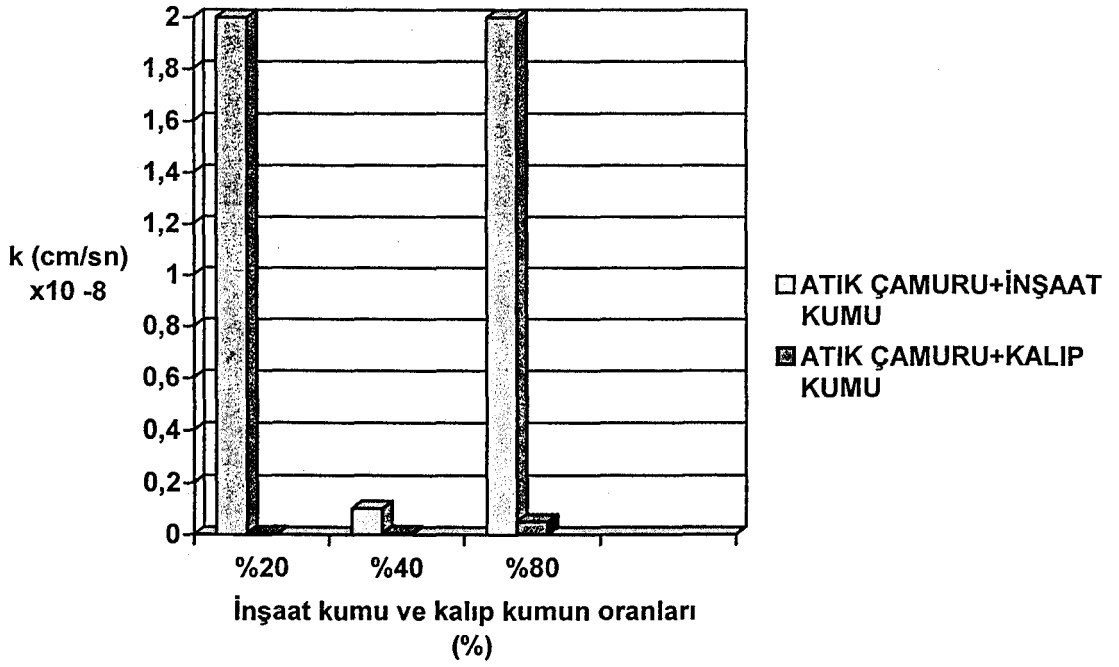
Mineraller	İngiltere (mg/kg hava kurusu zemin)		
	Kullanım Yeri	Başlangıç Sınır Değeri	Etki Eden Değeri
Sülfür (S)	Bütün Kullanım Yerlerinde	5000	20000
Sülfat	Ev Bahçeleri, Parklar, Kır Alanları	2000	10000
	Yapı Alanları	2000	50000
	Sık Ağaçlık ve Çalılıklar	2000	Yok
Sülfat	Bütün Kullanım Yerlerinde	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).

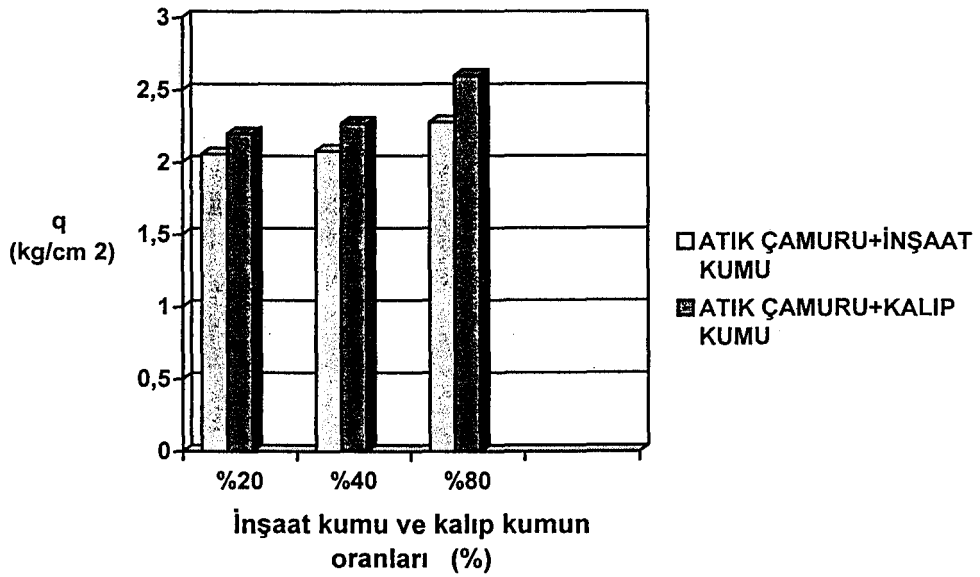
Çizelge EK. 112. Literatürde kirli zeminler ve yeraltı suyu için verilen minerallerin kirlilik sınırları*.

