

AFYON ATIK MERMER TOZLARININ VE ŞIRNAK  
ASFALTİTLERİN  
ATIK DEPOLAMA ALANLARI TABAKALARINDA  
KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Lemi Tufan TAŞPOLAT

Danışman  
Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Afyonkarahisar 2006

T.C.  
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFYON MERMER TOZLARININ VE ŞIRNAK ASFALTİTLERİN  
ATIK DEPOLAMA ALANLARI TABAKALARINDA  
KULLANILMASI

Lemi Tufan TAŞPOLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı  
Danışman  
Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER

AFYONKARAHİSAR  
2006

Lemi Tufan TAŞPOLAT'nın yüksek lisans / doktora tezi olarak hazırladığı "Afyon Atık Mermer tozlarının ve Şırnak Asfaltitlerinin Atık Depolama Alanları Tabakalarında kullanılması" başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

27 / 09 / 2006

Jüri Üyesi : Doç. Dr. İsmail DEMİR  
(Başkan)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER  
(Danışman)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hakan KOYUNCU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .....Gün  
ve .....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

## ÖZET

Bu çalışmada; Geçirimsiz kil tabakalarında, Afyon atık mermer tozu ve Şırnak Asfaltit tozlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Geçirimsiz kil tabakası olarak kaolin (%90) ve bentonit (%10) kullanılmış ve 90K10B olarak adlandırılmıştır. Bu kil karışımına %5, %10, %15 oranında mermer tozu ve asfaltit tozu ilave edilmiştir.

Hazırlanan her bir karışım üzerinde Geoteknik (üç eksenli, permeabilite, dane çapı dağılımı, Atterberg kıvam limitleri, elek analizi ve hidrometre deneyleri), kimyasal (Ph, Elektriksel iletkenlik, Katyon Değişim Kapasitesi) deneyleri uygulanmıştır.

Deneylelerdeki sonuçlar literatür ve katı atık yönetmeliği ile karşılaştırılmış ve her iki malzemenin de geçirimsiz tabakalarda kullanılabilirliğine karar verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Katı atık depolama alanı, Asfaltit, pH, Bentonit, Elektriksel iletkenlik.

## ABSTRACT

In this study, kaolin (%90) and bentonite (%10) was used as impermeable clay layer and this layer is named 90K10B. Marble powder and asphaltite powder are added to this mix as %5, %10, %15 ratio.

Experimental tests performed all at the mixtures that geotechnical, (trial excel , permeability, Gronulometer, Atterberg limits, elect analysis and hydrometer experiments), chemical (Ph, electrical conductivity, Catyone exchange capacity) experiment are applied on the mix.

The results also that experiments, comparisons with literature and solid waste regutation and was decided to used at landfill liners at two materials.

**Keywords:** solid waste storage area, asphaltite, pH(phenyl), bentonite, electrical conductivity.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. ATIK DEPOLAMA ALANI DİZAYNI.....	9
3.1 Giriş.....	9
3.2 Literatürde Atık Depolama Alanı Dizayn Parametreleri.....	10
3.2.1 Arazi eğimi.....	10
3.2.2 Geçirimsiz tabaka sistemi.....	10
3.2.2.1 Geçirimsiz tabaka yapımında kullanılan malzemeler.....	10
3.2.2.2 Geçirimsiz tabaka uygulamaları.....	11
3.2.3 Sızıntı suyu drenajı.....	13
3.2.4 Gaz drenajı.....	16
3.2.5 Çöp dolgu kümesinin yüksekliği.....	17
3.2.6 Geçirimsiz kil tabakası yerleştirilmesinden sonra sıkıştırma yapılması.....	18
3.2.7 Üst örtü tabaka dizaynı.....	19
3.3 Düzenli Depolama Metodları.....	23
3.3.1 Alan metodu.....	23
3.3.2 Hendek metodu.....	24
3.3.3 Rampa metodu.....	24
3.3.4 Ufalanmış katı atıkların düzenli depolanması.....	24
3.4 Düzenli Atık Depolama Sahası Tasarım Kriterleri.....	25
3.4.1 Yer seçimi.....	25
3.4.1.1 Ön etüdler.....	30

3.4.1.2 EPA yöntemi.....	31
3.5 Uluslar arası sözleşmeler.....	38
3.5.1 Basel sözleşmesi.....	38
4. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ.....	39
4.1 Na Bentonit Kili.....	39
4.2 Kaolin Kili.....	40
4.3 Atık Mermer Tozu.....	40
4.4 Asfaltit Tozu.....	41
4.4.1 Asfaltitin oluşumu.....	41
4.4.2 Asfaltitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	42
4.4.3 Asfaltitin rezerv, üretim ve tüketim durumu.....	42
4.4.4 Asfaltitin kullanım alanları.....	43
5. DENEY YÖNTEMLERİ.....	45
5.1 Geoteknik Özellikler.....	45
5.1.1 Fiziksel (indeks) özellikleri.....	45
5.1.1.1 Özgül ağırlık.....	45
5.1.1.2 Dane çapı dağılımı.....	46
5.1.1.3 Atterberg kıvam limitleri.....	46
5.1.1.4 Zeminlerin sınıflandırılması.....	47
5.2 Mekanik Özellikler.....	47
5.2.1 Kompaksiyon deneyi.....	47
5.2.2 Permeabilite deneyi.....	48
5.2.3 Üç eksenli UU deneyi.....	49
5.2.4 Serbest basınç deneyi.....	51
5.3 Fiziko-Kimyasal Özellikler.....	51
5.3.1 pH.....	51
5.3.2 Katyon değişim kapasitesi (KDK).....	52
5.3.3 Elektriksel iletkenlik.....	53
5.3.4 Organik Madde Miktarı.....	53
5.3.5 Sızıntı Deneyi.....	54
5.4 Çevresel Şartlara Ait Özellikler.....	54
5.4.1 Donma ve çözünme.....	54

6.ASFALTİT TOZU ve KİL KARIŞIMLARININ DENEY SONUÇLARI.....	55
6.1 Karışımlar ve Oranları.....	55
6.2 Geoteknik Deney Sonuçları.....	56
6.2.1 Karışımların fiziksel (indeks) Özellikleri.....	56
6.2.1.1 Özgül ağırlık deneyi.....	56
6.2.1.2 Dane çapı dağılımı.....	57
6.2.1.3 Atterberg kıvam limitleri.....	58
6.2.1.4 Zeminlerin sınıflandırılması.....	61
6.3 Karışımların Mekanik Özellikleri.....	63
6.3.1 Kompaksiyon.Deneyi.....	63
6.3.2 Permeabilite Deneyi.....	64
6.3.3 Üç eksenli UU Deneyi.....	64
6.3.4 Serbest basınç deneyi.....	66
6.4 Karışımların Fiziko-Kimyasal Özellikleri.....	67
6.4.1 pH.....	67
6.4.2 Katyon değişim kapasitesi(KDK).....	68
6.4.3 Elektriksel iletkenlik.....	68
6.4.4 Organik madde miktarı.....	69
6.4.5 Sızıntı deneyi.ve toplam metal miktarı.....	69
6.5 Karışımların Çevresel Özellikleri.....	70
6.5.1 Zeminin donması sırasında görülen olaylar.....	70
6.5.2 Donma ve çözünme.....	71
7. AFYON ATIK MERMER TOZU ve KİL KARIŞIMLARININ DENEY SONUÇLARI.....	72
7.1 Karışımlar ve Oranları.....	72
7.2 Geoteknik Deney Sonuçları.....	73
7.2.1 Karışımların fiziksel (indeks) özellikleri.....	73
7.2.1.1 Özgül ağırlık deneyi.....	73
7.2.1.2 Dane çapı dağılımı.....	73
7.2.1.3 Atterberg kıvam limitleri.....	74
7.2.1.4 Zeminlerin sınıflandırılması.....	78



7.3 Karışımların Mekanik özellikleri.....	79
7.3.1 Kompaksiyon Deneyi.....	79
7.3.2 Permeabilite Deneyi.....	80
7.3.3 Üç eksenli UU Deneyi.....	81
7.3.4 Serbest basınç deneyi.....	82
7.4 Karışımların Fiziko-Kimyasal Özellikleri.....	83
7.4.1 pH.....	83
7.4.2 Katyon değişim kapasitesi(KDK).....	84
7.4.3 Elektriksel iletkenlik.....	84
7.4.4 Organik madde miktarı.....	85
7.4.5 Sızıntı deneyi ve Toplam metal miktarı.....	86
7.5 Karışımların Çevresel Özellikleri.....	86
7.5.1 Zeminin donması sırasında görülen olaylar.....	86
7.5.2 Donma ve çözünme.....	87
8. AFYON MERMER TOZLARININ VE ŞIRNAK ASFALTİTLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLARI.....	89
8.1 Kıvam Limitleri Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	89
8.2 Permeabilite deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	92
8.3 Üç eksenli kesme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	92
8.4 Serbest basınç deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	93
8.5 pH Deney sonuçlarının Karşılaştırılması.....	94
8.6 Katyon değişim kapasitesi deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	94
8.7 Organik madde miktarı deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	95
8.8. Elektriksel iletkenlik deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	95
8.9 Sızıntı deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	96
8.10 Donma -Çözünme deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	97
9. ATIK DEPOLAMA TABANI DİZAYNI.....	98
9.1 Literatür, Katı Atık Kontrol Yönetmeliği ve Karışımların Katı Atık Depolama Tabanı Dizaynı.....	99
10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	100
11. KAYNAKLAR.....	105
12. TEŞEKKÜR.....	110

13. ÖZGEÇMİŞ.....	111
14. EKLER.....	112
Ek.1 Donma-Çözünme deney fotoğrafları.....	112
Ek.2 Kompaksiyon deney fotoğrafları.....	114
Ek.3 Üç eksenli UU deneyi fotoğrafları.....	115
Ek.4 Şırnak Asfaltitlerinin maden fotoğrafları (Cudi).....	116

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

### AÇIKLAMALAR

$\gamma_s$	Tane birim hacim ağırlığı
$\gamma_w$	Suyun birim hacim ağırlığı
Cu	Kohezyon
$\emptyset$	İçsel sürtünme açısı
SL	Büzülme limiti
SR	Büzülme oranı
% <sub>w</sub>	Optimum su muhtevası
q <sub>u</sub>	Kayma mukavemeti
<b>KISALTMALAR</b>	
GTX	Geotekstil
GN	Geonet
GM	Geomembran
U.S EPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA, Environmental Protection Agency)
KDK	Katyon değişim kapasitesi
OMM	Organik madde miktarı
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
ASTM,	Amercan Society for Testing and materials
LL	Likit limit
PL	Plastik limit
PI	Plastisite indisi
Asf.	Asfaltit tozu
Mer.	Mer tozu
A.D.T.D	Atık Depolama Tabanı Dizaynı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık yüzdeleri.....	1
Şekil 3.1 Atık depolama alanlarında kullanılan sentetik ve mineral tabakaların karşılaştırılması.....	12
Şekil 3.2 Düzenli atık depolama alanlarının üst örtü tabakalarının sentetik ve mineral uygulamalarının karşılaştırılması.....	12
Şekil3.3 Atık depolama alanlarındaki Sızıntı sularının yer altı sularına karışması.	13
Şekil 3.4 Atık depolama alanı yüzeyinde ( Bathtub etkisi).....	14
Şekil 3.5 Türkiye Katı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği Şartları.....	15
Şekil 3.6. Düzenli depolama alanlarında sıkıştırılmış tabakalar.....	18
Şekil.3.7:Örtü Sistemlerinde Kullanılacak 5 Temel Bileşen.....	20
Şekil 3.8. U.S.EPA'nın önerdiği tehlikeli atık depolama alanında üst örtü tabaka sistemi.....	22
Şekil 3.9: USEPA'nın önerdiği tehlikeli olmayan atıklar için üst örtü sistemi.....	22
Şekil.3.10.EPA yöntemine göre önerilen puanlama sisteminin yapısı.....	37
Şekil 4.1 Cudi dağı etekleri açık maden ocağı1.....	43
Şekil 4.2. Cudi dağı etekleri açık maden ocağı2.....	43
Şekil 4.3. Enerji sektöründe kullanılan Asfaltit.....	44
Şekil 4.4. Asfaltit kömürü ve atık Asfaltit tozu.....	44
Şekil 5.1.Kompaksiyon da numune sıkıştırılması.....	48
Şekil5.2.Kompaksiyon deney aleti.....	48
Şekil 5.3.Üç eksenli deney aleti düzeneği.....	50
Şekil 6.1 Kontrol numunesi ve Asfaltit karışımlarının dane çapı dağılım eğrileri..	57
Şekil 6.2 Asfaltit tozunun Likit limit değerine ekisi.....	59
Şekil 6.3 Asfaltit tozunun plastik limit değerine etkisi.....	59
Şekil 6.4. Asfaltit tozunun plastisite indis değerine etkisi.....	60
Şekil 6.5. Asfaltit tozunun büzülme limit değerine etkisi.....	62
Şekil 6.6. Asfaltit tozunun büzülme oranı değerine etkisi.....	61
Şekil 6.7. 90K10B ve karışımların plastik karttaki konumları.....	62
Şekil 6.8 Su muhtevası Kuru birim hacim ağırlık ilişkisi.....	63

Şekil.6.9 Karışım miktarlarının kesme dayanımına etkisi.....	65
Şekil.6.10 numunenin üç eksenli deney aletine yerleştirilmesi.....	65
Şekil.6.11 Hücre basıncında sıkıştırılmış numune.....	65
Şekil.6.12. Asfaltit tozu karışımlarının kayma dayanımına etkisi.....	66
Şekil 6.13 Basınç sonrası şişme ve kayma etkileri.....	66
Şekil 6.14.Asfaltit miktarının pH' a etkisi.....	67
Şekil 6.15 Asfaltit miktarının Katyon Değişim Kapasitesine etkisi.....	68
Şekil 6.16.Asfaltit miktarının Elektriksel iletkenliğe etkisi.....	68
Şekil 6.17.Asfaltit miktarının Organik madde miktarına etkisi.....	69
Şekil 6.18. Asfaltit miktarının Donma-Çözünmeye etkisi.....	71
Şekil 7.1. 90K10B ve Mermer tozu Karışımlarına ait dane çapı dağılım eğrileri...	74
Şekil 7.2 Mermer tozu miktarının likit limit değerine etkisi.....	75
Şekil 7.3 Mermer tozu miktarının plastik limite etkisi.....	76
Şekil.7.4 Mermer tozu miktarının plastisite indis değerine etkisi.....	76
Şekil 7.5 Mermer tozu miktarının Büzülme (rötre) limitine etkisi.....	77
Şekil 7.6 Mermer tozu miktarının Büzülme oranına etkisi.....	77
Şekil 7.7. 90K10B ve karışımların plastik karttaki konumları.....	78
Şekil 7.8 90K10B ve mermer tozu karışımlarının su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi.....	79
Şekil 7.9 Karışım miktarlarının kesme dayanımına etkisi.....	81
Şekil 7.10 Mermer tozu Karışımlarının kayma dayanımına etkisi.....	82
Şekil 7.11 Mermer tozu miktarının pH'a etkisi.....	83
Şekil.7.12. Mermer tozu miktarının Katyon Değişim Kapasitesine etkisi.....	84
Şekil 7.13. Mermer tozu elektriksel iletkenlik değerine etkisi.....	84
Şekil 7.14. Mermer tozu Organik Madde Miktarına etkisi.....	85
Şekil 7.15.Mermer tozu miktarının Donma-Çözünmeye etkisi.....	88
Şekil. 8.1. Likit Limit sonuçlarının karşılaştırılması.....	89
Şekil. 8.2. Plastik Limit sonuçlarının karşılaştırılması.....	90
Şekil.8.3.Plastisite indis sonuçlarının karşılaştırılması.....	90
Şekil. 8.4 Büzülme (Rötre) Limiti sonuçlarının karşılaştırılması.....	91
Şekil. 8.5. Büzülme (Rötre) oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	91
Şekil. 8.6. Üç eksenli deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	92

Şekil. 8.7. Serbest basınç deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	93
Şekil. 8.8.pH deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	94
Şekil. 8.9 Karışımların Katyon değişim kapasitelerinin karşılaştırılması.....	94
Şekil 8.10.Organik madde miktarı deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	95
Şekil 8.11.Elektriksel İletkenlik (Eİ) deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	96
Şekil 8.12.Donma-Çözünme deneyi (12 çevirim) sonuçlarının karşılaştırılması....	97
Şekil 9.1 Atık depolama tabanı ve örtü sızdırmazlık sistemleri.(Katı atık yönetmeliği Ek12A ve Ek12B.....	98

## ÇİZELGELER DİZİNİ

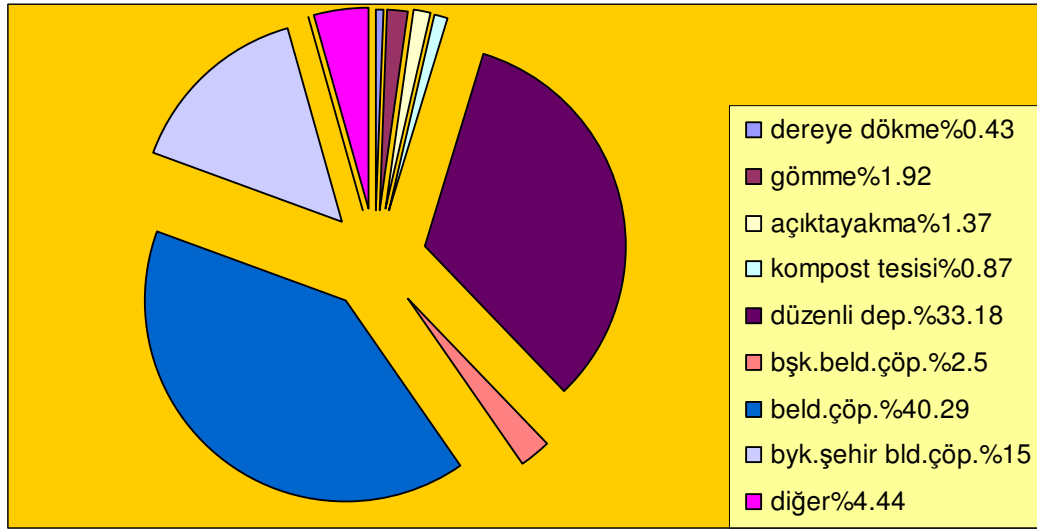
Çizelge 4.1.Kullanılan ilave malzemelerin bazı fiziko-kimyasal özellikleri.....	43
Çizelge.4.2. Kullanılan ilave malzemelerin toplam metal miktarları (mg/kg).....	44
Çizelge 4.3. Kullanılan ilave malzemelerin X-Ray elemental analizi ile belirlenen kimyasal bileşimleri.....	44
Çizelge 5.1. Permeabilite (su geçirgenliğine) göre zemin sınıflandırılması (U.S EPA).....	49
Çizelge 6.1.Asfaltit tozu ilaveli yeni karışım oranları ve Malzeme miktarları	55
Çizelge 6.2 90K10B ve Asfaltit tozu Karışımlarına ait dane özgül ağırlık değerleri	56
Çizelge 6.3. Kontrol numunesinin ve Asfaltit tozu karışımlarının kıvam limit sonuçları.....	58
Çizelge. 6.4. Literatürde geçirimsiz tabakaya ait özellikler.....	58
Çizelge 6.5 Asfaltit tozu Karışımları ve Zemin sınıflandırma sonuçları.....	62
Çizelge 6.6. Asfaltit tozu karışımlarının Kompaksiyon deney sonuçları	63
Çizelge 6.7.Asfaltit tozu karışımlarının Permeabilite deney sonuçları	64
Çizelge 6.8.Asfaltit tozu karışımlarının Üç eksenli kesme dayanımı sonuçları.....	65
Çizelge 6.9.Asfaltit tozu karışımlarının kayma dayanımı sonuçları.....	66
Çizelge 6.10. Asfaltit tozu Karışımlarının Fiziko-kimyasal deney sonuçları.....	67
Çizelge 6.11. Sızıntı suyu içerisindeki ağır metal miktarları.....	69
Çizelge 6.12. Asfaltit tozu Karışımlarının Donma/çözülme deneyi sonuçları.....	71
Çizelge7.1.Mermer tozu ilaveli yeni karışım oranları ve Malzeme miktarları.....	72
Çizelge7.2 90K10B ve mermer tozu Karışımlarına ait dane özgül ağırlık değerleri.	73
Çizelge 7.3. Mermer tozu karışımlarının Kıvam limitleri sonuçları.....	74
Çizelge 7.4. Literatürde Geçirimsiz alt tabakaya ait özellikler.....	75
Çizelge7.5 Mermer tozu Karışımları ve Zemin sınıflandırma sonuçları.....	78
Çizelge7.6. Mermer tozu karışımlarının Kompaksiyon deney sonuçları.....	79
Çizelge 7.7. Mermer tozu karışımlarının Permeabilite deney sonuçları.....	80
Çizelge7.8. Mermer tozu karışımlarının Üç eksenli kesme dayanımı sonuçları.....	81
Çizelge 7.9. Mermer tozu Karışımlarının kayma dayanımı sonuçları.....	82
Çizelge 7.10. Mermer tozu Karışımlarının Fiziko-kimyasal deney sonuçları.....	83
Çizelge 7.11. Sızıntı suyu içerisindeki ağır metal miktarları.....	86

Çizelge 7.12. Mermer tozu karışımlarının Donma/çözünme deneyi sonuçları.....	88
Çizelge 8.1. Asfaltit ve mermer tozlarının permeabilite değerleri.....	92
Çizelge 8.2. Literatürde sızıntı suyu içindeki ağır metal miktarları.....	96
Çizelge 8.3. Sızıntı deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	97
Çizelge 9.1 Atık Depolama Alanı Dizayn değerleri.....	99



## 1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun son yıllarda şehirlerde yoğunlaşması ve tüketimin artması sonucunda, miktarı hızlı bir artış gösteren katı atıkların uzaklaştırılması ve bertarafı bilhassa şehirlerimizde büyük bir problem oluşturmaya başlamıştır. Üretim ve dolayısıyla tüketimin artması sonucunda her geçen gün yeni ürünler keşfedilmekte ve bunlar atık miktarını arttırmaktadır. Bu durum ise mevcut çöp sorununu zorlaştırmaktadır. Sanayileşmekte olan ülkelerde çevre bilincinin artmasıyla birlikte çöplerin bertarafın da daha sıkı standartlar uygulanmaya başlanmıştır. Günümüzde geliştirilen teknolojilere rağmen birçok atık türünün yeniden üretime kazandırılması, ekonomik ve kimyasal olarak mümkün olmamaktadır. Çöplerin bertarafında da yakma, kompostlaştırma gibi yeni teknolojik işlemler uygulanmakta fakat sonuçta yine de bir miktar çöpün son uzaklaştırma işlemi için depolanması gerekmektedir. Şekil 1.1’de Türkiye’de belediyeler tarafından bertaraf edilen atıklar gösterilmiştir. Dünyada tahmini hesaplarla yıllık olarak 450-500 milyon ton evsel katı atık meydana gelmektedir. Bu miktarın 320 ila 350 milyon tonu ise katı atık depo sahalarına gömülmektedir (Nozhevnikova et al 1993).



Şekil 1.1 Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık yüzdeleri (T.C Çevre ve Orman Bakanlığı).

Düzenli katı atık depolarından kaynaklanan sorunlardan biriside katı atıklardan sızan ve tabana ulaşan yüksek kirlilik derecesine sahip sızıntı sularıdır. Bu sızıntı suları yeraltı ve yüzey sularına karışabilir. Bunları önlemek için

depolama tabanında kil tabakalar (clay liners) yapılması gereklidir. Depo alanında atık maddelerin insan ve canlılarla temasını kesmek ve yağmur suyunun atık kütleye girmesini önlemek için üstlerinin örtülmesi gereklidir. Bu örtü tabakalarında kullanılan kil sızdırmazlık bariyerlerinde aranan bir takım özellikler vardır. Çevresel etkilere karşı mukavemet, düşük permeabilite, çatlak oluşmaması için yüksek duktilite, kimyasal stabilite, kirleticilerinin difüzyon veya diğer mekanizmalarla tutulması ve yavaş yayılımının sağlanması şeklinde sıralanabilir. Ayrıca; Depo tabanı, tabii yer altı suyunun maksimum seviyesinden en az 1m yüksekte olmalıdır. Depo tabanına en az 60cm kalınlığında kil serilmeli ve bu tabakanın permeabilitesi  $1 \times 10^{-8}$  m/sn' den büyük olmamalıdır. Kil malzemenin maksimum su muhtevası %20-40 arasında olmalıdır(Türkiye Katı Atıkları Kontrol Y. 1991).Ülkemizden bir örnek olarak da, sadece İstanbul'da günde 7-8 bin ton katı atık meydana gelmekte olup, bu atıklar daha bir kaç yıl öncesine kadar, 15-20 senedir kullanılmakta olan vahşi depo sahalarına gömülmekteydi. Ülkemizde bazı istisnalar dışında evsel (bazı durumlarda sanayi atıklarını da ihtiva eden) atıklar, vahşi depolama olarak isimlendirilen ve hiçbir mühendislik işleminin uygulanmadığı yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Bu tür depolama yöntemleri bilhassa sanayileşmiş bölgelerimizde, değişik maksatlarla kullanılan kısıtlı sayıdaki su kaynaklarını tehdit etmektedir. Basitliği ve ucuzluğu sebebiyle gelişmekte olan ülkelerde tavsiye edilen düzenli depolama yöntemi, Düzenli depo sahaları su kaynaklarının kirlenmesi gibi bir mahzuru ortadan kaldırdığı gibi katı atıklardan sızacak suların arıtımını da mümkün kılmaktadır. Türkiye'de evsel atık özellikleri, yönetmelik şartları, geomembranların genelde ithal ve pahalı oluşu gibi nedenlerle evsel atık sahalarında sızdırmazlık için yaygın olarak sadece kil tabakalarının kullanılması zorunlu gibi gözükmektedir. Bu nedenle ,kil kaplama tabakalarının kaliteli yapımı büyük önem taşımaktadır. Ayrıca dünyada verimli toprakların giderek azaldığı göz önüne alınacak olursa uygulanacak düzenli depolama alanlarının yer seçimi önemlidir. Depolama sonrasında da bu alanın verimli arazi şekline dönüştürülmesi ülke ekonomisine katkıda bulunacağı gibi olumsuz çevre koşullarının da düzenlenmesini sağlayacaktır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Atık depolama alanlarında sıkıştırılmış kil tabakaları ve bu tabakalarda kullanılması muhtemel alternatif malzemeler üzerine günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır.

Kentsel ve endüstriyel atık su depolanmasında kullanılan birçok toprak bariyerin performans verilerini incelemişlerdir. Permeabilitenin belirlenmesinde kullanılabilen laboratuvar deneylerinin zorluklarını ortaya koymuşlardır. Uçucu kül-kum ve bentonit-kum karışımlarının laboratuvar permeabilite deneylerini yaparak atık depolama alanları için gerekli olan performans verilerini elde etmişlerdir. Hazırlanan tabakanın Laboratuvar permeabilite değerlerini inceleyerek kritik faktörleri tartışmışlardır. Böylece günümüzdeki pratik uygulamalar ve tecrübelerine dayanarak düşük permeabiliteli bariyer elde etmek için çeşitli öneriler sunmuşlardır (Edil ve Berthouex 1990).

Atık depolama alanlarının su geçirimsizliği için killeri kimyasal işleme tabi tutmuşlardır. Yaptıkları çalışmada, pahalı kil tabakaları ve geomembranlara alternatif olarak, arazide düşük permeabilite gösteren atık depolama alanlarında sızıntı etkisini kimyasal işlemlerle azaltan uygun maliyetli bir metodu sunmuşlardır. Zeminin kimyasal davranışının, humik bileşiklerinin taşınabilirliği ve çökmesinin olduğu kadar kil minerallerinin dağılma ve topaklaşmasına da bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Birbirine zıt bir çok zeminle yaptıkları ilk deneylerde, dağılma ve topaklanmayı kimyasal uygulama ile başarmışlardır ve sırasıyla  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ve alçı taşı en etkili dağıtıcı ve topaklandırıcı olarak seçmişlerdir. Bu çalışmayla araştırmacılar, kimyasal işleme yönteminin, atık depolama alanlarında şu anda kullanılan metodların yerini alabilmek için uygun bir teknik olduğunu kanıtlayamamışlardır. Ancak geleneksel metodların maliyet açısından kullanılamaz olduğu durumlarda bu yöntemin çok daha ucuz bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir (Smith ve Fey 1996).

Çalışmasında sıhhi depolama alanlarında geçirimsiz tabaka olarak hizmet etmek üzere önerilen alışılmışın dışında bir maddenin belirli özelliklerini araştırmayı amaçlamıştır. Balıkesir- Gördes'in doğal zeolitleri ve ticari öğütülmüş bentonit

karışımlarını denemişler ve bunların üzerinde kompaksiyon, permeabilite ve mukavemet gibi çok sayıda deneyler yapmışlardır. Optimum su muhtevasında ve farklı oranda bentonit-zeolit karışımları denenmiştir. Optimum ve biraz üzerindeki su muhtevalarında sıkıştırılmış labaratuvar örnekleri üzerinde permeabilite deneyleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlarına bakıldığında bentonit oranının %5'den büyük olduğu durumlarda elde edilen ortalama permeabilite değerleri  $2 \times 10^{-8}$  –  $4 \times 10^{-8}$  cm/sn aralığında olduğu görülmüştür. Araştırmacı katyon değişim kapasitesinin atık depolama tabakaları için önemli bir kimyasal özellik olduğunu belirtmiş ve sırasıyla bentonit ve zeolit için 60 ve 95 meq/100g olarak belirlemiştir. Araştırmacı karışımların düşük permeabilitesi ve yüksek katyon değişim kapasitesine bakarak 0.05 – 0.10 B/Z aralığındaki karışımları ideal karışım olarak belirlemiştir (Kayabalı 1997).

Doğal aşırı konsolide fisürlü bir kil olan, Keuper Marl'a, ağırlıkça %6 - %15 oranlarında, köşeli ve 1–4 ve 4-8 mm ebadlarında ince şeritler halindeki lastik parçacıkları ile karışımlar hazırlamışlardır. Bir Atık depolama alanının tasarımında temel olan kompaksiyon, serbest basınç mukavemeti, gerilme-birim şekil değiştirme davranışı, su ve parafinle permeabilite, sızıntı özelliği, serbest şişme davranışı ve şişme basıncı özelliklerini belirlemişlerdir. Sıkıştırılmış kuru yoğunluğun yalnızca lastik miktarı azaldıkça düştüğünü ve karışımın serbest basınç mukavemetinin, tek başına kilin serbest basınç mukavemetinden %40 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kil-lastik karışımının, gerilme-birim şekil değiştirme davranışına bakıldığında birim şekil değiştirme aralığının tek başına kilden elde edilene göre kabaca iki kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Parafinle yapılan permeabilite deneyinde suya kıyasla 50 kattan daha düşük permeabilite değerleri elde etmişlerdir. Sızıntı deneyi sonuçlarına göre, bakır ve nikelin NRA ve TCLP sızıntı deneylerindeki farklı sızma seviyeleri için uygun standartlarla ilgi kurarak değerlendirme yapılmasına ihtiyaç olduğunu göstermişlerdir. Kil-lastik karışımında parafinin, yalnız kile göre dikkate değer bir şişmeye sebep olduğunu ve şişme basınçlarını 600 kPa değerinden büyük olduğunu belirlemişlerdir. Tasarım için özgün atık depolama alanı tabakası tasarımı gereksinimleri ile farklı test sonuçlarının kombinasyonları arasında bir ilişki kurularak değerlendirme yapılmasına ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir (Al-Tabbaa ve Aravinhan 1998).

Kirliliğe karşı, atık depolama alanlarının uzun dönem sorpsiyon davranışının değerlendirilmesi için gecikim faktörleri ve dağılım katsayıları ile edinilen bilginin yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada difüzyon yolu ile bir illitik/smektitik lös kum içine geçen Pb ve Cd'nin katı tür gelişimi ve gecikimini analiz etmeyi amaçlamışlardır. 0.001M Cd veya Pb klorit içeren ağır metal çözeltilere sahip sıkıştırılmış lös kili üzerindeki difüzyon deneylerinden Cd için,  $4,9-6,7 \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>/sn ve Pb için  $3,6-7,4 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/sn değer aralığındaki difüzyon katsayılarını elde etmişlerdir. Sonuç olarak ağır metallerin bir atık depolama alanı kil tabakası malzemesinin bileşenlerine hangi yollar ile bağlanacağı konusunda önemli veriler tespit etmişlerdir (Roehl ve Czurda 1998).

Uzatılmış donma sürelerine konu olan atık depolama alanlarının kil örtü tabakaları performansının bir fiziksel model çalışmasını yapmışlardır. Modelde, bir yüksek sınır şartı olarak verilen alt donma sıcaklıklarına bağlı sonuçların donma penetrasyonunun belirlenmesi ilke edinilerek, bir prototip örtü tabakası için önerilmiş üç tasarımı değerlendirmişlerdir. Üç tabaka tasarımını, son performanslar, donma penetrasyonu, tabaka içine sızıntı ve temelinde karşılaştırmışlardır. Bir termodinamik problemin basitleştirilmiş analitik çözümü kullanılarak yapılan tahminler ile, donma penetrasyonunun baştan aşağıya incelenmesi ile çıkan değerleri karşılaştırmışlardır (ölçülmüş arazi davranışına ek olarak) laboratuvar deneyinde 2.1m derinliğinde ve 1.8m<sup>2</sup> değerinde tank kullanmışlar ve tankı, atık depolama alanları katmanlarının gerektirdiği özelliklere bağlı kalarak kile yüklemişlerdir. Deneysel tankta üç farklı atık depolama alanı örtü katman tasarımını modellemişler ve bir çok gözlem sonunda, ölçüm yaparak üç farklı tasarım performansını karşılaştırmışlardır. Her bir tasarımın don kabarmasını ölçmüş ve 3.8 ile 4.3 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Zemin drenaj katmanını içeren tasarımlarıyla daha iyi bir sızıntı performansı elde ettikleri halde, sonuçların, donma penetrasyonu derinliğinin tüm tasarımlar için benzer olduğunu belirtmişlerdir (Miller ve Lee 1999).

Atık depolama için F ve C sınıfı uçucu küller ile yapılan, tabakalar üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada artık organik karbon içeren F sınıfı uçucu külün permeabilitesini laboratuvar ve arazi deneylerini kullanarak belirlemişlerdir. Çeşitli

malzemeler (kum, C sınıfı uçucu kül ve taban külü) ile karıştırılmış F sınıfı uçucu külün sıkıştırılmış numunelerini laboratuarda çeşitli su muhtevaları ve farklı kompaksiyon enerjilerinde hazırlamışlardır. Çalışma sonuçlarıyla, büyük agrega ile birlikte F ve C sınıfı uçucu kül karışımları'nın, kompaksiyonun optimum su muhtevasının ıslak tarafında sağlandığı atık depolama alanı tabakaları için gerekli permeabilitelerde sıkıştırılabileceğini göstermişlerdir. Arazi permeabilitesinin yükselmesine yol açan tabakalar arası geçirgen bölgeler ve çatlaklarla sonuçlanan faktörlere özel olarak dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Palmer ve ark. 2000).

Bir atık depolama alanında katı fazdaki Cu, Cr ve Zn'nin parçalanması üzerine zemin pH'nın etkisini incelemişlerdir. Weathered Oxford Kili için zemin pH değerinin değişkenliğinin doldurulmuş alanda yer alan bir hücrenin tabanından toplanan 35 örneği kullanarak tanımlamışlardır. Zemin pH değişkenliğinin alandaki Cr, Cu, Zn reaktivitesine etkidiğini belirtmişlerdir. Sonuçlarla katman tabanındaki pirit (sülfürlü demir) zenginliğine bağlı olarak zemin pH'nı 2.7 gibi düşük değerde üretebilecek doğal bir asitlemenin oluşabileceğini göstermişlerdir (Munoz-Melendez ve ark. 2000).

Puzolanik uçucu külün atık depolama alanlarında bir hidrolik bariyer olarak potansiyelini incelemişlerdir. Üç farklı tip uçucu külün davranışının, üç farklı kaynaktan gelen fiziksel özelliklerin ve kimyasal bileşiminin bir oranı olduğunu belirtmişlerdir. Uçucu küllerin bariyerler olarak kullanımını değerlendirmek için gerekli rötre, kompaksiyon, permeabilite, konsolidasyon ve mukavemet gibi geoteknik özellikleri raporlamışlar ve sonuçta uçucu küllerin düşük rötreye sahip olduklarını ve bu yüzden çatlamanın olmadığını göstermişlerdir. Sıkıştırılmış uçucu küllerin çok küçük hacim değişikliklerine uğradığını, ayrıca zamanla puzolanik uçucu küllerin mukavemet özelliklerini iyi yönde değiştirdiklerini belirtmişlerdir. Araştırmacılar tarafından alkalın karakterli sızıntıları içeren tabakaların yapımı için puzolanik uçucu küller uygun görülmüştür. (Prashanth ve ark. 2001).

Atık depolama alanları için geçirimsizlik sağlayan mineral bariyer olarak kullanılan Polonya neojen killeri üzerinde bir deneysel çalışma yapmıştır. Polonya neojen killerinin minerolojik ve kimyasal bileşimleri ve fiziksel özelliklerinin atık

bertaraf alanlarında mineral katmanları için kullanılabilceğini belirtmiştir. Bununla beraber bu killerin mukavemet parametrelerinin düşük olmasının, doğal haldeki malzemeler olarak bu killeri uygulanamaz kıldığını göstermiştir. Ancak daha yüksek değerdeki mekanik parametrelere sahip diğer bir zeminle karıştırılarak kullanımlarının uygun olabileceğini belirtmişlerdir (Luczak-Wilamowska 2002).

Kentsel atık depolama alanlarının kil esaslı sızdırmazlık tabakalarında organik kirleticilerin tutulmasını incelemiştir. Bohemian Massif'in Avusturya bölümünde yer alan Horn yakınlarındaki kentsel atık depolama alanının 10 yıllık zemin sızdırmazlık amaçlı tabakasını, minerolojik ve geokimyasal metodlarla incelemiştir. Bu çalışmayla, seçilmiş inorganik kirleticilere bakarak özellikle ağır metallerle karşı, zeminin sızdırmazlık tabakasının tutma kapasitesini ölçmeyi amaçlamıştır. Burada permeabilite çok düşüktür ( $k_f = 10^{-11}$  m/sn). Geokimyasal analizler Pb, Cu, ve Zn gibi ağır metallerin, sızdırmazlığın en çok üst bölümlerinde yoğunlaştığını göstermiştir. Sadece birkaç cm aşağıda bu elementlerin konsantrasyonlarının, geokimyasal artan seviyede olduğunu belirtmiştir. Cu, Pb, Zn ve Cd davranışlarının ayrıntılı araştırmalarını sorbsiyon deneyleri (difüzyon ve yığın deneyleri) ve bir dizi ayırma metodları kullanarak belirlemiş ve difüzyon deneylerinden, sızdırmazlık tabakasının gerçek kalınlığı için bazı ağır metal iyonlarının etki zamanlarını tespit etmişlerdir (Kugler 2002).

Atık depolama alanı tabakası olarak doğal zeolitlerin kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın amacı yeni bir malzemenin belirli özelliklerini araştırarak atık depolama alanlarında geçirimsiz tabaka olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Farklı oranlardaki bentonit ve zeolitleri (B/Z) optimum su muhtevalarında sıkıştırarak mukavemet permeabilite, pH, ağır metaller ve diğer özelliklerini incelemişlerdir. Düşük permeabilite ve yüksek katyon değişim kapasitesi göz önünde bulundurularak B/Z karışımının 0.10 oranının ideal atık depolama alanı tabaka malzemesi olarak kullanılabilceğini belirlemişlerdir (Tuncan ve ark. 2003).

Bentonitli zeolitten kil tabakası olarak faydalanma konusunda çalışmışlardır. Na-bentonit, Ca-bentonit ve doğal zeolitin adsorbsiyon özellikleri, Na-bentonit ve

doğal zeolitin katyon değişim kapasitesi, hacimsel büzölme, kompaksiyon karakteristikleri ve karışımların permeabilitelerini araştırmışlardır. Yaptıkları adsorbsiyon izotermi ve katyon değişim kapasitesi çalışmalarıyla doğal zeolitin kurşun (Pb) adsorbsiyon kapasitesinin neredeyse Na- bentonitinkinin üçte biri olduğunu göstermişlerdir. Kumun sahip olduğu sıfır adsorbsiyon kapasitesi dikkate alındığında, zeolitin sahip olduğu yüksek katyon değişim kapasitesiyle bentonit ve zeolitin birlikte, çöplerin depolandığı koşullarda önemli ve dikkate değer kazanımlar sağlayacağını belirtmişlerdir. Hacimsel büzölme ve kompaksiyon sonuçlarıyla da Bentonit ve zeolit karışımının optimum su muhtevasının malzemelerin üst limiti olan %4 büzölme yaratan su muhtevasından çok daha az olduğunu göstermişlerdir. %10 ve %20 bentonit içeren karışımın permeabilite deney sonuçlarının, karışımların permeabilite gerekliliği olan  $10^{-9}$  m/sn değerinden düşük seviyede olduğunu göstermişlerdir (Kaya ve Durukan 2003).

Hidrolik bariyer olarak sıkıştırılmış kil tabakalarının permeabilite, şişme basıncı ve basınç dayanımında uçucu külün etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Deney sonuçları sıkıştırılmış kil numunelerle birlikte uçucu kül kullanımının, ham kil numunelerin kullanımına göre düşük permeabilite, şişme basıncı ve kayda değer yüksek basınç mukavemetiyle bir bütünlük sağladığını göstermiştir. Böylece uçucu kül kullanımının katı atık kirlilik sistemlerinde sızıntıya maruz kalan yapım malzemeleri için umut verici olduğunu belirtmiştir (Kalkan ve Akbulut 2004).