Mineraller	Berlin Listesi-1							Berlin Listesi-2	
	Zemin (mg/kg kuru ağırlık)				Yeraltı Suyu (mg/l)			Zemin (mg/kg kuru ağırlık)	Yeraltı Suyu (µg/l)
	Ia	Ib	II	III	I	II	III		
Siyanür (CN)									
Toplam Serbest	1	1	----	10	5	10	50	0.5	5
Toplam Kompleks	25	25	50	100	----	100	200	10	50
Sülfatlar	----	----	----	----	240	----	1000	----	240
Fosfatlar	----	----	----	----	----	700	----	----	500
Nitritler	----	----	----	----	100	200	----	----	20
Nitratlar	----	----	----	----	----	100	200	----	20
Amonyum	----	----	----	----	----	3000	4000	----	500
Florin	----	100	1000	2000	----	3000	4000	250	700

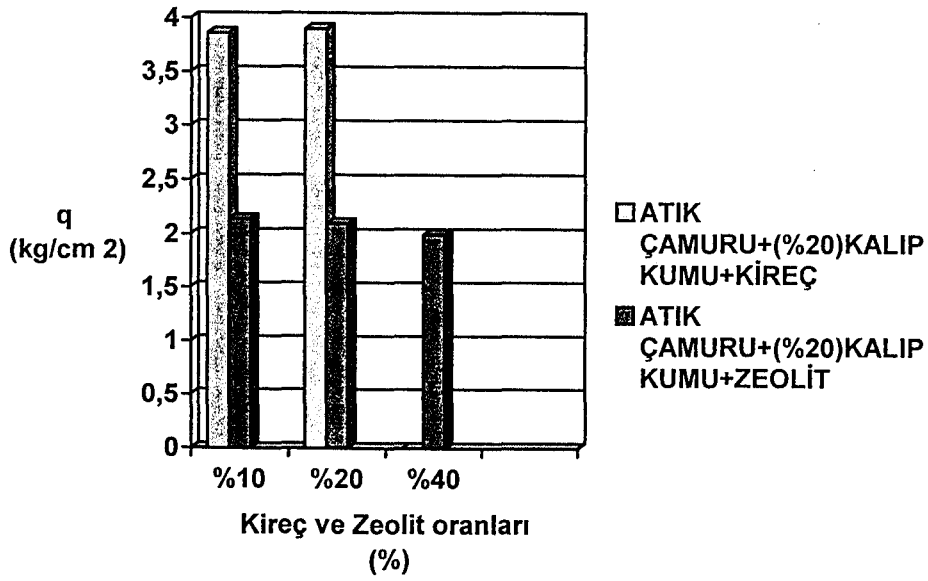
Ia: Within Capture Zone, Ib: Within Restricted Area, II: River valley/Aluvium, III: No Aquifer
 *Kaynak: Water Environment Federation (WEF) (1993).