Yapılan literatür taramalarında asfaltit ve mermer tozlarının atık depolama alanları tabakaları tasarımında kullanılabilirliğine dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Burada yapılan çalışma bu alanda ilk ve özgün bir çalışmadır. Bu sebeple önemli bir bilimsel boşluğu dolduracaktır



### 3. ATIK DEPOLAMA ALANI DİZAYNI

#### 3.1 Giriş

Gelişmekte olan ülkelerde istenmeyen atıkların miktarı son yıllarda tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Bu konuda, hızla artan nüfusun, köyden kente göçün, batılı toplumların tüketim alışkanlıklarının tüm dünyaya yayılmasının, ve tek kullanımlık ürünlerin ve paketlerin yaygın olarak kullanılmaya başlamasının rolü olduğunu söyleyebiliriz. Açık atık alanlarından başka bir şey olmayan çöplükler yani vahşi depolama alanları, giderek dolmakta ve insanlar şehir sınırlarının dışına taşmakta ve bu da yeni depolama alanları yapma kapasitesini daraltmaktadır. Atık konusunda daha da şiddetlenen bu probleme yeni çözümler bulmak için birçok ülke özel sektör uygulamalarına geçerek, teknoloji destekli uygulamaları benimsemekte ve eski bir yöntem olan atık yakma tekniklerine geri dönmektedirler. Ancak, nerede olursa olsun, atık yakma tesislerinin yol açtığı birçok sorun bulunmaktadır. Atık yakma tesisleri;

- Özellikle hava kirliliğine yol açar,
- Halk sağlığına zarar verirler,
- Tesisin yer aldığı bölgedeki topluluklar için büyük bir finansal yüküdür,
- Yerel toplulukların finansal kaynaklarını kuruturlar,
- Enerji ve kaynak tüketirler,
- Yerel ekonomik kalkınmayı/gelişmeyi baltalarlar,
- Atık yönetimi konusunda atık engelleme yöntemlerinin ve rasyonel yaklaşımların gelişmesini engellerler,
- Hava kirliliği standartlarını karşılayamazlar,
- Toksik kül ortaya çıkmasına neden olurlar (Brenda Platt 2005)

Bu atıkların bertaraf edilmesinde önemli bir yöntemde düzenli depolamadır.. Burada kullanılan taban dolgusu, eğim, geçirimsizlik tabakası atık depolama alanının bulunduğu yerin coğrafik koşullarına bağlıdır. Fakat üst örtü tabakası her durumda kullanılır.

## **3.2 Literatürde Atık Depolama Alanı Dizaynı Parametreleri**

### **3.2.1 Arazi eğimi**

Kanada için yapılan çalışmada arazi eğimi 2:1 olarak alınmıştır. İzmir-Harmandalı katı atık depolama sahasında ise prensip olarak kamyonun inebileceği %7'lik eğim esas alınmıştır.

### **3.2.2 Geçirimsiz tabaka sistemi**

Atık depolama tabanına sızan suların yer altı ve yüzey sularına karışmasını, zeminin kirlenmesini önlemek için depolamanın geçirimsiz zeminde yapılması veya taban ve yan kısımların geçirimsiz hale getirilmesi gerekir.

#### **3.2.2.1 Geçirimsiz tabaka yapımında kullanılan malzemeler**

- **Kil**

Sızdırmazlık için kullanılan sıkıştırılmış kil doğal kil malzemelerdir. Birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasına (USCS) göre CH, CL ve MH tipi killerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bentonit veya küçük dane çaplı kil ile karıştırılarak hazırlanan düşük permeabiliteli kil tabakaları da sızdırmazlık tabakaları olarak kullanılabilir. Kil sızdırmazlık tabakalarında, düşük permeabilite, yeterli kompaksiyon ve kirleticilerin difüzyon yolu ile düşük yayılımı sahip olan killer tercih edilmektedir (Erkılavuz D. 1996).

- **Geosentetik**

Geosentetik terimi, geoteknik ulaşım ve çevre uygulamalarında zemin içerisinde zemin davranışını iyileştirme amacıyla kullanılan tüm sentetik malzemelerdir. Özellikle atık depolama alanları tabanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Geosentetiklerin hammaddesi termoplastiktir. Termoplastikler polimere çeşitli dolgu maddesi ve kimyasal katkı ilavesi ile yapılır. Başlıca geosentetik türleri; geotekstil, geomembran, geoızgara, geoağ, geohasır, geokompozittir. Geoızgaralar zemin takviyesi olarak yaygınca kullanılırlar.

Geotekstillere en yaygın olan türüdür. Bunlar geçirimsiz ve esnek malzemelerdir. Geomembranlar pratik olarak geçirimsizdir. İzgara, ağ ve hasırlar geotekstillere göre büyük gözeneğe sahiptir ve kullanım alanları farklıdır. Geokompozitler ise birden fazla geosentetik kullanılarak imal edilirler.

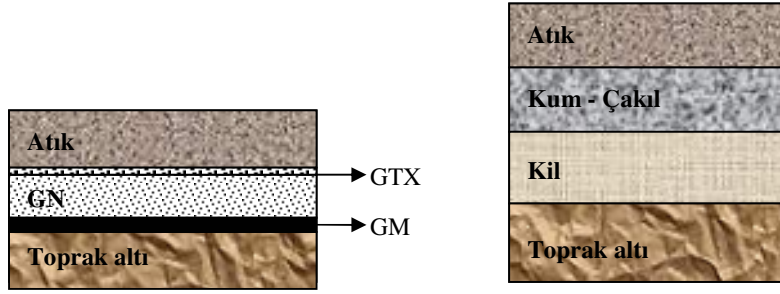
Geotekstillere özellikleri; mekanik olarak çekme dayanımı, gerilme-deformasyon, süne, delinme dayanımı, yırtılma dayanımı, ve patlama dayanımıdır. Hidrolik olarak; geçirgenlik ve gözenek boyutlarıdır. Ayrıca U.V. ışığı, ısı, su, kimyasal madde ve mikroorganizmalar açısından çevre şartlarına dayanımıdır (Erkılavuz d. 1996).

### **3.2.2.2 Geçirimsiz tabaka uygulamaları**

Geçirimsiz alt tabaka için düşük permeabiliteye sahip olan kil zeminler tercih edilir. Böylece yeraltı suyunun kirlenme riski azaltılmış olur. Bu alt tabaka malzemesinin permeabilitesi  $10^{-7}$ -  $10^{-8}$  cm/sn arasında olmalıdır. Kil tabakası yüksekliği en az 60cm olmalıdır (Katı Atıkları Kontrolü Yönetmeliği 1991).

İller Bankası Şartnamesine göre; kilin plastisite indisi (PI) 10 – 30 arasında olmalıdır. Malzeme içerisinde 200' nolu (0.074mm) elekten geçen miktar en az %30 olmalı, en büyük dane çapı 50 mm' yi aşmamalı, kil 15 cm tabakalar halinde serilmeli ve en az %95 standart proktor sıkılığında sıkıştırılmalıdır.

Günümüzde düzenli atık depolama alanı tabanında uygulanabilecek teknik seçenekler atığın cinsine, geoteknik şartlara ve düzenlenmesine göre değişebilmektedir. Şekil 3.1'de mineral dolgu zemin ile sentetik dolgunun karşılaştırılması gösterilmiştir.



a) Sentetik Tabaka

GTX = Geotekstil

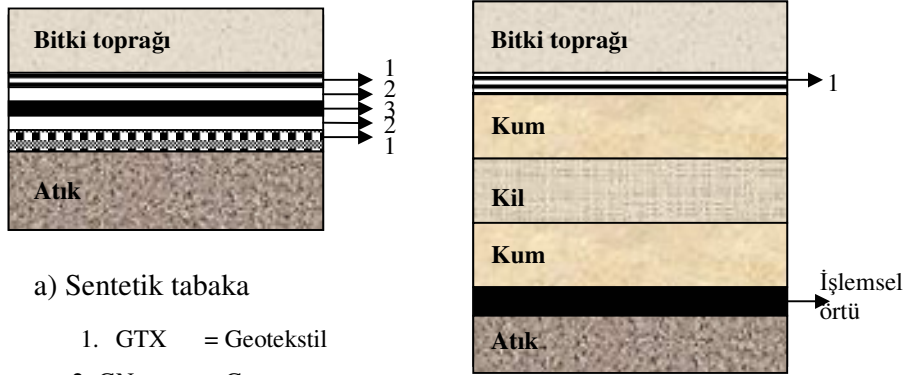
GN = Geonet

GM = Geomembran

b) Mineral Tabaka

Şekil 3.1 Atık depolama alanlarında kullanılan sentetik ve mineral tabakaların karşılaştırılması.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi kum filtre geotekstil yerine, çakıl tabakası geonet ve kil tabakası da geomembran yerine geçmiştir. Mineral tabakalar sentetik tabakalara göre daha kalın olarak dizayn edildiğinden daha büyük bir dolgu zemini gerekmektedir.



a) Sentetik tabaka

1. GTX = Geotekstil

2. GN = Geonet

3. GM = Geomembran

b) Mineral tabaka

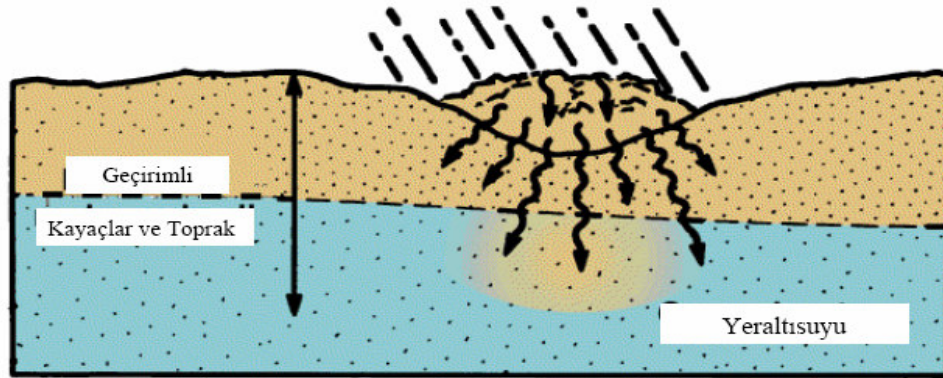
Şekil 3.2 Düzenli atık depolama alanlarının üst örtü tabakalarının sentetik ve mineral uygulamalarının karşılaştırılması

### 3.2.3 Sızıntı Suyu Drenajı

Yağış sebebiyle atık depolama sahalarının yüzeyinden atık içine giren veya atığın kendisinden oluşan sular sızıntı suyunu oluşturmaktadır. Şekil 3.3' de atık depolama alanlarındaki sızıntı suyunun yer altı suyuna karışması görülmektedir. (Carla, W. Montgomery 1996)

Sızıntı suyunun bileşimi, suyun atıklarla teması, oluşacak biyolojik, kimyasal, ve fiziksel aktivitelere bağlıdır. Oluşan sızıntı suyunun laboratuvar analizleri yapılır ve standartlar ile karşılaştırılarak sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilir.

Sızıntı suyundaki ağır metaller alt tabakadaki kil tarafından adsorbe edilir. Endüstriyel atıkların birleşimindeki ağır metaller dolgu alanındaki bağlayıcılarla karşılaşılır. Demir, krom ve kurşun bileşikleri sentetik mineraller tarafından tutulurlar. Demir metalinin yer altı suyuna karışmamasına dikkat edilir. Atık depolama alanında rastlanan ağır metaller; kurşun, mangan, çinko, krom, bakır, molibden, nikel, kobalt, demir titanyum, selenyum, arsenik, antimon, baryum, uranyum, gümüş, vanadyum ve berilyumdur.

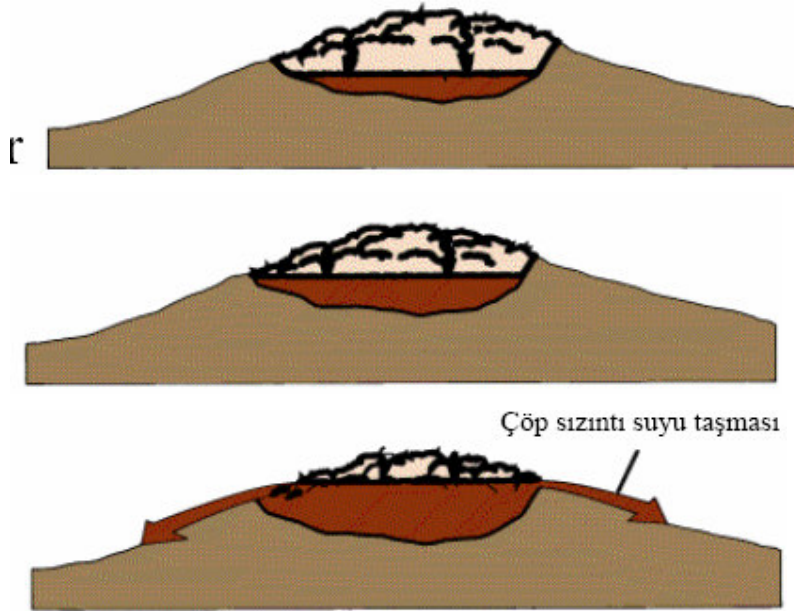


Şekil3.3 Atık depolama alanlarındaki Sızıntı sularının yer altı suyuna karışması

Kil tabakasının katyon değişim kapasitesi metallerin adsorbsiyonunda önemli rol oynar. Killer Cu, Pb, Zn ve P gibi ağır metalleri ve Mg, K ve Na gibi iyonları yüzeylerine adsorbe edebilir (Camerun 1978).

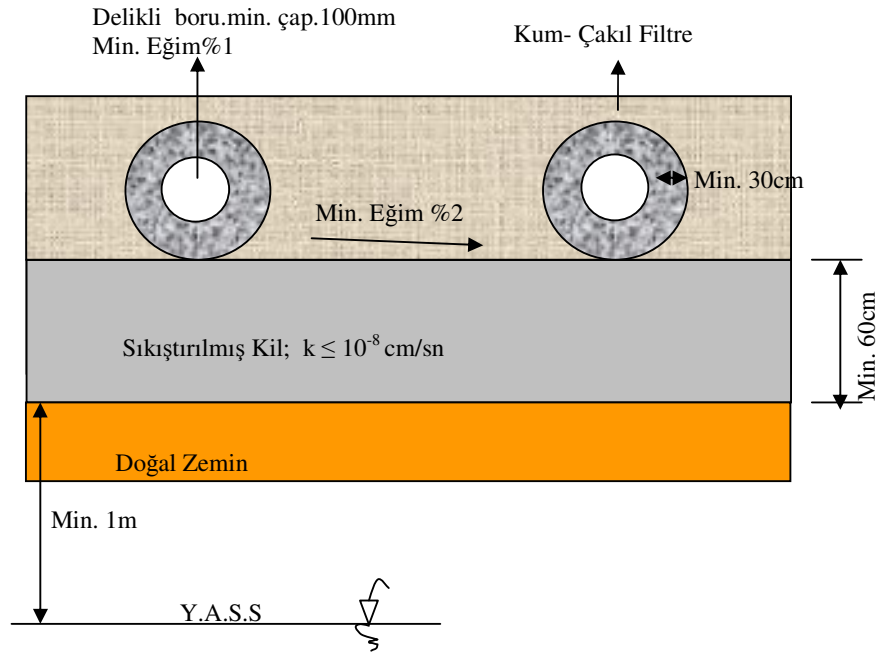
Düzenli depolama alanında oluşacak sızıntı sularının toplanarak sistem dışına atılması ve çevreye zarar vermeyecek şekilde arıtılması, depolanması için geçirimsizlik tabakası üzerine drenaj sistemi uygulanır. Drenaj sistemi, depo üst örtü tabakası yapılıncaya kadar yağış sularının drenaj sistemine intikal edeceği varsayılarak katı atıklardan süzölen suların ve yağış sularının toplam miktarına göre projelendirilir. (İller Bankası Katı Atık Tesisi Projesi Şartnamesi). Eğer drenaj sistemi projesi gerçekleştirilmezse, atık depolama yüzeyinde (Bathtub etkisi) görülür.

“Bathtub etkisi” yeraltına sızan çöp sızıntı sularının geçirimsizlik tabakası (impermeable linear) üzerinde toplanması olayıdır. Şekil 3.4.’de atık depolama yüzeyinde bathtub etkisi görölmektedir(Carla W. Montgomery 1996).



Şekil 3.4 Atık depolama alanı yüzeyinde ( Bathtub etkisi).

Katı Atıkları Kontrol Y., 1991, RG, Sayı 2084 madde26'ya göre; depo tabanı yer altı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 metre yüksekte olmalıdır. Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı minimum 100 mm ve minimum eğim %1 olarak uygulanır. Dren boruları, münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına taşınır. Depo tesisi çıkışında kontrol bacaları bulunur. Ayrıca dren boruları çevresine kum, çakıl, filtre yerleştirilir. Bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm olur.



Şekil 3.5 Türkiye Katı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği Şartları.

ABD uygulamalarında drenaj tabakası zeminlerinin en az  $10^{-1}$ -  $10^{-2}$  cm/sn permeabiliteye sahip olması ve en az %2 eğimle serilmesi önerilmektedir

. Minimum drenaj tabakası kalınlığı da 30cm olarak belirlenmiştir. Literatürde drenaj için kullanılacak çakılda aranan özellikler; aşağıdaki gibidir.

- 200 no'lu elekten geçen danelerin yüzdesi < %5
- 0.25 mm'den küçük dane oranı < %10
- Organik madde < %3

- Üniformaluluk katsayısı  $> 3$
- $\text{CaCO}_3$  yüzdesi  $< \%20$  (çözünüp, çökelerek tıkanıklık yaratabilir.)
- Çakıl ve taşların sert ve yuvarlak olması.

### 3.2.4 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 iki yılda artış göstermekte ve daha sonraları azalarak 25 yıl veya daha fazla sürmektedir. Pratikte ölçülen gaz miktarı çöpün niteliğine göre değişmektedir. Örneğin 1 ton depolanan çöp  $60-180 \text{ m}^3$  arasında değişmektedir. Atık depolama alanında  $\%55-\%60$  arasında metan gazı ( $\text{CH}_4$ ),  $\%35-\%40$  arasında karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ),  $\%2-\%3$  arasında  $\text{H}_2$ ,  $\%1$  sülfür, karbonmonoksit ve azot oluşmaktadır.

$\text{CH}_4$  ve  $\text{CO}_2$  gaz karışımının havadaki konsantrasyonu  $\%5-\%15$  arasında olduğunda patlayıcı karışım oluşmaktadır. Gaz drenajı olmayan depolama alanlarında depo kenarından itibaren 100-125 metre mesafeye kadar,  $\%40$  konsantrasyonda  $\text{CH}_4$  ve  $\text{CO}_2$  gazlarına rastlanmaktadır.

Depolama alanlarında gazın yayılması zemin özelliklerine ve üst örtü cinsine bağlıdır. Depolama alanlarında oluşan  $\text{CO}_2$  ağır bir gaz olduğu için dipte yoğunlaşarak ve hatta yer altı suyuna karışarak pH'ın düşmesine ve dolayısıyla suyun çözücü özelliğinin artmasına neden olabilmektedir. Sahayı çevreleyen toprak geçirimsiz ise saha içerisinde havalandırma yapılması gerekmektedir.

Düzenli depolama sahalarında çöp gazlarının çıkışı için delikli borular veya çakıl bacalar gibi basit yöntemler kullanılmaktadır. 3.00 m uzunluğunda seçilmesi uygun olan minimum 150-200 mm'lik delikli-sert PVC boruları tabanda 1.00x1.00 m ebadında açılmış kuru çukurun ortasına konularak, 50 mm'lik yıkılmış kireç taşı ile çakıl boru etrafına 1 metre çapında desteklenir. Çöp ara katmanları sıkıştırılırken ikinci PVC boru birincinin üzerine geçecek şekilde yükseltip, çakıl ile etrafı



çevrilir. Çöp dolgu derinliği arttıkça işlem yenilenir. Her 50 metrede bir havalandırma bacası yerleştirilmelidir. Depolama alanında oluşan gazın değerlendirilmesi; Elektrik enerjisi üretiminde, temizlendikten sonra doğal gaz olarak değerlendirilmesi, çöp kamyonlarında ve diğer belediye araçlarında yakıt olarak kullanılması. Alternatif araştırılarak, uygun sonuçlar alınmaz ise gazın yakılması yöntemine gidilmelidir (İller Bankası Katı Atık Tesisi Projesi Şartnamesi).

### 3.2.5 Çöp Dolgu Kümesinin Yüksekliği

Geçirimsiz tabakada meydana gelmesi olası çatlakları engellemek için atık kümesinin stabilitesi dizayn edilmelidir. Bu da atık yığınlarının aralarındaki boşlukların doldurulması ile mümkündür. Atığın permeabilitesi sıkışma derecesine göre  $10^{-1}$ -  $10^{-5}$  cm/sn arasında değişmektedir.