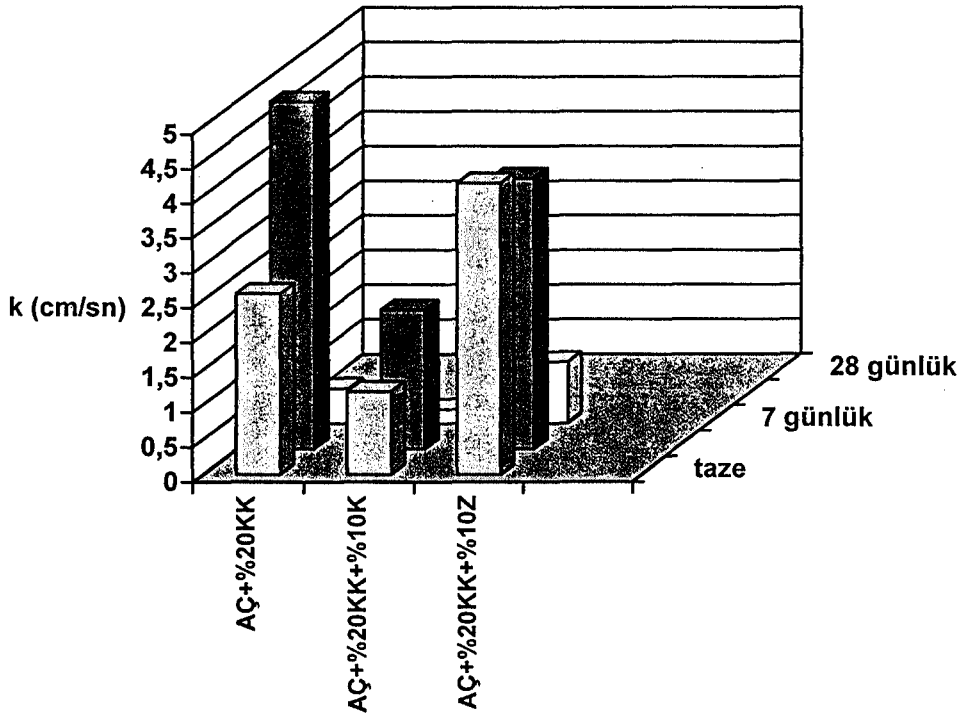
Şekil EK.2.1. Kum ve kalıp kumu ilaveli karışımların permeabilite katsayısı değerleri



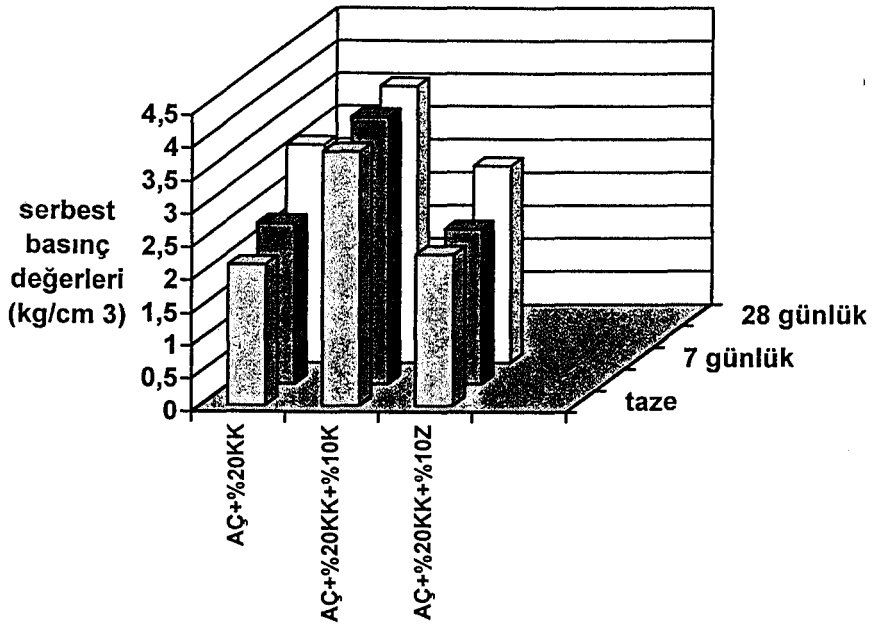
Şekil EK.2.2. Kum ve kalıp kumu ilaveli karışımların serbest basınç mukavemet değerleri



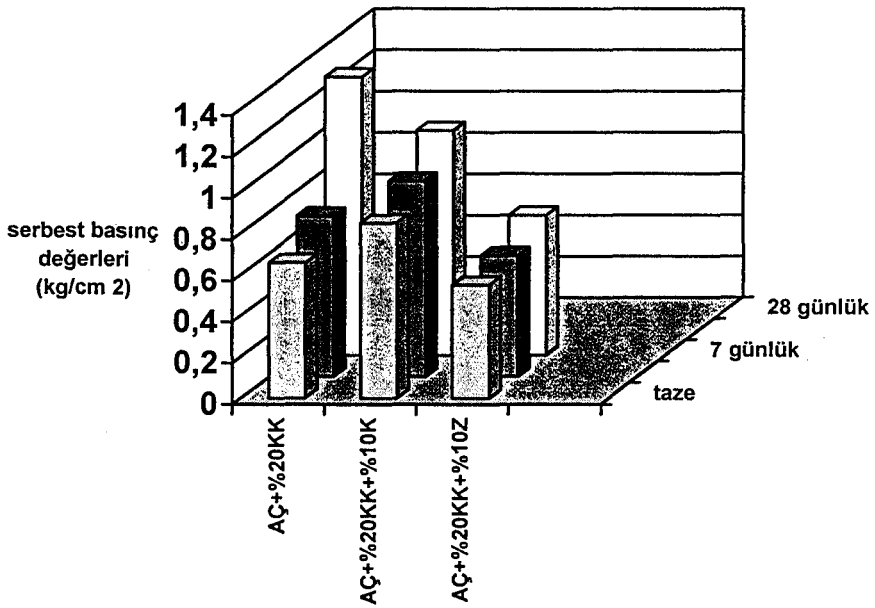
Şekil EK.2.3. Kireç ve zeolit ilaveli karışımların serbest basınç mukavemet değerleri