Literatürde 30 metrenin üzerinde yapılmış depolama alanları mevcuttur. Katı atık yönetmeliğinde sıkıştırılacak çöp katmanının 2 metre'yi aşmaması ön görülmektedir. İzmir Harmandalı katı atık düzenli depolama sahasında ortalama dolgu yüksekliği 38 metredir.

İzmir-Harmandalı katı atık dolgu yüksekliği aşağıda verilen eşitlik ile bulunmuştur (İzmir Katı Atık Projesi, 1991).

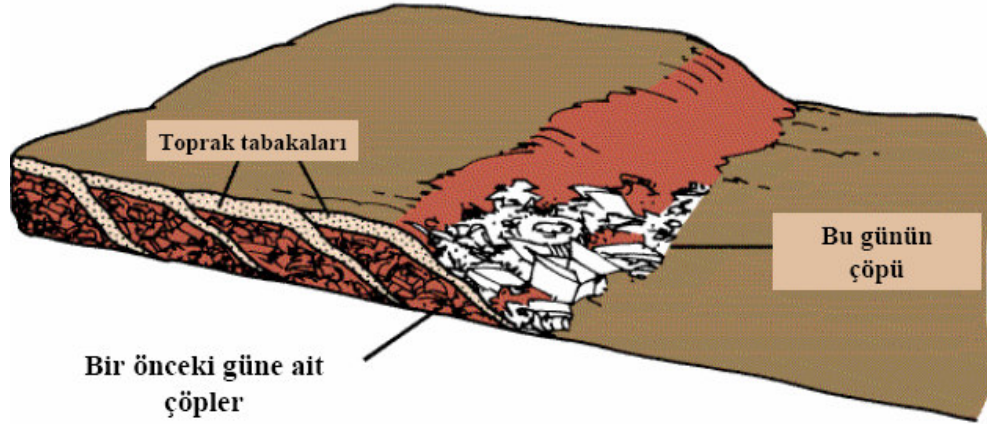
$$\text{Optimum Dolgu Yüksekliği} = \frac{\text{Zeminin Taşıma Gücü}}{\text{Sıkıştırılmış Çöp Yoğunluğu}}$$

### 3.2.6 Geçirimsiz Kil Tabakası yerleştirilmesinden sonra sıkıştırma yapılması

Atık depolama alanlarının tam olarak stabilize olması için, alanın sıkışmasının tamamlanmış olması gerekir.

Daniel (1987, 1990 ve 1993)'e göre 30 cm'lik kil tabakası gevşek olarak serilmelidir. Kompaksiyondan önce 1-3 gün bekletilmelidir. Sıkıştırmanın, sıkıştırılmış tabaka kalınlığı yaklaşık 15 cm'yi aşmayan tabakalar halinde (sıkıştırmadan önce kalınlık yaklaşık 23 cm) yapılması uygundur.

Çöp alanına küçük lotlar şeklinde serilen katı atıklar sıkıştırdıktan sonra her günün sonunda yaklaşık 15 cm lik sıkıştırılmış toprak tabakasıyla örtülürler. Çöp depolama alanının tamamlanmasını takiben en son 50 cm lik sıkıştırılmış bir toprak tabakasıyla örtülür. Şekil 3.6.'de sıkıştırılmış tabakalar görülmektedir.



Şekil 3.6 Düzenli depolama alanlarında sıkıştırılmış tabakalar.

### 3.2.7 Üst Örtü Tabaka Dizaynı

Atık depolama alanının kullanımı durduktan sonra yağmur suyunun kütleye girmesi ve sızıntı suyu yaratmasını önlemek, atık maddenin insan ve canlılarla temasını kesmek için üzerinin örtülmesi gerekir.

Üst örtü sistemlerinin kimyasal dirençleri depo tabanından düşüktür. Ayrıca üst örtü sistemleri; kuruma, erozyon, donma-çözünme, hayvanların deşmesi, kök penetrasyon'u gibi sorunlarla da karşılaşabilir.

U.S.EPA (1990 – 1992)'ye göre üst örtü sisteminin dizayn karekteristikleri aşağıdaki gibidir.

- Atık içerisine girebilecek yağışları minimum seviyede filtre etmek,
- Yüzey drenajının tutulmasını sağlamak,
- Erozyonu engellemek,
- Düzenli atık depolama alanlarından çıkacak gaz sızıntısını azaltmak,
- Atıkları çeşitli böcek ve haşerelerden uzak tutmak,
- Estetik bir görünüm sağlamak,
- Uzun vadede bakımını minimuma indirmek,
- İnsan sağlığını ve çevreyi korumak,

PROFİL	TABAKA	TEMEL FONKSİYONLARI	KULLANILAN MATERYAL	ÖNCELİKLER
	1- Yüzey Tabakası	Bitki yetişmesine izin verir ve erozyonu önler.	Üst toprak, taş, geosentetik erozyon kontrol sistemi.	Yüzey tabakası su ve rüzgar ile oluşabilecek erozyona karşı sürekli kontrol edilmelidir.
	2- Koruma Tabakası	Su tutar, alt tabakaları hayvan, bitki ve insanlardan korur. Stabilizasyonu sağlar. Dona ve çözünmelere karşı koruyucudur.	Karışık toprak ve taş.	Karma tabakalarının bazıları çoğunlukla aşınır. Yüzey tabakası ve koruyucu tabaka bir arada olabilir.
	3- Drenaj Tabakası	Bariyere ulaşan drenajı minimize eder ve sızıntı basıncını dağıtır.	Kum, çakıl, geotekstil, geonet, geocompozit.	Drenaj tabakası zorunlu değildir. Koruma tabakası, içinden fazla su geçtiğinde veya sızıntı basıncı fazla olduğunda gereklidir.
	4- Bariyer Tabakası	Atıktan oluşan suyun minimize olması ve çıkan gazı uzaklaştırmak.	Sıkıştırılmış kil tabakası, geomembranlar, geosentetik kil tabakası	Sadece ihtiyaç duyulmayan alanlarda kullanılmaz.
	5- Gaz toplama Tabakası	Gaz toplama noktalarına gelir ve buradan uzaklaştırır.	Kum, geotekstil, geonet.	Üretilen gaz miktarına bağlı olarak gerekliliği belirlenir.

Şekil.3.7 Örtü Sistemlerinde Kullanılacak 5 Temel Bileşen

Üst örtü tabakası genellikle 30-60 cm kil ve/veya geomembran tabakasının birleşiminden oluşur. Genellikle tabandaki kil tabakası üzerine kompaksiyon uygulanan atık depolama tabanlarında sıkı temel istenir. Sıkı temel ve kil tabakaları atık tabakasıyla oluşacak oturmalarındaki farklılıklardan dolayı oluşacak çatlamalara karşı hassastır. Bu nedenle çok daha esnek olan geosentetik kil tabakaları kil yerine kullanılabilir.

Geosentetik Kil Tabakaları susuz ince bentonit ile örtülen geotekstil veya bağlanmış geomembranlardan oluşur. Bentonit kili permeabilitesi en düşük malzemedir. Geotekstilin bentonit kili ile birlikte kullanıldığı depolama alanları bulunmaktadır.

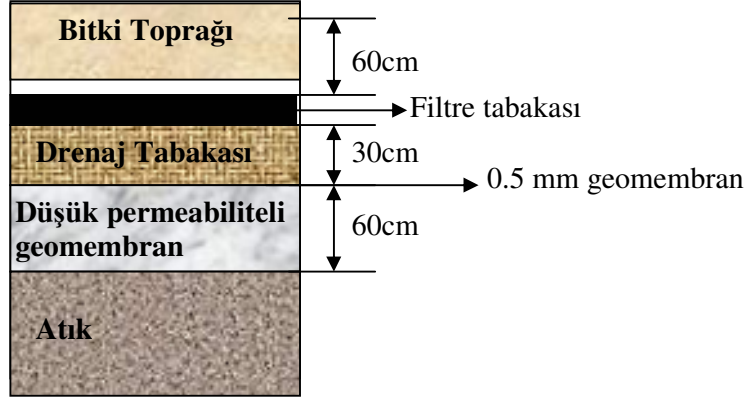
Geomembranlar üst tabakalarında esnek, dirençli, baskılara karşı dayanımlı ve uygun durumlar altında mukavemetli oldukları için tercih edilirler.

Üst örtü tabakasının permeabilitesi zemin tabakasına eşit veya daha azdır. Bu da düzenli depolama alanlarında havuz etkisi olarak bilinen sızıntı suyunun toplanmasını etkiler. Eğer sızıntı suyu depolama alanında toplanırsa ve uygun uzaklaştırma yapılmazsa, yanlardan sızarak yüzey suyunun kirlenmesine neden olur.

Kuruma, Filtrasyon gibi özellikler sağlanırsa bu tabaka üzerinde bitkiler yetiştirilebilir. Atık depolama alanları üst örtü ile kapatıldıktan sonra bitkilerin üzerinde yetiştiği bu toprak su akışıyla taşınma ve erozyona maruz kalabilir. Bu etkileri en aza indirmek için köklerin tutunup, yetişebileceği düşük permeabiliteli toprak kullanmak gerekir. Bitki yetişmesine elverişli olmayan iklimlerde, toprak yerine taş veya kaya parçaları kullanılabilir.

Üst örtü tabakasında filtre edilen sızıntı suyunu en aza indirmek için üst örtü tabakası ve bitkilerin yetiştiği toprak tabakası arasına bir drenaj tabakası yerleştirilir. Genellikle 30 cm kalınlığında granüler drenaj tabakası veya geonet kullanılır. Sular drenaj tabakası içerisinde yer alan borular ile toplanır.

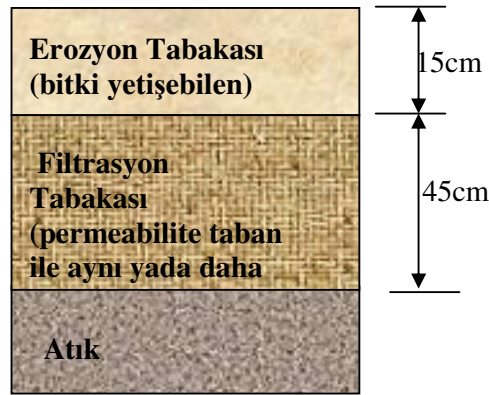
Bu boruların oturmalarına karşı yeteri kadar esnek ve dayanıklı olması istenir. Drenaj tabakası geotekstil ve geçirgen tabaka arasına yerleştirilir.



Şekil 3.8 U.S.EPA'nın önerdiği tehlikeli atık depolama alanında üst örtü tabaka sistemi.

Bu sistemde;

- Minimum 60 cm düşük permeabiliteli toprak tabakası ile beraber  $10^{-7}$  cm/sn max. Permeabiliteli,
- Drenaj takası yada min. 30cm granüler drenaj tabakası ile birlikte permeabilitesi min.  $10^{-2}$  cm/sn olan yada aynı karekteristiklere sahip geosentetik drenaj materyali.
- Drenaj tabakası üzerinde bitkilerin köklenmesini engellemek için toprak veya geosentetik filtre tabakası.
- Min. 60 cm kalınlığında %3-5'lik eğim ile bitki yetişen toprak.



Şekil 3.9 USEPA'nın önerdiği tehlikeli olmayan atıklar için üst örtü sistemi

### **3.3 Düzenli Depolama Metodları**

Düzenli depolama alanlarının yer seçiminde göz önünde bulundurulması gereken hususlardan biri de uygulanacak depolama yöntemidir. Seçilecek yöntemin, depolama alanının özellikleri ile uyumlu olması gerekmektedir (Ankara Büyükşehir Bel 1999).

Depolama sahasına getirilen atıkların sahaya yerleştirilme biçimlerine göre sınıflandırılmış, başlıca üç çeşit depolama yöntemi vardır. Bu yöntemler;

1. Alan metodu,
2. Hendek metodu,
3. Rampa veya çukur metodu
4. Ufalanmış katı atıkların düzenli depolanmaları,

#### **3.3.1 Alan metodu**

Bu yöntem, depolama sahasının arazi yapısı hendek kazmaya elverişli olmadığı hallerde kullanılır. Boşaltılan katı atıklar, arazi üzerine, yaklaşık 40-75 cm derinliğinde uzun ve dar şeritler halinde yayılır. Bu işlemler dozer ve serici yükleyiciler ( scraper) yardımıyla yapılır. Gün boyunca üst üste yayılarak ve sıkıştırılarak, yaklaşık 1,5-3 m derinliğe ulaşan seddenin üzeri 15-30 cm kalınlığında örtü malzemesiyle örtülür.

Doldurma işlemi daha önce arazi tabanına inşa edilen toprak bir seddenin yüksekliğine kadar devam eder. Şeritlerin uzunluğu, boşaltma alanının özellikleri ve günlük atık miktarına bağlı olarak, bu yüksekliğe gün sonunda erişilecek şekilde belirlenir. Şeritlerin eni ise, yine arazi yapısına bağlı olarak, 1-6 m arasında değişkenlik gösterebilir. Gün sonunda elde edilen sıkıştırılmış atık kütlesi 'hücre' olarak adlandırılır ve atık depolama alanı gelişme planındaki hedefe göre hücreler üst üste yerleştirilir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

### **3.3.2 Hendek metodu**

Hendek yönteminde ise, arazide yeterli derinlikte örtü malzemesi bulunduğu ve yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olmadığı hallerde kullanılır. Atıklar 30-120 m uzunluğunda, 1-2 m derinliğinde ve 4,5-6,5 m eninde hendeklere boşaltılır. İşlemi başlatmak için, hendeğin bir bölümü kazılır ve kazıntı malzeme, hendeğin diğer tarafına veya bir önceki hendek tarafına, set oluşturacak şekilde yığılır. Daha sonra, atıklar hendeğe boşaltılıp, yaklaşık 45-60 cm derinliğindeki ince tabakalar halinde serilir ve sıkıştırılır. Bu işlem, planlanan yüksekliğe ulaşmaya kadar devam eder. Kullanılacak hendeğin uzunluğu, gün sonunda planlanan atık dolgu yüksekliğine erişilecek şekilde ayalanır. Bu uzunluğun belirlenmesinde, aynı zamanda, katı atık toplama kamyonlarının atıklarını boşaltmak üzere beklemelerinden doğacak maliyet yükünü de göz önüne almak gerekir. Örtü malzemesi olarak, bir önceki hendeğin veya doldurulmakta olan hendeğin kazılması sırasında ortaya çıkan toprak kullanılır (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

### **3.3.3 Rampa metodu**

Rampa yöntemi, dar ve derin vadiler, boğazlar, taş ocakları gibi tabii veya suni alanlar için uygundur. Doldurma ve sıkıştırma işleminin tekniği, arazinin şekli, örtü malzemesinin özellikleri, arazinin hidrolojisi ve jeolojisi ve alana ulaşım şartlarıyla değişkenlik göstermektedir.

### **3.3.4 Ufalanmış katı atıkların düzenli depolanması**

Katı atıkların düzenli depolamadan önce küçük parçalara ayrılması ve sıkıştırılarak depolanması tekniğidir. Bu metotta her günün sonunda depolama alanı hücresinin toprakla örtülmesi gerekmektedir. Böylece sıkıştırma daha iyi olacak ve çevrenin etkilenmesi, fare, vb. gibi haşerelerin üremesi gibi problemler ortadan kalkacaktır. Bu yöntem örtü malzemesinin bulunmadığı durumlarda düşünülmelidir.



### 3.4 Düzenli atık depolama sahası tasarım kriterleri

#### 3.4.1 Yer seçimi

Uygun yer seçimi, inşa edilecek düzenli depolama tesisinin çevreye zarar vermeden işletilmesi en önemli şarttır.

Düzenli depolama sahası seçimi; şehir ve bölge planlama, ekonomi, mühendislik, sosyal ve politik alanlar üzere birçok disiplini kapsar. Yer seçimi aşamasında dikkate alınması gereken konular aşağıda sıralanmıştır (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

- 1- Meskun sahalara uzaklık
- 2- Saha ömrü ve kapasitesi
- 3- Topoğrafya
- 4- Yüzey suları
- 5- Toprak yapısı ve jeoloji
- 6- Yer altı suları
- 7- Bitki örtüsü
- 8- Ulaşım durumu
- 9- Arazi kullanımı
- 10- Arkeolojik ve tarihi önem
- 11- Çevresel açıdan hassas alanlar
- 12- Maliyetler

**1. Meskun sahalara uzaklık:** Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre depolama esisleri, yerleşim bölgelerine uzaklığı 1000m'den az olan yerlerde, taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, heyelan, çığ ve erozyon bölgelerinde, içme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yer altı suları koruma bölgelerinde kurulamaz, etrafına bina yapılmasına izin verilemez (Katı Atıkları Kontrol Y., 1991).

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde depolama sahalarının en yakın meskun bölgeye uzaklığı 1000 m olarak belirtilirken bu değer, Dünya Sağlık

örgütü (who) standartlarına göre minimum 200 m olarak belirlenmiştir. Çünkü katı atık depolama sahalarında oluşan zehirli gazlar yer altından 200m mesafeye kadar yayılabilmektedir (Eskisehir Büyükşehir Bel. 2003a).

**2. Saha Ömrü ve Kapasitesi:** Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre depolama sahaları, nüfusu 100.000'den küçük olan yerleşim bölgelerinde 10 yıllık ihtiyacı karşılayacak şekilde, nüfusu 100.000'den büyük olan yerlerde ise 500.000m<sup>3</sup> olarak planlanır (Katı Atıkları Kontrol Y., 1991).Seçilecek katı atık depolama alanı aşağıdaki açılardan incelenmelidir;

- 1- Brüt alan: Mülkiyet sınırları içinde kalan toplam alan,
- 2- Kullanılabilir depolama alanı: Tampon bölgeler, ulaşım yolları ve toprak dolgu stokları için ayrılan alanlar dışında kalan sahadır. Genellikle kullanılabilir depolama alanı, brüt alanın %50-70'ini kapsar (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**3.Topoğrafya:** Oldukça düz sahalarda birikinti olabileceği ve fazlasıyla dik alanlarda işletim güçlükleri ve erozyon yaşanabileceği için, düzenli depolama genellikle eğimi%1'den daha fazla ve %20'den daha az olan alanlar için düşünülebilir. Düzenli depolama yöntemi, topoğrafya'ya göre hangi işlemlerin uygulanabileceğini belirler (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**4. Yüzey suları:** Depolama alanının içinde bulunan yüzey sularının ve önerilen alanlara yapılan drenajın haritaları çıkartılmalı ve suların şimdiki ve gelecekteki kullanımları dikkate alınmalıdır. Çevresel açıdan hassas bölgeler olan sulak ve bataklık sahalardan kaçınılmalı ve taşkın potansiyeli olan bölgeler mümkün olduğunca tercih edilmemelidir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**5. Toprak yapısı ve Jeoloji:** Katı atıkların düzenli depolanmasında ; potansiyel kirlenmelerin yer altı suyuna karışmasının önlenmesinde, yüzey drenajı ve sızıntının kontrol edilmesinde ve eğer atık özellikleri ve düzenli depolama sistemi kesinleştirilmişse, katı atıkların sıkıştırılarak hacimlerin küçültülmesinde, bir

geçirimsiz tabaka kullanılır. Dolayısıyla, kullanılacak toprağın seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- 1 Fiziksel/hidrolik özellikler
  - a. Tanecik yapısı
  - b. Genel yapı
  - c. Toprağın derinliği ve miktarı
  - d. Su geçirgenliği
  
- 2 Kimyasal özellikler
  - a. Ph
  - b. Katyon değişim kapasitesi

Genel olarak uygun bir jeoloji, ince tanecikli toprakların kombinasyonudur. Toprak tanecikleri inceldikçe, yer altı suyunun kirlenmesini önlemek amacıyla kullanılan geçirimsiz malzeme için daha az derinlik yeterli olur. Diğer toprak çeşitleri daha fazla derinlik gerektirir. Gevrekli toprak miktarı ve tipi, seçilen düzenli depolama yöntemi ve katı atık özelliklerine bağlıdır. Geçirgenlik ise toprağın tanecik ve genel yapısına bağlı olarak değişmektedir. İnce tanecikli topraklarda su geçirgenliği minimumdur (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

Belli bir sahadaki toprak gereksinimleri iklim tarafından da etkilenir. Yoğun yağış alan bölgelerde; toprağın su geçirgenliğinin, atığın geçirgenliğinden daha az olması durumunda ‘ Küvet (Bathtub) Etkisi’ ortaya çıkar ki bu da suyun hendeklerde birikmesine ve akmasına yol açar. Böyle alanlarda geçirgen olmayan toprak kullanılacağı zaman sızıntı suyu toplama sistemi kurmak gerekecektir.

Katyon değişim kapasitesi ve pH toprağın katyonlarını tutma gücünü etkiler. Ağır metaller genellikle alkali topraklar tarafından tutulur. Katyon değişim kapasitesi genellikle toprağın içerdiği kil oranına göre belirlenmekle beraber,

pH'a bağlı olan yüklü parçacıklarla doğru orantılı olarak artar. Katyon değişim kapasitesi yüksek olan topraklar katyonların uzaklaştırılmasında daha etkin oldukları için, düzenli depolama sahalarında tercih edilirler. Toprakla ilgili olan diğer önemli konular arasında sıkıştırma özellikleri, drenaj ve şev stabilitesi sayılabilir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**6. Yeraltı Suları:** Bir sahanın düzenli depolama için uygunluğu değerlendirilirken, yöredeki yer altı suları hakkında veri elde etmek oldukça önemlidir. Bu veriler arasında yer altı su seviyesinin ykseklieği ( geçmişteki en yüksek ve en alçak seviyeleri ile beraber), suyun kalitesi, hidrolik eğim, akış yönü, şimdiki ve gelecekteki kullanım şekli ve temel geri dolun bölgelerinin konumu bulunmalıdır. Yer altı suyu ile doğrudan temas etme potansiyeli bulunan yerlerde kesinlikle katı atık depolaması yapılmamalıdır. Depolamanın alt seviyesi ile yeraltı suyunun üst seviyesi arasında mümkün olan en fazla mesafe sağlanmalıdır (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

Sahayı değerlendirirken şu bilgilerin dikkate alınması gerekir:

1. Yer altı suyu ve değişimleri,
2. Hidrolik eğim,
3. Yer altı suyu kalitesi,

Hidrolik eğimin belirlenmesi, yer altı suyu hareketlerinin hız ve miktarının saptanması ve çevredeki diğer yer altı suyu kaynaklarıyla birleşme olup olmadığının anlaşılması açısından önemlidir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**7. Bitki rts:** Saha seçimi sırasında, alternatif sahadaki bitki örtüsünün yoğunluğu ve eşitleride dikkate alınmalıdır. Bitki rts tampon bölge grevi yaptığı gibi, toz, gürültü, koku ve kötü görüntüyü de azaltır. Fakat bitki örtüsünün büyük ölçüde azaltılması veya temizlenmesi gereken durumlarda maliyetler, seçime engel teşkil edecek kadar arttırılabilir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**8. Ulaşım durumu:** Muhtemel düzenli depolama sahalarına kadar olan taşıma yolları, mümkün olduğunca ana yolları takip etmelidir. Kamyon trafiği, yola yakın meskenlerin, parkların ve okulların yaklaşık sayısı, trafik sıkışıklığına muhtemel

etkilerin saptanabilmesi için potansiyel yollar incelenmeli ve fiziksel uygunlukları belirlenmelidir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**9. Arazi kullanımı:** Seçeneklerin bulunduğu bölgeler hem şimdiki, hem de gelecekteki standartlar göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Her sahanın bölgesel statüsünün ve sınırlamaların saptanabilmesi için ilgili belediye veya şehir-bölge planlama kurumlarıyla bağlantı kurulmalıdır. Gelecekteki imar planlarına göre düzenli depolama sonrası arazinin nihai şekli seçim prosesinin ilk aşamalarında belirlenmelidir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**10. Arkeolojik veya Tarihi önem:** Potansiyel bir saha içerisinde kalan arazinin arkeolojik veya tarihsel önemi de kesin olarak belirlenmelidir. Aday sahanın tarihsel statüsü saptanmalıdır. Arazinin arkeolojik veya tarihsel önemine dair edinilen bu bilgilerin, sahanın onaylanması ve işlemin başlamasından önce verilmesi gerekmektedir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

**11. Çevresel açıdan hassas alanlar:** Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA, Environmental Protection Agency) tarafından kabul edilen ‘ Katı Atık İmha Sistemleri İçin Sınıflandırma Kriterlerin’de çevresel açıdan hassas beş alan belirlenmiştir:

1. Sulak ve bataklık araziler,
2. Taşkın potansiyeli olan alanlar,
3. Yer altında donmuş tabakası bulunan alanlar,
4. Soyu tükenmekte olan canlı türlerinin yaşama alanları,
5. Yer altı sularının geri dolum bölgesi olan alanlar.

Genel olarak hem teknik, hem de idari açıdan karmaşık işlemler gerektirecek ‘Çevresel açıdan hassas’ alanlar yerine daha uygun alternatif sahalarda düzenli depolama yapılması tercih edilmelidir (Ankara Büyükşehir Bel, 1999).

**12. Maliyetler:** Yaklaşık maliyetlerin belirlenmesi açısından, saha seçiminin ilk aşamalarında ekonomik değerlendirme yapılmalıdır. Sahaların gerçekçi bir şekilde karşılaştırılması için ilk yatırım ve işletme maliyetleri tahmin edilmelidir.

Bu projeksiyonlarda yapılan hesaplamaların zamana göre değeri dikkate alınmadığından, bu yöntem kullanılarak yapılan, özellikle uzun ömürlü saha seçimlerinde, yüksek işletme maliyetine sahip sahalar yerine yüksek ilk yatırım maliyeti olan sahalar tercih edilmelidir (Ankara Büyükşehir Bel, 1999).

### **3.4.1.1 Ön Etüdler**

Yer seçim kriterlerine göre seçilmiş, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporlarında çevre etkileri bakımından zararsız görülen depolama sahalarında avan ve uygulamalarına başlanması için bazı araştırma, deney ve ölçüm çalışmalarının yapılması gerekir (Demir ve Tüylüoğlu 1999).

Bu çalışmalar, aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

**Jeolojik ve Geoteknik Etütler:** Katı atık depolama sahaları, taban üzerine 40-50m yüksekliğinde dolgunun yapıldığı, dren ve gaz toplama borularının döşendiği yapılar olup zemin etütleri bu yapının projelendirilmesinde gerekli olan parametreleri kapsayacak şekilde olmalıdır.

Proje sahasında, araziye meydana getiren formasyonların cinsi, nitelik, derinlik, kalınlık ve sıkışıklık derecesi, taşıma gücü saptanması ve boşluk suyu basıncı, zeminin fiziksel özellikleri, zeminin elastikiyet modülü, içsel sürtünme açısı, zeminin kohezyonu, geçirgenliği gibi projeye esas olacak jeoteknik bilgi ve değerlendirmelerin elde edilmesine yeter sayıda sondajlar yapılmalı, bu bilgiler ile arazi ve labaratuvar sonuçlarına göre Geoteknik Rapor hazırlanmalıdır. Rapor; kot ve koordinatlar, arazi deney kayıtları, Labaratuvar test kayıt ve sonuçları, kuyu yerleşim haritası, enine ve boyuna arazi kesitleri verilmelidir.

**Hidrojeolojik Ölçümler:** Katı atık depolama sahalarının en önemli olumsuzluklarından biri yer altı suyu kirlenmesi olduğundan, bölgenin hidrojeolojik özellikleri, yer altı suyu maksimum ve minimum seviyesi yer altı suyu akış yönü, eğimi, hızı belirlenmelidir.

**Trafik Etütleri:** Depolama tesislerinin ulaşım yollarının giriş ve çıkış yapıları ve bunların projelendirilmesinde söz konusu depolama tesisinin bölgede meydana getireceği trafik yükü dikkate alınmalıdır. Mevcut yolların özellikle yoğun saatlerde ilave trafik yükünü karşılayıp karşılamayacağı hesaplanmalı ve buna göre teknik tedbirler belirtilmelidir (Demir ve Tüylüoğlu 1999).

**Harita Etütleri:** Katı atık depolama sahası projelendirilmesinde en önemli verilerden biri arazinin topoğrafyasıdır. Planlanacak arazi ve çevresi ile ilgili olarak, avan proje seviyesinde 1/25.000 ve 1/5000' lik topoğrafik haritalarla temel çözümler üretildikten sonra, 1/1000 veya 1/500 ölçekli haritalarda uygulama projeleri hazırlanmalıdır (Demir ve Tüylüoğlu 1999).

#### **3.4.1.2 EPA Yöntemi:**

Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA, Environmental Protection Agency) ise katı atık depolama sahası seçiminde 3 aşamadan oluşan bir yöntem uygulamaktadır. Halen dünya çapında yaygın olarak kullanılmakta olan bu yöntemle göre, bir yer seçimi prosesi aşağıdaki aşamaları kapsamaktadır.

1. Ön değerlendirme,
2. Eleme,
3. Son seçim.

Küçük yerleşimler için depolama alanlarının seçiminde ise, çok detaylı yer seçim prosesi gerekmeyeceği belirtilmektedir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

## Ön değerlendirme

1. Aşama: Yasal sınırlamaların (ülke geneli ya da yerel) aşağıda sıralanan özelliklere göre belirlenmesi.

- a. Fiziksel sınırlamalar (yer altı suyu derinliği, arazinin eğimi, jeolojik yapı),
- b. Demografik sınırlamalar (en yakın yerleşim merkezine olan uzaklığı, arazi kullanım faktörleri),
- c. Politik sınırlamalar (olası kamuoyu tepkileri, çeşitli sosyal grupların tepkileri).

2. Aşama: Alternatif alanların aşağıda listelenen hususlar göz önünde bulundurularak belirlenmesi.

- a. Atık su arıtma tesislerine ve/veya potansiyel hizmet alanı merkezine kadar taşıma mesafelerine bağlı olarak, çalışma alanının en büyük yarı çapının belirlenmesi;
- b. Detaylı şeffaf haritalar hazırlanarak aşağıda sıralanan özelliklere sahip alanların belirlenmesi;
  - i. Uygun olmayan arazi eğimi,
  - ii. Yoğun nüfus,
  - iii. İstenmeyen jeoloji ( karst, kırıklı kaya oluşumları, çatlaklar),
  - iv. İstenmeyen toprak yapısı (sığ, yüksek organik içerikli, donmuş toprak alanları),
  - v. Uygun olmayan yüzey ve yer altı koşulları (taşkın potansiyeli bulunan alanlar, bataklıklar, su birikintisi yada havuzlaşma oluşturabilecek alanlar, yer altı sularının geri dolun bölgeleri),



3. Aşama: Potansiyel aday sahaların saptanması ve bu alternatif sahalar konusunda ,
- Yerel ilgililerin bilgilendirilmesi,
  - Eski saha envanterlerinin incelenmesi,
  - Haritalar veya havadan çekilen fotoğraflar üzerinde çalışılması,
  - Seçilme olasılığı yüksek sahalardaki yollarda, toprak mülkiyeti durumunun araştırılması.
4. Aşama: Alternatif sahalar için, taşıma mesafesi, saha hazırlama maliyeti, atık miktarı, personel ve ekipman giderleri gibi temel harcama kalemleri göz önünde bulundurularak, kaba maliyet tahminleri yapılması.
5. Aşama. Mevcut veriler kullanılarak ön saha incelemelerinin yapılması ve sahaların;
- Konum,
  - Arazi kullanımı,
  - Taşıma mesafesi ve güzergahı,
  - Topoğrafya,
  - Toprak özellikleri,
  - Yüzey alanı,
  - Bakış açılarından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.
6. Aşama: Bir önceki aşamada irdelenen hususların, yasal ve ekonomik sınırlamalar ile değerlendirilerek daha az uygun sahaların elenmesi.

## Eleme

1. Aşama: Bu aşamada, teknik, ekonomik ve kamuoyu tepkileriyle ilgili hususlar eş zamanlı değerlendirilerek, alternatif sahaların elenmesi gerçekleştirilir:

1. Teknik konular:
  - a. Taşıma mesafesi ve ulaşım durumu,
  - b. Saha ömrü ve kapasitesi,
  - c. Topoğrafya,
  - d. Yüzey suları,
  - e. Toprak yapısı ve jeoloji,
  - f. Yer altı suları,
  - g. Toprak miktarı,
  - h. Bitki örtüsü,
  - ı. Çevresel açıdan hassas alanlar,
  - j. Arkeolojik önem,
  - k. Arazi kullanımı.
2. Ekonomik konular: İlk yatırım ve işletme maliyeti açısından alanların değerlendirilmesi; arazi durumu, istimlak, yol yapım giderleri, saha hazırlanması, ekipman, işletme giderleri.
3. Kamuoyu tepkileri açısından değerlendirmeler.

2. Aşama: Sayısı genellikle 4 ile 6 arasında değişen alternatif depolama sahaları incelenir ve her sahaya özgü problemler belirlenir. Çalışmalar sırasında, mevcut kaynaklardan edinilen bilgiler kullanıldığı gibi, arazi araştırmaları ile de bu bilgiler desteklenebilir. Yapılacak araştırmaların kapsamı, saha özelliklerine göre değişebilir.

3. Aşama: Bu aşamada, sahalara değerlendirilerek, alternatif sahalara çevre üzerindeki olası kötü etkileri belirlenir. Alanların değerlendirilebilmesi için, önerilen puanlama sistemi uygulanabilir. Bu sistemde, Tablo 3.2'de verilen kriterler, yine aynı tabloda, önem derecelerine göre belirtilen puanlara göre değerlendirilir. Bu tabloda her bir kriter için verilen puanlar, söz konusu kriterlerin birbirlerine göre önemini yansıtmaktadır.

4. Aşama: Bir önceki aşamada gerçekleştirilen puanlamalara göre, sahalara derecelendirilir. Derecelendirmelerde, teknik konular baz alınır.

5. Aşama: En üstteki saha veya sahalara, yer seçim bilgileri gerektiği durumlarda bir çevresel etki değerlendirme raporunda verilir.

6. Aşama: Elemanın son aşamasında, alternatif sahalara değerlendirilmesine kamuoyu katılımı sağlanır.

Eleme, konu üzerinde deneyimli, uzman kişilerden oluşan bir ekipçe gerçekleştirilir. Burada ne kadar ayrıntıya girileceği, yasal beklentilere bağlıdır. Uygulanacak yöntem, alternatif sahalara puanlaması ve beraberinde subjektif analizler yapılması şeklinde olabilir (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

### **Son seçim**

1. Aşama: Son seçim aşamasında, depolama sahasına kesin olarak karar verilmeden önce, her alan için düzenli depolama yöntemi belirlenmeli ve ön tasarım gerçekleştirilmelidir. Tasarım, atık ve saha özelliklerine uygun olarak hazırlanmalıdır. Bu aşamada, ön çizimlerde gerçekleştirilebilir.

2. Aşama: Düzenli depolama yöntemi belirlendikten sonra, arazinin kullanım şekli için alternatifler belirlenir ve her alternatif saha için son kullanım şekli saptanır.

3. Aşama: İlk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, taşıma maliyeti gibi kalemler ayrıntıları ile hesaplanır.
4. Aşama: Konuya ilişkin yasal devlet politikası değerlendirilir ve konuya kamuoyu katılımı sağlanır. Bu aşamada çok geniş katılımlı toplantılar düzenlenebilir.
5. Aşama: Depolama sahası seçilir.
6. Aşama: Belirlenen depolama sahasının mülkiyeti alınır (Ankara Büyükşehir Bel.1999).

DÜZENLİ DEPOLAMA İÇİN TEMEL OBJEKTİFLER	ÖNEM SIRASINA GÖRE OBJEKTİFLERİN DERECELENDİRİLMESİ	KRİTERLER
Seçilen saha toplum sağlığını tehlikeye sokmamalı.	1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yer altı suyunun kirlenme tehlikesi</li> <li>• Gaz tehlikesi</li> <li>• Yer altı suyunun kirlenme potansiyeli</li> <li>• Toz, koku ve gürültü kirlilikleri</li> <li>• Ulaşım sürecindeki potansiyel tehlikeler.</li> </ul>
Seçilen saha kamuoyunca kabul edilebilir olmalı.	800	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Görüş alanlarının dışında olması</li> <li>• Gürültü, toz ve kokuya karşı önlem alınması.</li> <li>• Yüzey sularının kirlenme potansiyeli.</li> <li>• Son kullanım şeklinin kabul edilebilir olması</li> <li>• Geliştirilmiş saha kullanım şeklinin uygun olması.</li> </ul>
Seçilen sahanın kullanımı, kabul edilmiş arazi kullanım planıyla uyumlu olmalıdır.	500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bitki örtüsünün çeşit ve yoğunlukları.</li> <li>• Tür, çeşitlilik ve yoğunluk açısından halihazırdaki gelişimin çevredeki arazi üzerindeki etkileri.</li> </ul>
Saha ekolojisinde oluşabilecek bozulmalardan kaçınılmalı.	500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamamlanmış depolama sahasının gelecekteki arazi kullanım planıyla uyumlu olması</li> <li>• Sahanın şimdiki kullanımının geliştirilmesinin istenebilir olması.</li> </ul>
Seçilen sahanın düzenli depolama alanı olarak hemen geliştirilmeye ve işletmeye uygun olmalı.	300	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sahanın ömrü.</li> <li>• Gerekli örtü malzemesinin sahada bulunuyor olması</li> <li>• Sahanın genel ulaşımının sağlanabilmesi.</li> </ul>

Şekil.3.10 EPA yöntemine göre önerilen puanlama sisteminin yapısı(Ankara Büyükşehir Bel, 1999)

## 3.5 ULUSLAR ARASI SÖZLEŞMELER

### 3.5.1 Basel Sözleşmesi

Sanayi atıklarının çevre ve insan ağılığına olabilecek zararlarına karşı, yönetimi, bertaraf edilmesi ve taşınımlarına ilişkin önlemler almak üzere uluslar arası düzeyde çalışmalar sürdürülmektedir. Bu kapsamda Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) bünyesinde çalışmalar başlamış ve hazırlanan 'Basel Sözleşmesi' 05.05.1992 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Sözleşmeye taraf ülke sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bugün sözleşmeye 141 taraf ülke ve 53 imzalayan ülke bulunmaktadır. Ülkemiz sözleşmeyi 22.05.1989 tarihinde imzalamış ve 22.06.1994 itibarıyla taraf olmuştur.

Sözleşmenin amacı;

- Tehlikeli ve diğer atıkların sınır ötesi hareketlerini azaltmak,
- Tehlikeli ve diğer atıkların oluştukları yere en yakın olacak şekilde çevreyle uyumlu olarak ıslahı ve bertaraf edilmesini sağlamak,
- Tehlikeli ve diğer atıkların oluşumunu minimize etmektir. (miktar ve olası zarar yönünden).

Sözleşmenin bazı hükümleri aşağıda belirtilmiştir;

- Taraf ülkeler sözleşme gereklilikleri doğrultusunda ulusal yasal düzenlemelere sahip olmalıdır.
- Atık taşınmasıyla ilgilenen her kişi konuyla ilgili ulusal yasa ve düzenlemelere uymak zorundadır.
- Taraf ülkeler tehlikeli atıkların veya diğer atıkların ithalini yasaklayan ülkelere atık ihracını yasaklamalıdır (TC Çevre ve Orman Bakanlığı 2001).

## 4. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

### 4.1 Na Bentonit Kili

Bentonit kili; volkanik killerin normal ortamlarda kalıp, kimyasal reaksiyonlara uğramasıyla veya kayaların suda ayrışmasıyla oluşmaktadır. Bentonit, çok ince yassı koloidal parçacıklardan oluşur. Tabii bentonit, kazıldığı zaman yüksek su muhtevasına sahip, kaygan dokulu, yumuşak bir kaya görüntüsüne sahiptir.

Bentonit koloidal alüminyum hidrosilikat'tır. Hacmi su ile 10 ile 30 kat arasında artış gösterir. Sıcaklığı 200°C'nin üstüne çıkıncaya kadar şişme özelliğini korur ve 600°C'nin üzerinde ise şişme özelliğini tamamen kaybeder. Düşey permeabilitesi,  $4,09 \times 10^{-10}$  cm/sn ve yanıl şişme basıncı,  $4,48 \text{ kg/cm}^2$ 'dir (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu 2001).

Başlıca kullanıldığı yerler; Sondajlarda (sondaj yan yüzeylerine basınç yaparak göçmeyi önler). su kaçaklarını önlenmesinde; döküm kumu bağlayıcısı olarak kalıpların hazırlanmasında (1600 °C' ye kadar dayanmaktadır), demir tozlarının peletlenmesinde; inşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığı elde etmede, hayvan yemi yapımında; yemeklik sıvı yağların ağartılmasında; şarap ve meyve sularının berraklaştırılmasında; ilaç, kağıt, lastik sanayin de dolgu maddesi olarak; çimento sanayin de, seramik sanayin de katkı maddesi olarak; evcil hayvanların altlarına yayılacak atıklarının kolay temizlenmesinde, petrol rafinasyonun da; atık suların temizlenmesinde, boya sanayin de ve yangın söndürücülerde, gübre yapımı ve toprak ıslahında (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu 2001).

Bu çalışmada kullandığımız bentonit kili; Na-bentonit'tir. Ankara Karakaya Bentonit Kil Fabrikasından sağlanmış olup torbalardan alınıp orijinal olarak kullanılmıştır. Bu kilin fiziko-kimyasal ve geoteknik parametrelerinden

bazıları, Çizelge 4.1' de, toplam metal miktarları Çizelge 4.2.'de, X-Ray Flourans Elementel Analizi ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 4.3'de verilmiştir (Koyuncu 1998).

#### 4.2 Kaolin Kili

Killer; kimyasal özelliklerine göre çeşitli sınıflamalara ayrılmıştır. Killer, silikat minerali olup, özelliklerine göre de çeşitli sınıflara ayrılırlar. Bu özelliklerin başında kristal yapıları gelmektedir. Kristal yapılarına göre killer dört grupta incelenir.