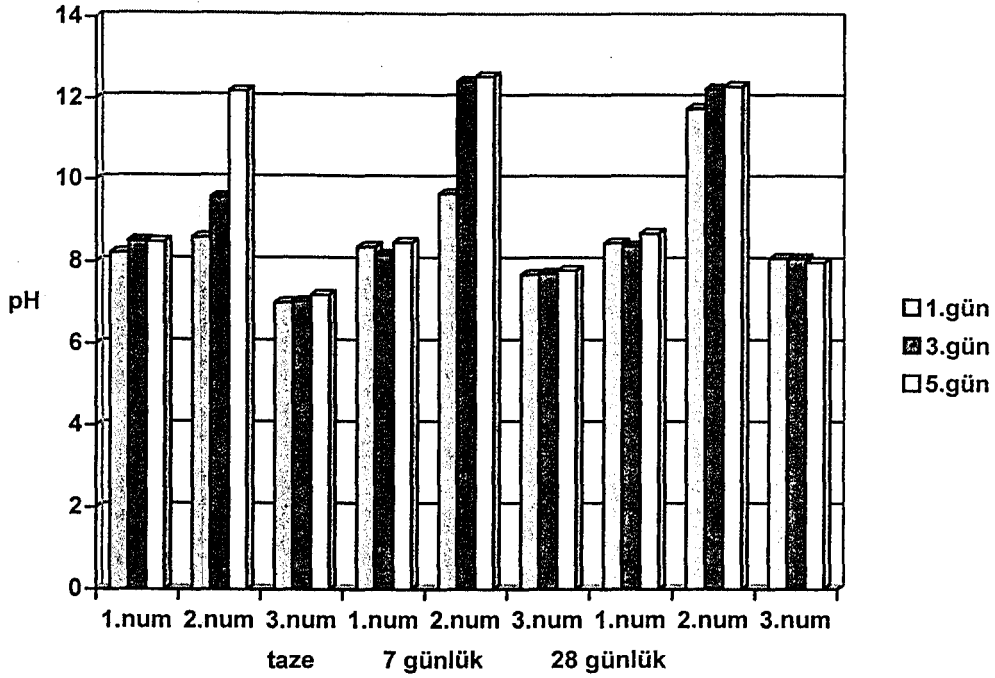
Şekil EK.2.4. Karışımların Permeabilite Katsayısı değerleri