- **2 tabakalı olanlar;** Kaolinit grubu, kaolin, dikit, halloysit.
- **3 tabakalı olanlar;** Smektit grubu; montmorillonit. İllit grubu;bediellit, illit. Vermikülit grubu; vermikülüt.
- **4 tabakalı olanlar;** Klorit grubu; klorit.
- **Zincir yapısı olanlar;** Sepiyolit grubu; sepiyolit, atapulgit, paligorskit.

Kaolinit kil minerali yüksek derecede feldspat içeren bir kayanın ürünüdür. Kaolinit; silis ve alüminyum tabakalarından oluşmaktadır. Tabaka kalınlığı, 7.2 Å° tabaka uzunluğu, 1000 ile 20.000 Å° ve spesifik yüzey alanı (SSA) 15m<sup>2</sup>/g 'dir. İdeal Kaolin Bileşimi: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O olup kaolinitte;

<b>SiO<sub>2</sub> (Silika)</b>	<b>% 46.54</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alüminyum Oksit)</b>	<b>% 39.50</b>
<b>H<sub>2</sub>O (Su)</b>	<b>% 13.96</b>
	<b>% 100.00</b>

Kaolin içindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> haricindeki diğer bileşenlerin yüksek olması demek, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının idealden (% 39.50'den) az olması demektir. Bu da kalitesinin daha düşük olması demektir (M.Ö.İ.K 1995).

Bu çalışmada kullanılan kil, Bilecik organize sanayi bölgesinde bulunan Matel A.Ş. den temin edilmiştir. Bilecik yöresine ait kaolin yataklarından alınarak, yıkama yöntemi ile ince kumdan arındırılmakta ve yaklaşık 40 µm altında öğütülerek üretilmektedir. Yıkama su ile yapılmakta ve hiçbir kimyasal madde kullanılmamaktadır. Yıkama sonunda kil-şist grubu tamamen ayrıştırılmaktadır. Daha sonra Mask 1 (M1) ismi ile piyasaya sunulmaktadır. Bu kilin % 80'i kaolin mineralinden oluşmaktadır.



M1 kilinin fiziko-kimyasal ve geoteknik parametrelerinden bazıları, Çizelge 4.1’de, toplam metal miktarları Çizelge 4.2’de, X-Ray flourans Elementel analizi ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 4.3’de verilmiştir.

### **4.3 Atık Mermer Tozu**

Mermer tozu en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve büyük çoğunluğu da 300 mikronun altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çöktürme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır. Bu miktarın çok büyük bir kısmı atık olarak kalmakta ve çevresel problemlere neden olmaktadır. Halbuki mermer tozu atıkları inşaat sektöründe mozaik, harç, sıva, karo vb. üretiminde, seramik sanayinde sır üretiminde, çimento sanayinde beyaz çimento üretiminde ve kağıt sanayi, tarım ve gübre sanayi, yem sanayi, diğer bazı sanayi sektörlerinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Buna rağmen katılan miktarın düşük oranlarda kalması atık sahalarında büyük yığınlar oluşmasını engelleyememektedir (Zorluer 2003). Kullanılan mermer tozu, Afyon, Reis Mermer İşleme Tesisinden elde edilmiş ve 40 nolu elekten elenerek kullanılmıştır.

Bu mermer tozunun fiziko-kimyasal ve geoteknik parametrelerinden bazıları, Çizelge 4.1’de, toplam metal miktarları Çizelge 4.2’de, X-Ray flourans Elementel analizi ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 4.3’de verilmiştir.

### **4.4 Asfaltit**

Birincil enerji kaynaklarından olan asfaltitin petrol kökenli olduğu kabul edilmektedir.

#### **4.4.1 Asfaltitin Oluşumu**

Oksijen içeriğinin, turba, linyit ve taş kömüründe %3-44 arasında iken, asfaltik maddelerde yaklaşık %2 olmasına dayanılarak asfaltik maddelerin,

petrolün deęişimi sonucu oluřtuęu dūřünölmektedir. Buna göre, deęişim derecesine baęlı olarak; petrolden doęal asfaltlar, asfaltitler ve asfaltik pirobitümler gibi farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde asfaltik maddeler oluřmuřtur.

Petrol değişim sırasında önce buharlaşmayla, ısıtılınca eriyen ve bir dereceye kadar uçucu olan yumuşak doğal asfaltlara; daha sonra, oksitlenme ve polimerleşme, kondenzasyon tepkimeleri yer aldıkça, ısıtılınca oldukça güç eriyen ve uçucu olmayan asfaltitlere ve en sonunda, ısıtılınca erimeyen ve uçucu olmayan sert, asfaltik pirobitümlere dönüşmüştür. Değişim ilerledikçe asfaltik maddelerdeki hidrojen ve oksijen miktarı düşmüş, ısı etkisinde erime özelliği yavaş yavaş kaybolmuş, karbon sülfürdeki çözünürlüğü azalmış ve sonunda yok olmuştur ( Nakoman 1997).

#### **4.4.2 Asfaltitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Değişim sırasında doğal asfalttan sonra oluşmuş olan Asfaltit (gilsonit, saf zift ve grahamit), parlak veya donuk siyah renktedir; sertliği2-3, özgül ağırlığı 1.03-1.20, ısıl değeri ise yaklaşık 10-23Mj/kg arasında değişir. %10-55 sabit karbon, %0-2 oksijen ve eser miktardan %5'e kadar mineral madde içerir; 120-135°C arasında erir ve karbon sülfürde çözünürlük derecesi %45-100 arasındadır (Nakoman 1997).

Asfaltitin diğer fiziko-kimyasal ve geoteknik parametreleri, Çizelge 4.1'de, toplam metal miktarları Çizelge 4.2'de, X-Ray flourans Elementel analizi ile belirlenen kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 4.3'de verilmiştir (Koyuncu 1998).

#### **4.4.3 Asfaltitin Rezerv, Üretim ve Tüketim durumları**

Dünyada oldukça sınırlı sayıda bulunan asfaltit yataklarının bir kısmının, Çin, İspanya, Küba ve Arjantin'de olduğu bildirilmektedir (Kural 1991).

Ülkemizde toplam 82 milyon ton dolayında saptanan asfaltit rezervi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır.

En önemli yataklar, Şırnak-Silopi-Harbul (25.8 milyon ton) ve Şırnak-Silopi-Üçkardeşler (20.4 milyon ton) yörelerindedir (Atlas ve arkadaşları,1994b). Ülkemizdeki asfaltit üretimi ve tüketimi, 1993 yılında sırasıyla, 86bin ton ve 102 bin ton (Ünalın,1994) iken, üretim şartlarının iyileştirilmesi sonucunda, 1997-2010 yılları arasında yıllık asfaltit üretimi ve talebinin 750 bin ton olması hedeflenmektedir (Atlas ve arkadaşları,1994a). Şekil 4.1 ve şekil 4.2'de Şırnak ili Cudi dağı eteklerindeki açık maden ocakları görülmektedir.



Şekil 4.1 Cudi dağı etekleri açık maden ocağı 1 Şekil 4.2 Cudi dağı etekleri açık maden ocağı 2

#### 4.4.4 Asfaltitin Kullanım Alanları

Asfaltik maddeler, endüstride ilk defa boya ve bazı kimyasal maddelerin üretiminde, 1920'lerden sonra da asfalt yapımında kullanılmıştır. Son yıllarda ise sentetik petrol eldesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, gazlaştırılarak, amonyak üretiminde de kullanılmaktadır. Asfaltik maddeler, nikel, molibden, vanadyum, titan ve uranyum mineralleri gibi değerli maddeler içermeleri bakımından da önem taşımaktadır. Ülkemizde, TKİ Genel Müdürlüğü Güney Anadolu Linyitleri (GAL) İşletmelerine bağlı Şırnak ve Silopi sahalarında açık ocak yöntemiyle üretilen asfaltitler, doğrudan yakılarak enerji sektöründe kullanılmaktadır (Atlas ve arkadaşları, 1994a). Şekil 4.3. ve Şekil 4.4'de enerji sektöründe kullanılan Asfaltit kömürü ve atık Asfaltit tozu görülmektedir.

Çizelge 4.1 Kullanılan ilave malzemelerin bazı fiziko-kimyasal özellikleri.

İlaveler	pH	KDK	Eİ	SM	OMM	DÖA	BHA	Dane Çapı Dağılımı (%)				
		(meq/100g)	(mS/cm)	(%)	(%)		(gr/l)	Kum	Silt	Kil	Cu	Cc
Na-Bentonit	9.50	90.22	2.69	12.7	6.82	2.76	0.94	2	46	52	40	0.8
Kaolinit	4.86	25.93	0.15	0.1	7.36	2.64	0.59	11	26	63	170	1.7
Mermer	9.69	7.57	0.24	4.1	1.50	2.75	2.73	14	78	8	8.8	23.1
Asfaltit	8.37	4.73	0.14	0.54	1.61	2.66	0.34	----	----	----	----	----

KDK:Katyon Değişim Kapasitesi, Eİ:Elektriksel İletkenlik, SM:Su Muhtevası,  
OMM:Organik Madde Miktarı, DÖA:Dane Özgül Ağırlığı, BHA:Birim Hacim Ağırlığı

Çizelge.4.2 Kullanılan ilave malzemelerin toplam metal miktarları (mg/kg).

İlaveler	Al	As	Cu	Zn	Fe	Cd	Ca	Co	Pb	Cr	Mg	Mn	Mo	Ni	Na	K
Na-Bentonit	90262	<5	81	71	10724	<0.5	12134	21	91	9	6815	2419	92	7	16920	2558
Kaolinit	123750	<5	280	52	7550	<0.5	770	22	136	405	1230	870	10	280	3000	6000
Mermer	422	<5	46	37	1288	<0.5	85820	30.9	78	45	2266	252	133	35	896	542
Asfaltit	671	<5	66	35	1650	<0.5	27761	22	63	6	6034	258	73	88	5022	579

Çizelge 4.3 Kullanılan ilave malzemelerin X-Ray elemental analizi ile belirlenen kimyasal bileşimleri.

İlaveler	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KK	CO <sub>2</sub>	BS
Na-Bentonit Kili	59.49	18.06	4.14	3.72	2.42	0.11	0.91	2.50	0.10	0.003	----	8.02	1.31	----
Kaolinit Kili	51.52	32.00	1.75	0.20	0.20	-	0.50	0.09	-	0.004	0.04	9.60	1.03	----
Mermer	0.01	0.85	0.04	55.30	0.24	-	0.20	0.03	-	-	----	43.51	4.95	----
Asfaltit	58.05	0.60	0.33	0.70	34.79	0.00	0.00	0.03	0.04	0.000	----	5.32	4.84	----

KK:Kızdırma Kaybı, BS:Bağlı Su.



Şekil 4.3 Enerji sektöründe kullanılan Asfaltit.



Şekil 4.4 Asfaltit kömürü ve atık tozu.

## 5. DENEY YÖNTEMLERİ

### 5.1 Geoteknik Özellikler

#### 5.1.1 Fiziksel (İndeks) Özellikleri

Zeminlere ait fiziksel özelliklerin belirlenebilmesi için araziden alınan numuneler üzerinde laboratuvar da; Özgül ağırlık, dane çapı dağılımı ve kıvam (Atterberg) limitleri deneyleri uygulanmıştır.

##### 5.1.1.1 Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık, zeminin tane birim hacim ağırlığının ( $\gamma_s$ ) 20°C sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığına ( $\gamma_w$ ) oranı olarak ifade edilir ve  $G_s$  sembolü ile gösterilir.

Özgül ağırlığın laboratuvarlar da deney yapılarak belirlenmesi için ASTM, BS VE TS 'de belirtilen yöntemlerde bazı farklılıklar görülmektedir. ASTM D 854 (2000)' de çapı 4.75 mm'den ( No.4 elek) küçük olan tanelerin özgül ağırlığının belirlenmesi için, en az 250 ml hacmindeki veya daha yaygın olarak kullanılan 500ml hacmindeki yoğunluk şişesinin kullanılması önerilirken, 4.75 mm daha büyük boyutlu taneler için ASTM C 127 (2001)' de Arşimed terazisi önerilmektedir. BS 1377: Part 2: 190: 8.3' de, çapı 2.00 mm'den küçük olan tanelerin özgül ağırlığının belirlenmesi için, 50 ml veya 100 ml hacmindeki yoğunluk şişesinin kullanılması önerilmekte, 2.00.mm' den daha büyük boyutlu olan taneler için ise 'Gaz Kavanozu' olarak adlandırılan bir yöntem önerilmektedir. TS 1900 (1997) ise büyük ölçüde BS 1377 ile uyumluluk göstermektedir. Bu çalışmada deney yöntemi olarak ASTM D 854-2000 kullanılmıştır.

### **5.1.1.2 Dane apı dağılımı**

Dane apı dağılım analizi, zeminlerin tane büyüklüklerinin ve toplam kütle içerisindeki ağırlıkça miktarlarının yüzde (%) olarak hesaplanması ve tane byklği dağılımının çakıl, kum, silt ve kil yzdelерinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Elek analizi ve hidrometre deneyleri, dane çapı dağılımı için birbirlerinin devam niteliğini tağır. 0,075 mm boyutuna kadar olan zeminlerin tane boyu dağılımını belirlemek için elek analizi yapılırken, 0,075 mm'den daha küçük boyutlu olan zeminlerin tane boyu dağılımı hidrometre analizi ile belirlenmektedir. Deneylerin uygulanmasında ASTM standartlarının esaslarına bağlı kalınmığtır.

### **5.1.1.3 (Atterberg )Kıvam Limitleri**

Kohezyonlu bir zemine ağırı miktarda su ilave edilirse, zemin akığkan bir sıvı gibi davranarak kendi ağırlığı altında kolayca akabilecek duruma gelir. Böyle bir zemin belli bir miktar kurutulursa, kırılma veya çatlama olmadan kolayca istenilen şeklin verilebileği plastik duruma geçer. Biraz daha kurutulursa, parçalanma etkisinin grlebileği yarı katı duruma geçer. Kurutulmaya devam edilirse daha kırılđan bir hal alır. Zeminlerin farklı su içeriklerinde gstermiğ oldukları bu davranığlara 'kıvam' adı verilir. Bu zeminleri birbirinden ayıran sınır su içeriklerine de sırasıyla, likit limit, plastik limit ve bzlme (Rötre limiti) denmektedir. Bu tanımlamalar ilk kez İsveçli bilim adamı A.Atterberg (1911) tarafından tarım topraklarının sınıflanması amacıyla ortaya konulmuğtur (Head 1992).

Bu alığmada karığımlara uygulanan kıvam limit deneylerinde; Likit limit deneyi için; Düşen Koni Yöntemi seilmiğ ve deneyin uygulanmasında BS 1377: Part 2: 1990: 4.3'den faydalanılmığtır.

Karığımlara uygulanan plastik limit deneyinde, büyük lde ASTM D- 4318 (2000), BS 1377: Part 2: 1990: 5.3 ve TS 1900 (1997)' de belirtilen hususlar dikkate alınmığtır. Son olarak karığımlara uygulanan Büzülme ( rötre) deneyinde de ASTM D 427- 1998' den faydalanılmığtır.

#### **5.1.1.4 Zeminlerin Sınıflandırılması**

Mühendislik amaçları için geliştirilmiş olan sınıflandırma sistemleri genellikle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımına ve plastisite özelliklerine yani Atterberg limitlerine bağlı olmaktadır. İki temel sınıflandırma sistemi USCS (Unified Soil Classification System- Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) ve ASHTO (American Association of State Highway and Transportation Office)'dir (Das 1998). Bu sınıflamalardan birincisi genel zemin mühendisliğinde kullanılırken, ikincisi ise genellikle yol yapım işlerinde çalışan zeminleri sınıflandırmak maksatlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada her iki sınıflandırma yöntemi'de kullanılarak zemin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir.

### **5.2 Mekanik Özellikler**

#### **5.2.1 Kompaksiyon Deneyi**

Kompaksiyon deneyi zemin sıkıştırılması ile maksimum kuru birim ağırlığın elde edildiği su muhtevasını bulmak amacıyla yapılır. Kompaksiyon deneyi ile zeminin kuru birim hacim ağırlığı ve su muhtevası arasında bir ilişki elde edilir. Zeminin birim hacim ağırlığı arttırıldıkça kayma direncinin de artacağı bilinmektedir. Öte yandan zemine ait geçirimsizlik ve oturmalar, zeminin birim ağırlığın artmasıyla azalır. Bunun için zeminin hangi su muhtevası ile sıkıştırılması halinde maksimum kuru birim hacim ağırlığın elde edileceğinin bilinmesi çok önemli olmaktadır (Aytekin 2000).

Çalışmamızda (ASTM D 698-78)'den faydalanılarak standart proctor deneyi karışımlara uygulanmış ve su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişkiler gözlenmiştir. Şekil 5.1. ve şekil 5.2'de kompaksiyon deney aleti ve numune sıkıştırılması görülmektedir.



Şekil 5.1 Kompaksiyon da numune sıkıştırılması



Şekil 5.2 Kompaksiyon deney aleti

### 5.2.2 Permeabilite Deneyi

Zeminlerin aralarında boşluklar bulunan danelerden oluştuğu ve boşlukların genellikle birbirine bağlı bulunduğu bilinmektedir. Zemin içerisindeki bir su damlasının, boşlukların oluşturduğu geliş güzel bir iz takip eden bu kılcal kanallar boyunca hareket ettiği bilinmektedir. Zeminlerin içerisinde su geçmesine izin veren bu özelliklerine permeabilite (su geçirgenliği) adı verilmektedir. Bu özelliğin zemin cinsine göre büyük farklılıklar gösterdiği uygulamadaki deneyimlerden bilinmektedir. Zeminlerin su geçirgenliği özelliğini ilk defa Darcy (1856) incelemiştir (Özaydın 1999).

Laboratuvarında yapılan permeabilite deneyi, üç eksenli deney sisteminde, 15 psi ( $1.07\text{kg/cm}^2$ ) sabit hücre basıncında yapılmıştır. Hidrolik yük 2 psi, ters basınç ise 1 psi olarak uygulanmıştır. Numune içerisine giren ve çıkan suların eşit bir seviyeye ulaştığında numuneler tamamen doymun hale getirildikten sonra permeabilite katsayısı belirlenmiştir. U.S. EPA Method 9100 (1986)'da belirtilen "Saturated Hydraulic Conductivity, Saturated Leachate Conductivity, and Intrinsic Permeability" adlı deney yöntemine uygundur.



Çizelge 5.1 Permeabilite (su geçirgenliğine) göre zemin sınıflandırılması (U.S EPA)

Zemin sınıfı	Açıklama	Geçirimsizlik katsayısı (cm/sn)
GW	GP gibi (ancak, dane büyüklükleri sınıflandırılmıştır)	$(2.7 \pm 1.3) \times 10^{-2}$
GP	Çakıl ve çakıllı kum (Silt ve kil oranı < % 5)	$(6.4 \pm 3.4) \times 10^{-2}$
GM	Çok çakıllı kum ve mil	$>3 \times 10^{-7}$
GC	Çok çakıllı mil ve kil	$>3 \times 10^{-7}$
SW	SP gibi (ancak, dane büyüklükleri iyice sınıflandırılmıştır)	N/A
SP	Kum ve çakıllı kum (% 20'den az ince daneli kum)	$>1,5 \times 10^{-5}$
SM	Milli kum, kumlu mil, çakıllı kum ve mil	$(7.5 \pm 4.8) \times 10^{-7}$
SC	Kumlu mil-kil, kumlu kil, çakıllı killi mil ve kil	$(3 \pm 2) \times 10^{-7}$
ML	Silt, siltli mil, mil, kumlu mil	$(5.9 \pm 2.3) \times 10^{-7}$
CL	Siltli kil-mil, killi mil, kumlu kil	$(8 \pm 3) \times 10^{-8}$
OL	Çamurlu mil	N/A
MH	Silt, siltli mil	$(1.6 \pm 1) \times 10^{-7}$
CH	Siltli kil, kil	$(5 \pm 5) \times 10^{-8}$
OH	Çamurlu siltli kil	N/A

### 5.2.3 Üç Eksenli UU Deneyi

Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak için kullanılan bir deney yöntemidir. Bu deney ile, zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemeti gerçek koşullara en yakın olarak belirlenmektedir. Üç eksenli basınç deneyinde kontrol edilebilen ve ölçülebilen parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Zemin numunesi arazi gerilmeleri altında konsolide edilmekte ve suya doygunluk derecesi kontrol edilmektedir.
- Yanal ve eksenel gerilmeleri uygulayarak arazi yükleme izlerine yakın yüklemeler yapılabilmektedir.
- Eksenel yükleme sırasında drenajsız veya drenajlı koşullar sağlanabilmektedir.

d) Drenajsız yüklemelerde numunede oluşan boşluk suyu basıncı artışları, drenajlı deneylerde ise meydana gelen hacim değişimleri lmlektedir.

Konsolidasyonsuz Drenajsız Deney (UU-Unconsolidated Undrained)

Deneyde evre (hücre) basıncı uygulandıktan hemen sonra deviator gerilme arttırılarak numunenin kesilmesi sağlanmıştır. (Cömert 2005).