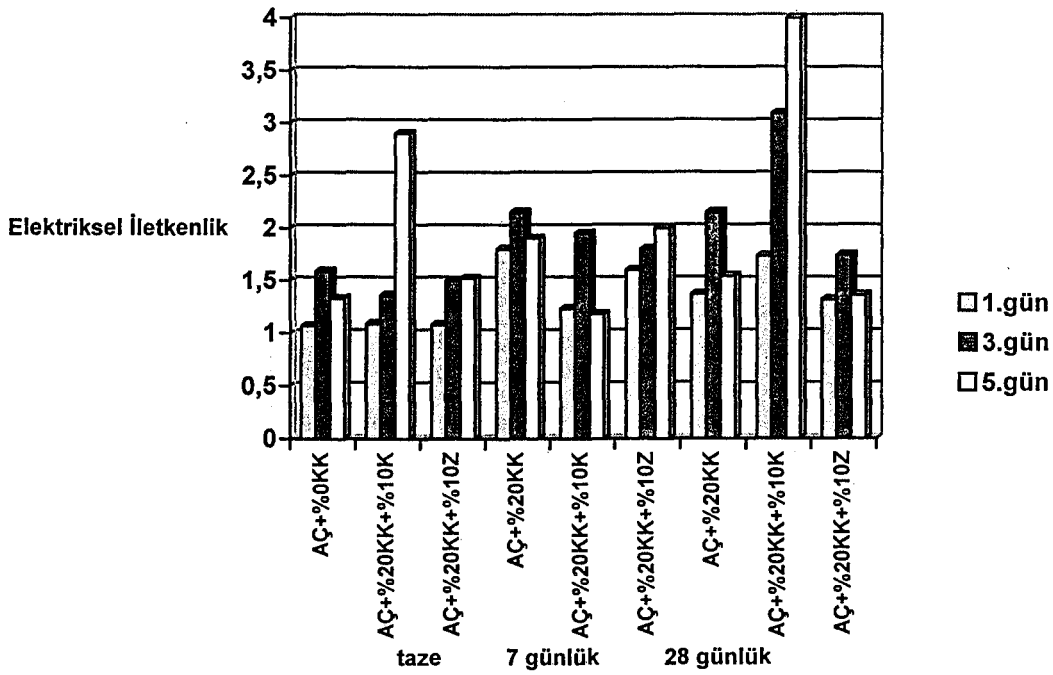
Şekil EK.2.5. Karışımların serbest basınç mukavemet değerleri



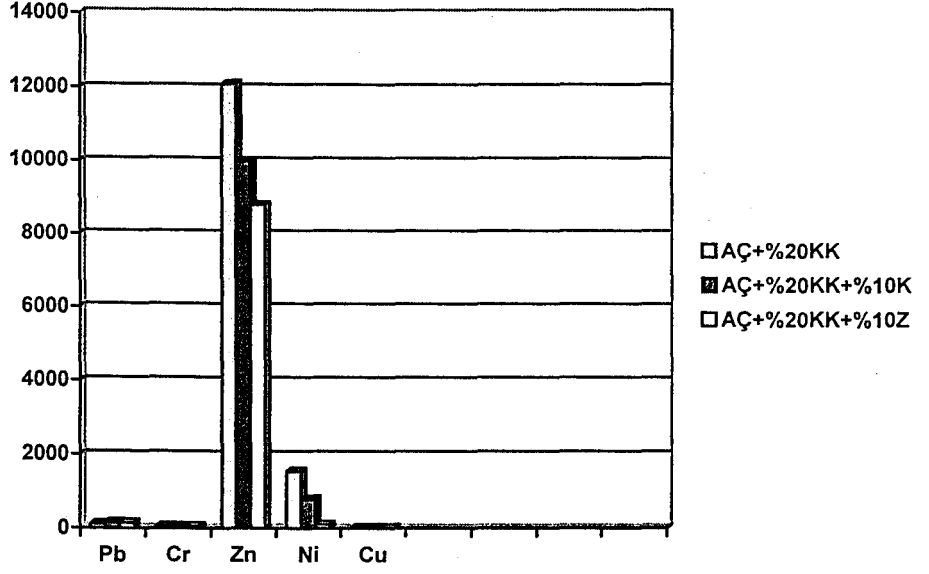
Şekil EK.2.6. Karışımların permeabilite sonrası serbest basınç mukavemet değerleri