Deney süresince numunedeki suyun drenajına müsaade edilmemiştir. Deneyimizde kullandığımız numuneler doğun halde olduğu için içsel sürtünme açısı ( $\phi = 0$ ) sıfır olarak alınmıştır. Deney sonunda zeminin kohezyonu ( $C_u$ ) elde edilmiştir. Deney TS 1900'da önerilen metoda uygun olarak 100 ve 200 kPa evre basıncı altında yapılmıştır. Şekil 5.3'de  eksenli deney aleti düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.3  eksenli deney aleti düzeneği.

## 5.2.4 Serbest Basınç Deneyi

Kayma mukavemeti ile herhangi bir noktadaki kayma gerilmesi birbirine eşit olduğunda o noktada kırılma meydana gelir. Serbest basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi yalnız düşey yönde yüklemeye tabi tutulmaktadır. Numune kırılıncaya kadar basınçla yüklenir, kırılma olayı yanal şişme veya kayma ile meydana gelir. Serbest basınç deneyinde yükleme hızlıdır ve deney koşulları drenajsız olarak düşünülür. Yanal bir destek olmadan kendi kendini tutabilen zeminler için uygun olduğundan sadece killi zeminlere uygulanır.

## 5.3 Fiziko- Kimyasal Özellikler

### 5.3.1 pH

Killi zeminler kirliliği bünyelerinde tutabilirler. Bu durum killeri kirlilik depolayıcısı yapabilir. Zeminin pH ve kation değişim kapasitesi metal miktarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH'ı genellikle kirliliğin zemin içerisinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6-8 arasında olmalıdır (Tuncan vd 1996).

Laboratuvar da oda sıcaklığında (18-21°C) üzeri açık olarak kurumaya bırakılan numuneler tamamen hava kurusu normuna (yani %3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 40 nolu (0.425 mm) elekten elenerek 20 gr alınır ve 50 ml ASTM Type II'ye uygun saf su ile bir beher içinde zaman zaman 30 dakika karıştırılır. Karıştırılan karışımların üzeri kapatılarak 1 saat sonra pH değerleri ölçülür. pH deneyi için U.S. EPA Method 9045 (1986)'da belirtilen "Soil pH" metodu kullanıldı. Mukayese yapılabilmesi için, aynı karışımlar üzeri kapatıldıktan bir gün sonra tekrar pH değerleri ölçülür. Bir gün sonra yapılan bu ölçüm Jackson'ın (1958) önerdiği metoda uygundur. Ölçümlerde zemin çözeltilisinin üzerindeki berrak kısmın içerisine cam elektrotlu pH metre (Cole Parmer) daldırılarak numunelerin pH değerleri belirlenir.

### 5.3.2 Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Kil bünyesine su alınca katyonların negatif elektriksel güç ile bağlayarak şişer. Başladığı katyon ile doğru orantılı olarak şişme miktarı da artar. Killerin katyonları elektriksel güç ile bağlama miktarına (KDK) denir. Her kilin (KDK)'sı ayrıdır. Zeminin dane boyutu küçüldükçe, organik ve inorganik kirleticilerin tutulabilmeleri kolaylaşmaktadır.

Katyon değişim kapasitesi sodyum doyurma (saturasyon) metodu ile belirlenmiştir. Numuneler öncelikle, 105°C'de 24 saat kurutulur, 100 nolu (0.15 mm) elekten elenen numuneler sodyum asetat ( $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  veya kısaca  $\text{NaOAc}$ ) ile doymuş hale getirilir. Böylece numune içindeki kil yüzeyindeki ve tabakalar arasındaki katyonlar ile sodyumun yer değiştirilmesi sağlanır. Daha sonra, numuneler isopropyl alkol ( $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ) ile tuzların ortamdan uzaklaştırılması için yıkanır. Son olarak, numuneler amonyum asetat ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  veya kısaca  $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) ile zemin içindeki kil yüzeyine adsorbe edilen sodyumun ortama çıkarılması için yıkanır. Buradan, sodyum miktarı Atomik Absorpsiyon cihazı ile belirlenir. Elde edilen sodyum, miktarları ise aşağıdaki formülle, katyon değişim kapasitesine çevrilir. Deneysel pH=7'de yapılmıştır. Deneysel, U.S. EPA Method 9081, "Cation-Exchange Capacity of Soils (Sodium Acetate)", 1986 ve Chapman, 1965 tarafından önerilen metotlara uygundur (Koyuncu 1998).

$$\text{CEC (meq/1000 gr zemin)} = \frac{A \cdot B}{23}$$

$$\text{CEC (meq/100 gr zemin)} = \frac{\text{CEC (meq/1000 gr zemin)}}{10}$$

A= Ölçülen sodyum miktarı, ppm.

23=Sodyumun atom ağırlığı

B= Sulandırma miktarı, ince daneli zeminlerde 100 ml çözelti içinde 4 gr zemin kullanıldığına göre, 100/4 sulandırma oranı vardır, yani B=25'dir.

### **5.3.3 Elektriksel İletkenlik**

Zemindeki tuz oranı elektriksel iletkenlik ile belirlenir. Bir çok zeminde, klorür veya sülfat tuzları (sodyum, kalsiyum, magnezyum, potasyum) vardır. Çok az olarak da potasyum bikarbonat ve nitrat bulunur. Elektriksel iletkenlik değeri 4000 mikroSimens/cm değerinden fazla ise zemin tuzlu olarak nitelendirilir (Tuncan vd 1996).

Laboratuvarda oda sıcaklığında (18-21°C) üzeri açık olarak kurumaya bırakılan numuneler tamamen hava kuru normuna (yani %3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 16 nolu (1.31 mm) elekten elenir. Daha sonra bu numunelerden 150-250 gr arasında alınarak saf su ile bir beher içinde doygun hale getirilir. Toprağın su ile doygun hale gelmesi durumunda çamurun yüzeyi ışığı yansıttığı için parlak kap eğilince çamur yavaşça akar. Karıştırma işi bitince doygun hale getirilmiş çamurun üzeri kapatılarak 1 gün bekletilir. Elektriksel iletkenliği ölçülecek çözeltilerin içerisine elektrot daldırılarak numunenin elektriksel iletkenliği belirlenir (Wilcox1946; Karakouzian et al. 1996).

### **5.3.4 Organik madde miktarı**

Zeminlerin bünyesinde bulunan organik maddeler zaman içerisinde çürüyerek zemin içerisinde boşlukların oluşmasına sebep olur, bu oluşum zeminin geçirimsizliğini artırır. Karışım içerisindeki organik madde miktarını belirlemek amacıyla yapılan bu deney kuru yakma yöntemi ile belirlenir. Bu metod organik maddenin kaba bir ölçüsünü vermektedir. Metotta numuneler önce 105°C'de 24 saat kurutulur. Bu numuneler daha sonra 550°C'de 2 saat fırında yakılır (Standard Methods 1993, Horneck et al.1989).

### **5.3.5 Sızıntı Deneyi**

Atıklar içerisinde biriken ağır metallerin tutulma miktarlarını belirlemek amacıyla uygulanan bu deney de belirli oranlarda seçilen Pb, Cu, Ni ve Zn gibi ağır metaller karıştırılarak örnek kirletici oluşturulur. Daha sonra 4gr ince malzeme ve 40 ml kirletici karıştırılarak 4 saat çalkalanmaya bırakılır. Deney sonunda kil numuneleri ile karıştırılan kirletici filtreden geçirilerek süzülür ve süzülen su içerisindeki ağır metal miktarları belirlenir.

## **5.4 Çevresel Şartlara ait Özellikler**

### **5.4.1 Donma / Çözünme Deneyi**

Bu deneyin sonunda malzemenin çatlama ve bozulmalara karşı direncinin ne olduğu (iklimsel etkiler) belirlenir. Deney sonunda meydana gelen hasar, içindeki mevcut su ile ilgilidir. Donma meydana geldiğinde zemin içerisindeki su buz zerreciklerini oluşturur. Buz zerreciklerinin çözülmesi ile fazla su, malzemeyi çamur haline getirir. Böylece karışımın mukavemeti kaybolur. Literatürde kabul edilir dane kaybı %10-15 arasındadır.

Donma çözünme deneyine tabi tutulan numuneler, laboratuvarda standart kompaksiyon deneyi ASTM D698-78 (1985), metodu ile hazırlanmıştır. Bu numuneler (-20°C)'de 24 saat bekletilir ve daha sonra 24 saat oda sıcaklığındaki (+18°C) bekletilir. Bu bir çevrim olarak adlandırılır. Çevrim sonunda numunelerin yüzeyleri fırça ile traşlanır ve daha sonra diğer çevrimlere devam edilir. Bu işleme numuneler bozuluncaya veya en az 12 çevrim tamamlanıncaya kadar devam edilir. Donma-çözünme mukavemetleri ASTM D560-82 (1985) belirtilen "Methods for Freezing -and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures metodu ile saptanmış.

## 6. ASFALTİT VE KİL KARIŞIMLARI LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI

### 6.1 Karışımlar ve Oranları

Kontrol numunesi olarak seçilen (Bentonit + Kaolin) oranı 0.1/0.9 olarak alınmış olup seçilen malzeme miktarları 100g Bentonit ve 900g Kaolindir. Kontrol numunesinde bentonitin seçilmesinin sebebi şişme özelliğinden kaynaklanan düşük permeabilitedir. Oranın %10 seçilmesi ise literatürde daha önce yapılan benzer çalışmalardır. Kayabalı,(1997) yapmış olduğu çalışmada kullandığı zeolit ve bentonit karışımlarında bentonit'in 0,5-0,10 olarak kullanılmasını en uygun karışım olarak tesbit etmiştir. Yine benzer bir çalışmada Tuncan ve ark., (2003) yapmış oldukları çalışmada Atık depolama tabanlarında kullanılacak bentonit'in 0,1 olarak seçilmesini uygun karışım olduğunu belirlemişlerdir. Belirlenen bu oranların üzerinde seçilen bentonit miktarlarından oluşan zeminlerde aşırı şişmeler ve buna bağlı olarak da rötre çatlakları görülmüştür. Oluşan rötre çatlakları da zeminin permeabilitesini yükseltmiştir. Bu çalışmalardan yola çıkarak karışım oranı 0,1B/0,9K olarak seçilmiştir. Daha sonra bu karışıma aşağıdaki oranlarda atık malzemeler eklenerek yeni karışımlar oluşturulmuştur. Bu karışımların Atık Depolama Tabanlarında geçirimsiz tabakada kullanılabilirliğinin araştırılması planlanmıştır. Çizelge 6.1' de yeni karışım miktarları görülmektedir.

Çizelge 6.1 Asfaltit tozu ilaveli Yeni karışım oranları ve Malzeme miktarları

Karışımlar	Karışım miktarları	Kullanılan Toplam Malzeme
90K10B(Kontrol)	900gK+100gB	1000g
90K10B+%5Asf.	900gK+100gB+50gAsf.	1050g
90K10B+%10Asf.	900gK+100gB+100g Asf.	1100g
90K10B+%15Asf.	900gK+100gB+150g Asf.	1150g

## 6.2 Geoteknik Deney Sonuçları

### 6.2.1 Karışımların Fiziksel (indeks) özellikleri

#### 6.2.1.2 Özgül Ağırlık

Deney yöntemi olarak seçilen (ASTM D 854-2000)' ye göre alınan sonuçlar, Çizelge 6.2.'de verilmiştir. Sonuçlar çizelge. 6.4 deki literatür değerlerine uyumluluk göstermektedir.

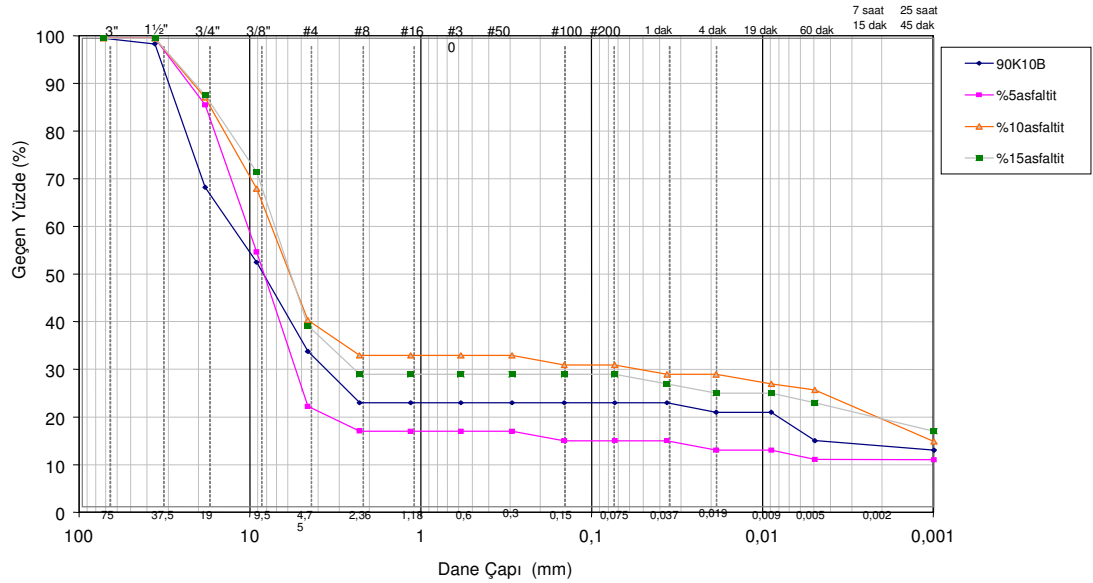
Çizelge 6.2 90K10B ve Asfaltit tozu Karışımlarına ait dane özgül ağırlık değerleri

<b>Malzeme</b>	<b>Dane Özgül Ağırlığı</b>
90K10B	2,64
90K10B+%5Afs.	2,63
90K10B+%10Asf.	2,59
90K10B+%15Asf.	2,55



### 6.2.1.3 Dane çapı dağılımı

Bölüm 5.1. ve alt başlık 5.1.1.3' de belirtildiği gibi dane çapı dağılımı için 0,075 mm boyutuna kadar olan zeminlerin tane boyu dağılımını belirlenmesinde elek analizi yapılırken, 0,075 mm'den daha küçük boyutlu olan zeminlerin tane boyu dağılımında hidrometre analizi uygulanmaktadır. Şekil 6.1'de kontrol numunesinin ve karışımların dane çapı dağılım eğrileri görülmektedir. Deneylerin uygulanmasında ASTM standartlarının esaslarına bağlı kalınmıştır.



Şekil 6.1 Kontrol numunesi ve Asfaltit karışımlarının dane çapı dağılım eğrileri

#### 6.2.1.4 Karışımların Kıvam Limitleri

Kontrol numunesi ve karışımların kıvam limit sonuçları çizelge 6.3.'de verilmiştir. Sonuçlar çizelge. 6.4'deki literatür sonuçlarıyla karşılaştırıldığında tüm değerlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.3 Kontrol numunesinin ve Asfaltit tozu karışımlarının kıvam limit sonuçları

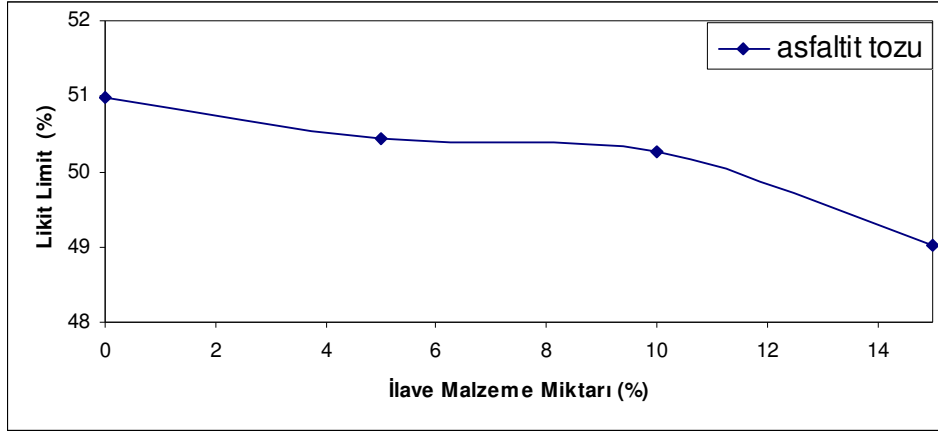
PARAMETRELER	RÖTRE BÜZÜLME	LİKİT LİMİT	PLASTİK LİMİT	PI
KONTROL(90K10B)	18,65	50,97	32,38	18,59
90K10B+%5Asf..	19,93	50,44	32,40	18,04
90K10B+%10Asf.	20,69	50,26	32,62	17,64
90K10B+%15Asf..	21,55	49,01	32,80	16,31

Çizelge. 6.4 Literatürde geçirimsiz tabakaya ait özellikler

PARAMETRE	1	2	3	4	5	6
<b>Kum %</b>				<b>18</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
<b>Silt %</b>				<b>32</b>	<b>30</b>	<b>25</b>
<b>Kil %</b>		<b>15</b>		<b>50</b>	<b>65</b>	<b>55</b>
<b>Gs</b>		<b>2,70</b>	<b>2,59</b>	<b>2,70</b>	<b>2,68</b>	<b>2,70</b>
<b>LL %</b>	<b>39</b>	<b>&gt;20</b>	<b>66</b>			
<b>PL %</b>	<b>19</b>		<b>40</b>			
<b>PI %</b>	<b>20</b>	<b>&gt;7</b>	<b>26</b>	<b>1</b>	<b>13,63</b>	<b>8,5</b>

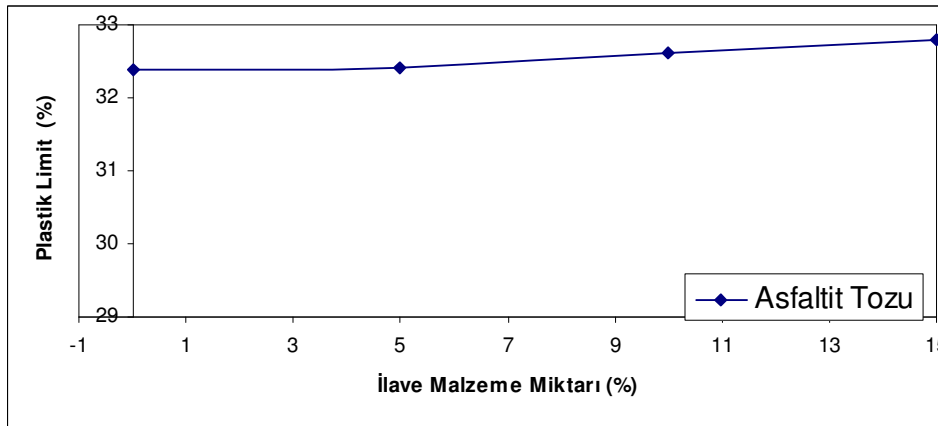
1. (Daniel 1984).
2. (Benson vd 1994).
3. (Young ve Waridith 1985).
- 4-5-6 (Carol ve Imad 1992).

Kıvam limiti deneylerinde ilave malzeme miktarının likit limit değerine etkisi araştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre her üç karışımın likit limit değerinde azalma gözlenmiştir. Asfaltit tozunun likit limit değerine etkisi şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2 Asfaltit tozunun Likit limit değerine etkisi.

Likit limit değerlerinde azalma gözlenirken plastik limit değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artış kullanılan malzemenin bitüm içerikli olmasından kaynaklanmaktadır. Asfaltit tozunun plastik limit’e etkisi şekil 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.3 Asfaltit tozunun plastik limit değerine etkisi.

Çizelge 6.4.’deki Literatür değerlerinde; Atık depolama tabanlarında kullanılacak kil’in plastisite indis sonuçları verilmiştir. Yapılan çalışma sonrasında Asfaltit tozu miktarları’nın plastisite indis değerleri literatürle

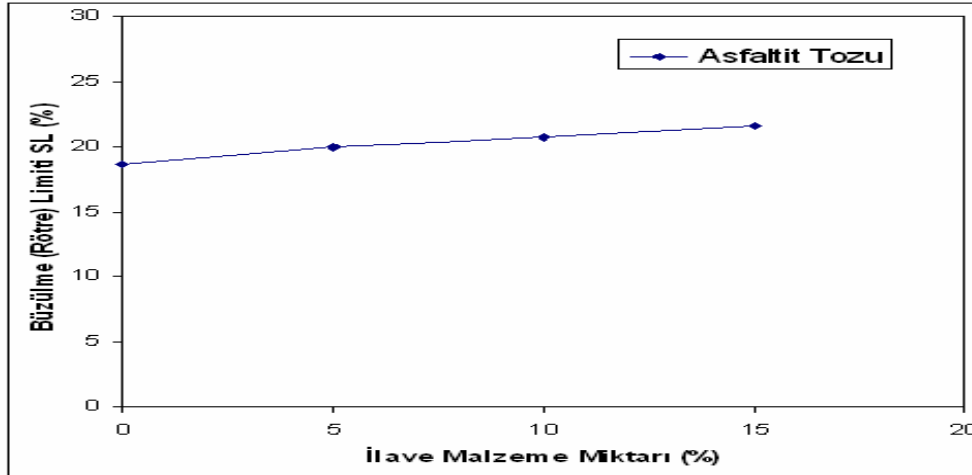
karşılaştırılmış ve alınan sonuçların kabul sınırları içerisinde olduğu gözlenmiştir.