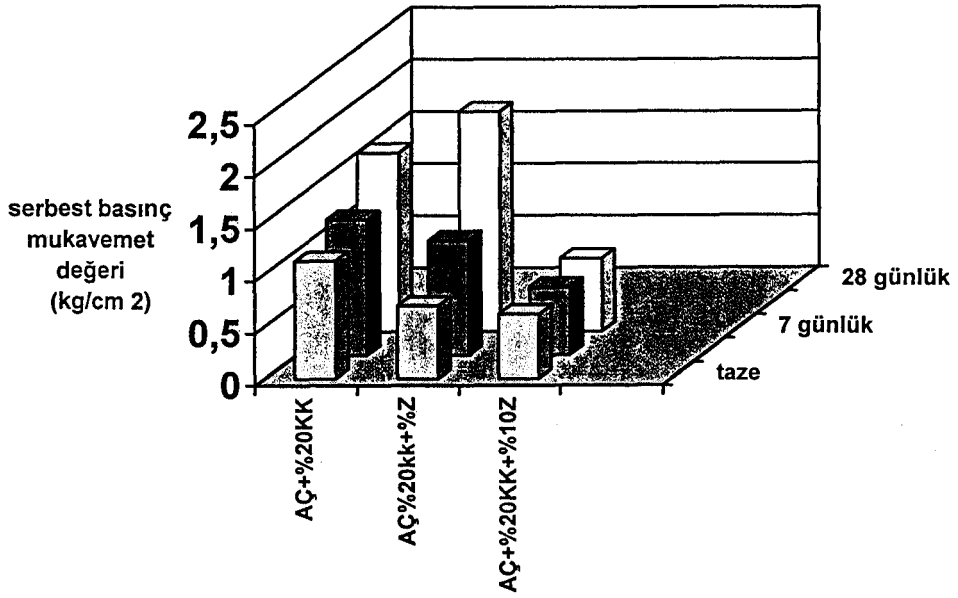
Şekil EK.2.7. Karışımların pH değerleri



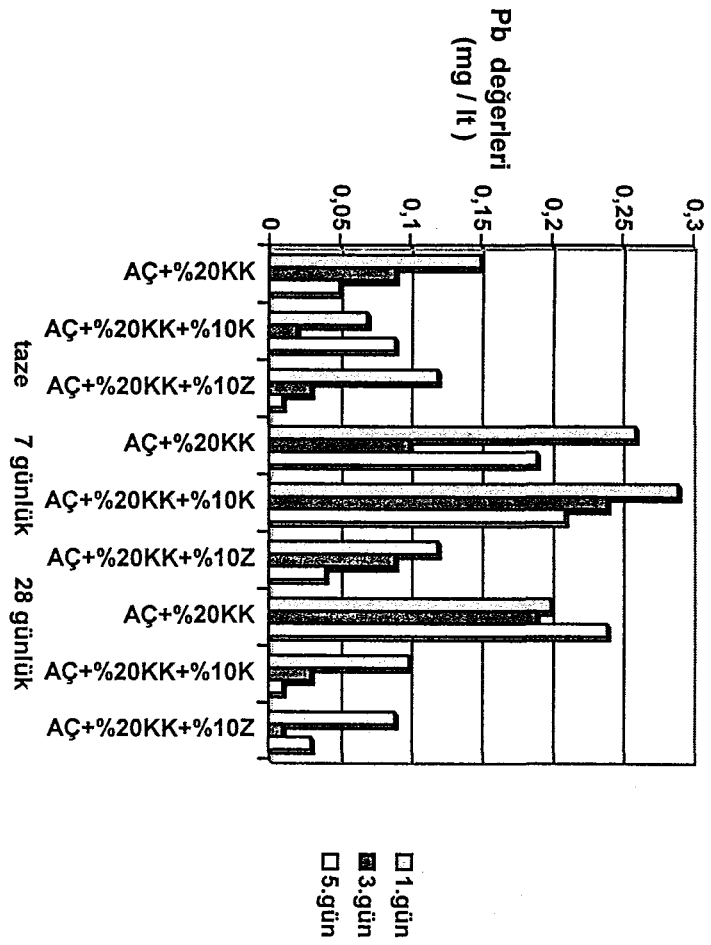
Şekil EK. 2.8. Karışımların elektriksel iletkenlik değerleri



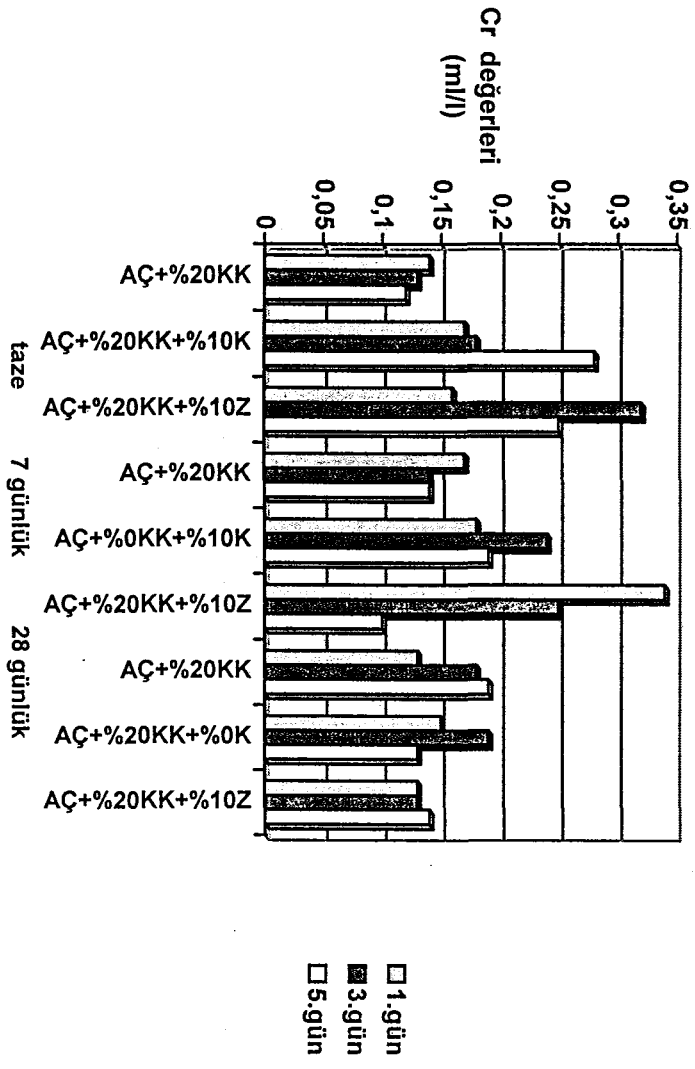
Şekil EK. 2.9. Karışımların toplam metal miktarları



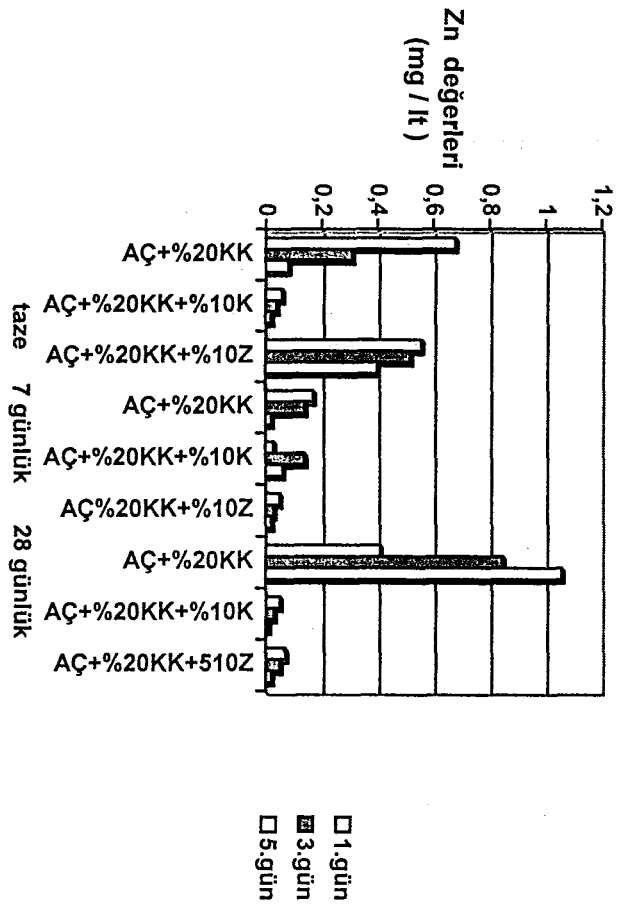
Şekil EK. 2.10. Sızıntı sonrası serbest basınç mukavemet değerleri



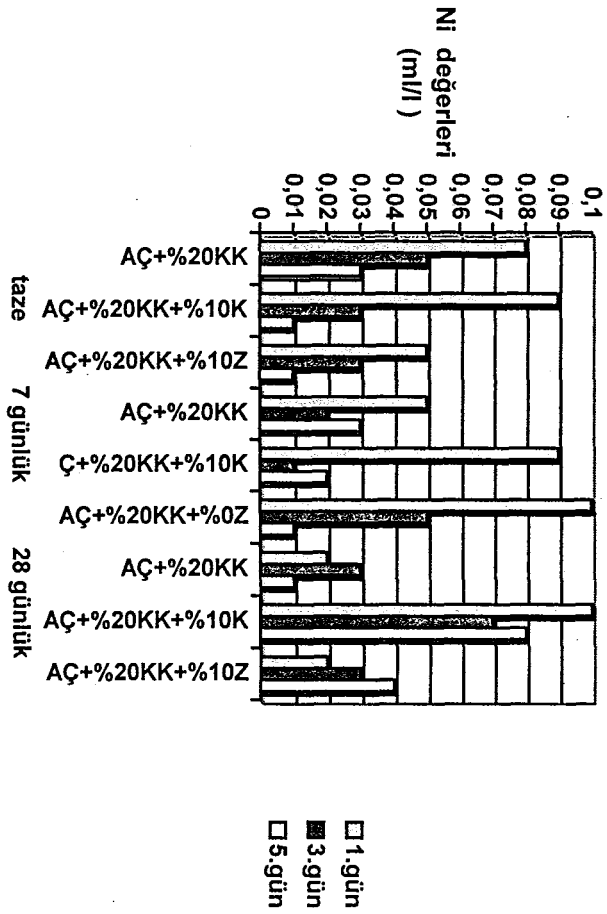
ekil EK. 2.11. Sızıntı suyu içindeki kurşun miktarı



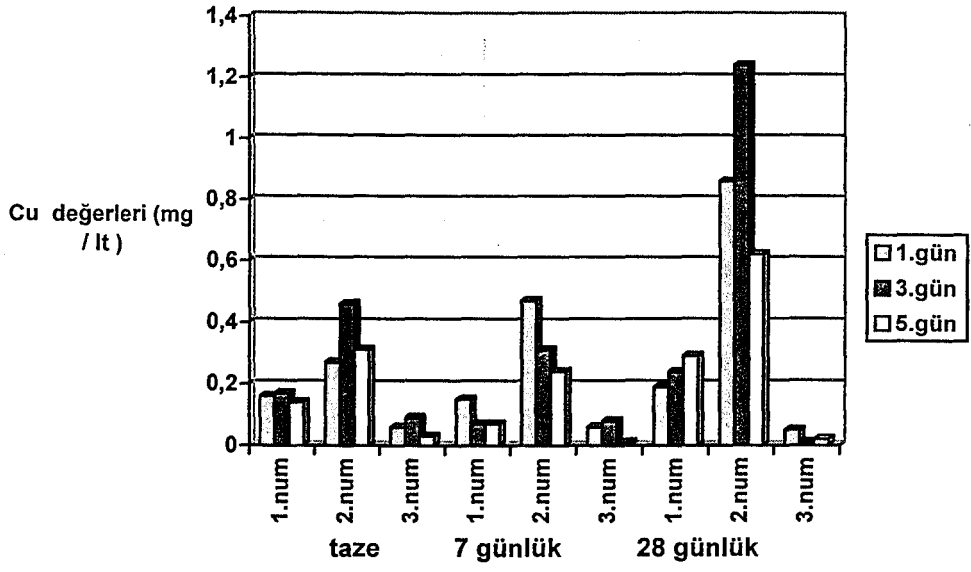
Şekil EK. 2.12. Sızıntı suyu içindeki krom miktarı



Şekil EK. 2.13. Sızıntı suyu içindeki çinko miktarı



Şekil EK. 2.14. Sızıntı suyu içindeki nikel miktarı



Şekil EK. 2.15. Sızıntı suyu içindeki bakır miktarı

Çizelge EK. 3.1. Kullanılan Malzemelerin, İlave Malzemelerin ve Karışımların Özellikleri

	pH	KDK (meq/100g)	Eİ (mS/cm)	OMM (%)	Ca (%)	Ağır Metal Miktarı (ppm)				
						Pb	Cr	Zn	Ni	Cu
AÇ	8,16	20,65	0,38	0,87	2,20	122	61	4500	125	13
Z	8,23	165	0,44	0,25	2,94	30	0,9	25	3	5
K	9,00	43	1,02	1,50	0,73	72	19	44	60	12
ÇS	7,36	-	1,29	-	-	0,02	1,92	0,42	6,02	0,03
AÇ+%20KK	8,05	32,61	1,34	0,83	4,42	152	69	4200	720	24
AÇ+%20KK+%10K	10,10	15,22	1,12	1,72	14,76	167	60	3700	801	26
AÇ+%20KK+%10Z	7,99	34,78	0,59	0,69	5,88	146	58	3300	104	19

AÇ: Atık çamuru, KK: Kalıp kumu, K: Kireç, Z: Zeolit, ÇS: Çöp suyu, Ca:Kalsiyum miktarı,

Eİ:Elektriksel iletkenlik, KDK:Katyon değişim kapasitesi, OMM:Organik madde miktarı.