Plastisite İndis değerleri malzemenin plastiklik sınırlarını ifade ettiği için önemlidir. Malzemenin fazla kırılğan veya çamur kıvamında olması permeabiliteyi arttırır. Bu nedenle malzemelerin uygun plastisite değerlerinde olması gerekir. Uygun plastisite değerleri için farklı zamanlarda farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları çizelge.6.4'de verilmiştir. Asfaltit tozu miktarının plastisite indisine etkisi şekil.6.4'de verilmiştir.

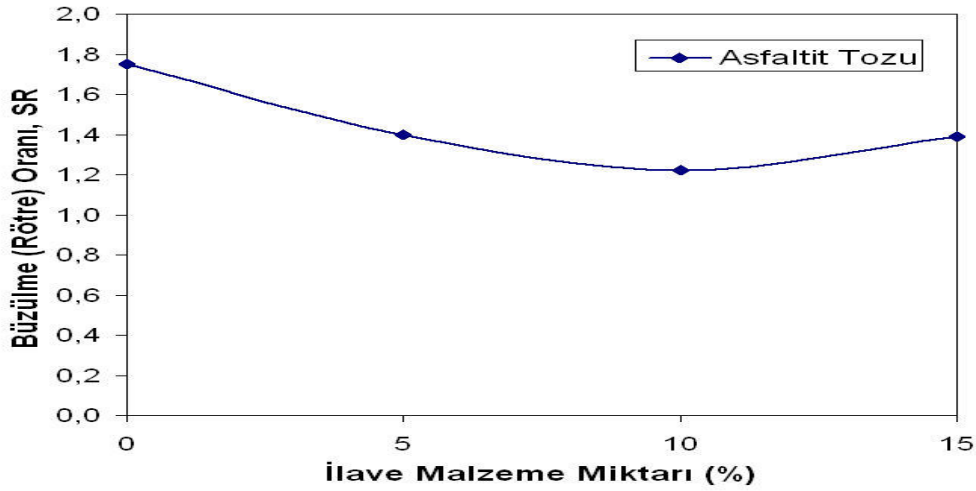


Şekil 6.4 Asfaltit tozunun plastisite indis değerine etkisi

Kıvam limitleri içerisinde bulunan Büzülme deneyi; Zeminlerin yarı katı durumdan katı duruma geçtikleri andaki sınır su içeriği olan büzülme limitini (SL). Belirlemek amacıyla yapılır. Bu deneyin sonucunda zeminin büzülme oranı da (SR) belirlenir. İnce taneli zeminlerin su içeriği azaldıkça boşluklarında bulunan su buharlaşacağından, taneler birbirine daha fazla yaklaşarak hacimleri de azalır ve büzülür. Ancak belli bir noktadan sonra zemin su kaybetmesine rağmen hacminde bir azalma olmaz ve hacim sabit kalır. Bu andaki su içeriğine "Büzülme Limiti" denir (Bardet 1997). Şekil 6.5'de Asfaltit tozunun büzülme limitine etkisi görülmektedir. Su içeriğinin azalmasıyla beraber hacim azalmasını da gösteren büzülme doğrusunun eğimine de Büzülme oranı (SR) denir (Bardet 1997). Şekil. 6.6'da Asfaltit tozunun miktarının büzülme oranına etkisi görülmektedir.



Şekil 6.5 Asfaltit tozunun büzülme limit değerine etkisi.



Şekil 6.6 Asfaltit tozunun büzülme oranı değerine etkisi.

### 6.2.1.5 Karışımların Zemin Sınıflandırmaları

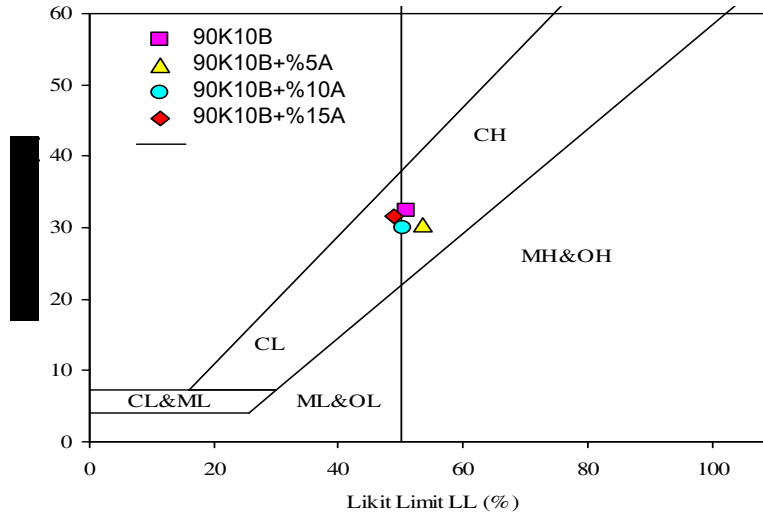
90K10B Kontrol numunesi kilin doğal durumunu göstermektedir USCS Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre CH sınıfıdır. Malzeme plastisitesi yüksek killi bir zemindir. Karışımlar sonrası %5 Asf. CH sınıfı olarak, %10Asf. CH-CL, %15 Asf. CL sınıfı olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi karışımlar sonrası da çok fazla bir değişim meydana gelmemiştir, sadece %15' lik karışımda plastisite değeri bir miktar düşmüştür. Dört numunenin de likit limit değerlerinin %49,01 ile %50,97 arasında ve plastisite değerleri de 16,31-18,59 arasında değişiyor olması, sınıflandırma açısından bu dört numunenin de çok farklı özellik

taşımadığını göstermektedir. Çünkü yüksek ve düşük plastisite sınır çizgilerinin çevresinde yoğunlaşma olduğu Şekil.6.7’de görülmektedir.

Malzemelerde (AASHTO)’ya göre belirleyici olan grup indisi değerleridir. Çizelge 6.5’ de Karışımlar ve zemin sınıflandırma sonuçları ve Şekil 6.7’ de 90K10B’ nin ve karışımların plastik karttaki konumları görülmektedir.

Çizelge 6.5 Asfaltit tozu Karışımları ve Zemin sınıflandırma sonuçları

Karışımlar	USCS	AASHTO
Kontrol(90K10B)	CH	A-7-5(9)
90K10B +%5Asf.	CH	A-7-5(12)
90K10B+%10Asf.	CH-CL	A-7-5(10)
90K10B+%15Asf.	CL	A-7-5(9)

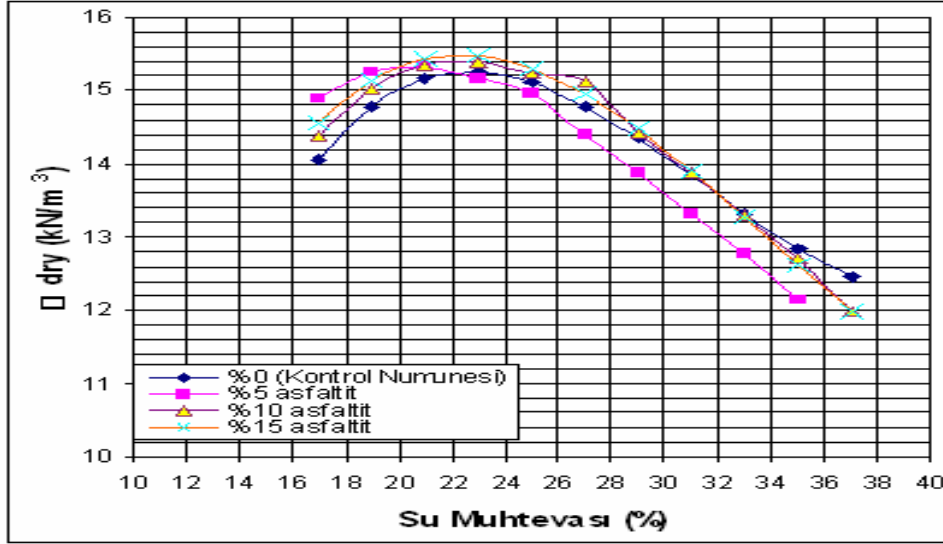


Şekil 6.7 90K10B ve karışımların plastik karttaki konumları

## 6.3 Karışımların Mekanik Özellikleri

### 6.3.1 Kompaksiyon Deneyi

Karışımlar üzerinde (ASTM D 698-78) yöntemine göre kompaksiyon deneyi uygulanmış ve sonuçlar çizelge 6.6’da verilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar yönetmelikte belirtilen %20-40 optimum su muhtevası limitleri arasındadır (Katu atıkları kontrol yönetmeliği 1991). Kuru birim hacim ağırlık değerleri afaltit miktarının artışına paralel olarak küçük değer artışları göstermiştir. Optimum su muhtevası değerleri ise bu artışa paralel olarak azalma eğilimi göstermektedir. Şekil 6.8’de su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık ilişkisi görülmektedir.



Şekil 6.8 Su muhtevası Kuru birim hacim ağırlık ilişkisi

Çizelge 6.6 Asfaltit tozu karışımlarının Kompaksiyon deneyi sonuçları

Malzeme	Kuru birim hacim ağırlığı kN/m <sup>3</sup>	Optimum su muhtevası %w
90K10B	15,25	22,72
90K10B+%5Asf.	15.32	22.61
90K10B+%10Asf.	15.39	22.46
90K10B+%15Asf.	15,48	22,35

### 6.3.2 Permeabilite deneyi

#### Zemin sınıflarının geçirimsizliği

U.S. EPA Method 9100'a göre yapılan deney sonuçları çizelge 6.7' de verilmiştir. Asfaltit miktarındaki artış permeabilite değerinde de artış göstermektedir, çok küçük görünen bu artış değerleri , asfaltitin malzemede daneli yapı oluşturması eğilimine bağlanabilir. Deney sonrası alınan sonuçlar yönetmelik koşulu olan  $k < 1 \times 10^{-8}$  m/sn sınır değerine uygundur (Katı atıkları kontrol yönetmeliği 1991).

Çizelge 6.7 Asfaltit tozu karışımlarının Permeabilite deney sonuçları

Karışımlar	USCS	Permeabilite değerleri
Kontrol(90K10B)	CH	$1.2 \times 10^{-9}$
90K10B +%5Asf.	CH	$1.4 \times 10^{-9}$
90K10B +%10Asf.	CH-CL	$1.5 \times 10^{-9}$
90K10B +%15Asf.	CL	$1.8 \times 10^{-9}$

### 6.3.3 Üç eksenli kesme deneyi (UU Deneyi)

Konsolidasyonsuz Drenajsız Deney (UU-Unconsolidated Undrained) Deneyde çevre (hücre) basıncı uygulandıktan hemen sonra deviatör gerilme artırılarak numunenin kesilmesi sağlanmıştır. Şekil 6.10'da numunenin düzeneğe yerleştirilmesi ve şekil 6.11'da ise hücre içerisindeki numune görülmektedir.

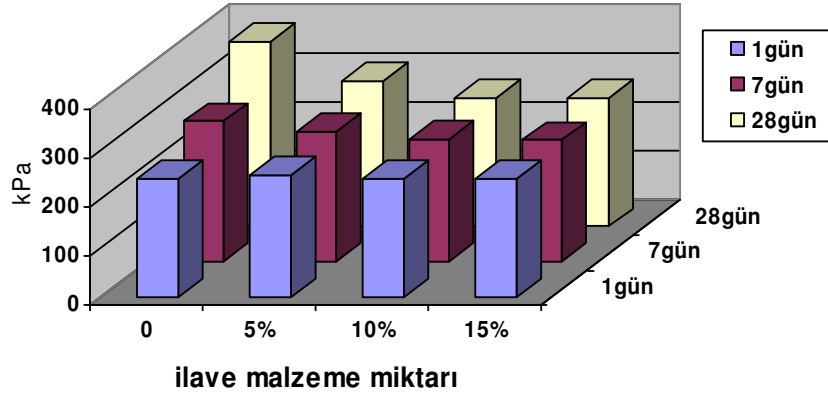
Deney süresince numunedeki suyun drenajına müsaade edilmemiştir. Deneyimizde kullandığımız numuneler doymun halde olduğu için içsel sürtünme açısı ( $\phi = 0$ ) sıfır olarak alınmıştır. Deney sonunda zeminin kohezyonu ( $C_u$ ) elde edilmiştir.

Deney TS 1900'da önerilen metoda uygun olarak 100 ve 200 kPa çevre basıncı altında yapılmıştır. iki çevre basıncı için de kesme dayanımları hesaplanıp ortalaması alınarak sonuçlar Çizelge 6.8 ve Şekil 6.9'de verilmiştir.



Çizelge 6.8 Asfaltit tozu karışımlarının Üç eksenli kesme dayanımı sonuçları

Malzemeler	Kür Süreleri sonu $q_u$ kPa		
	1 gün	7 gün	28 gün
90K10B	240.25	285.91	377.25
90K10B+%5asf.	247.75	264	296.50
90K10B+%10asf.0	242.25	250	263.50
90K10B+%15asf.	241.50	248	261.25



Şekil 6.9 Karışım miktarlarının kesme dayanımına etkisi.



Şekil 6.10. numunenin deney aletine Yerleştirilmesi.



Şekil 6.11 Hücre basıncında sıkıştırılmış Numune.

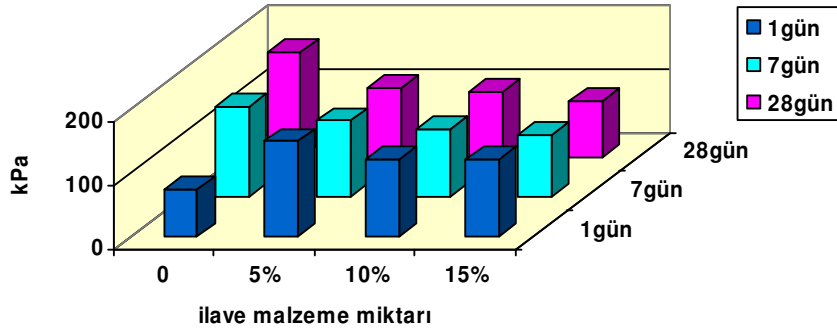
### 6.3.4 Serbest Basınç Deneyi Sonuçları

Zeminlerin kayma mukavemetini belirlemek için yapılır. Basınç etkisi şişme veya kayma şeklinde görülür. Şekil 6.13'de şişme ve kayma etkileri görülmektedir.

Serbest basınç deneyinde; laboratuvarında her bir karışıma 1, 7 ve 28 günlük kür mukavemetleri uygulanmıştır. Elde edilen kayma dayanımları Çizelge 6.9 ve karışımların kayma dayanımına etkisi ise şekil 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.9 Asfaltit tozu Karışımlarının kayma dayanımı sonuçları.

Malzemeler	Kür Süreleri sonu $q_u$ kPa		
	1 gün	7 gün	28 gün
90K10B	75,25	143,5	166,25
90K10B+%5asf.	149,75	120,8	111,25
90K10B+%10asf.0	120,8	108,3	104,13
90K10B+%15asf.	120,8	98,5	91,06



Şekil 6.12 Asfaltit tozu karışımlarının kayma dayanımına etkisi.



Şekil 6.13 Basınç sonrası şişme ve kayma etkileri.

## 6.4 Karışımların Fiziko – Kimyasal özellikleri

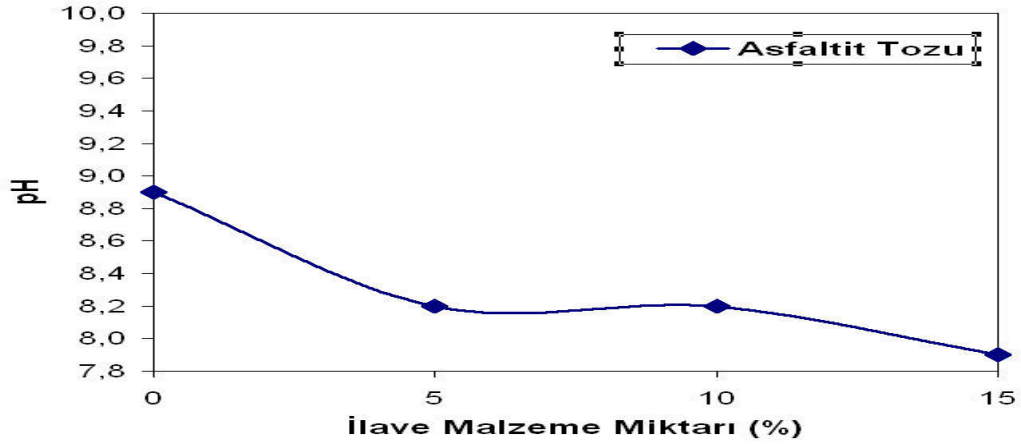
### 6.4.1 pH tayini

Literatürde pH değerinin minimum 6 ile 8 olması ifade edilmektedir (Tuncan vd 1996). Görüldüğü gibi her üç karışım miktarı sınır şartlara uygunluk göstermektedir. %5 ve %10'luk karışımların pH değerleri aynı çıkarken %15'lik karışımın pH değerinde diğerlerine oranla bir düşüş gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre ilk iki karışım miktarı geçirimsiz kil tabaka için daha uygun bir çözüm olarak sunulabilir. Çizelge 6.10 ve şekil 6.14'da pH değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.10 Asfaltit tozu Karışımlarının Fiziko-kimyasal deney sonuçları

MALZEMELER	pH	Elektriksel iletkenlik ms/cm	K.D.K me/100g	O.M.M%
90K10B	8,9	1171	13,44	0,1
90K10B+%5Asf.	8,2	1420	16,33	7,9
90K10B+%10Asf.	8,2	1674	17,90	9,9
90K10B+%15Asf.	7,9	1765	17,18	10

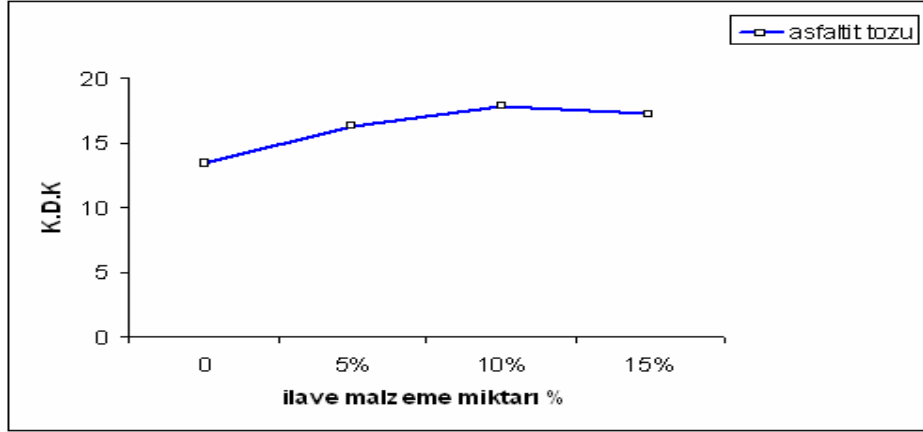
KDK: Katyon değişim kapasitesi , OMM: Organik madde miktarı.



Şekil.6.14 Asfaltit miktarının pH' a etkisi

#### 6.4.2 Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

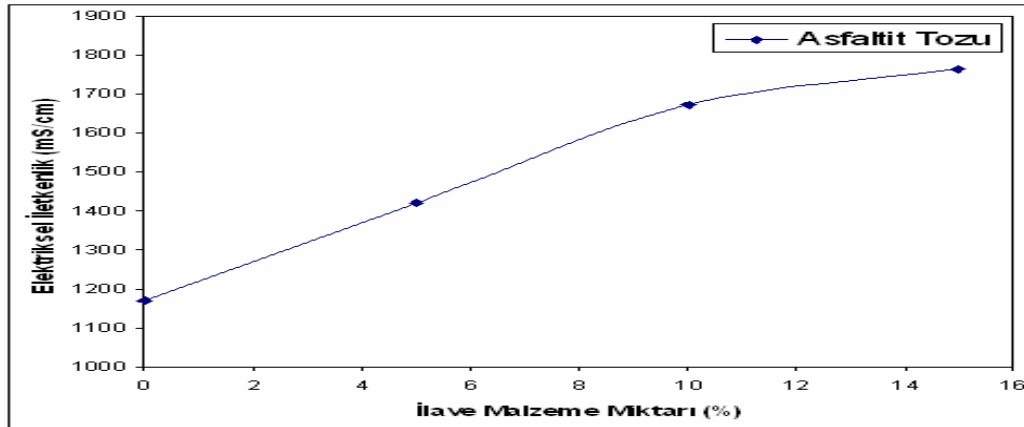
Zeminin dane boyutu küçüldükçe, organik ve inorganik kirleticilerin tutulabilmeleri kolaylaşmaktadır. Çizelge 6.10'da Karışımların (KDK) değerleri ve şekil 6.15'da ise malzeme miktarının katyon değişim kapasitesine etkisi verilmiştir.



Şekil 6.15 Asfaltit miktarının Katyon Değişim Kapasitesine etkisi

#### 6.4.3 Elektriksel iletkenlik

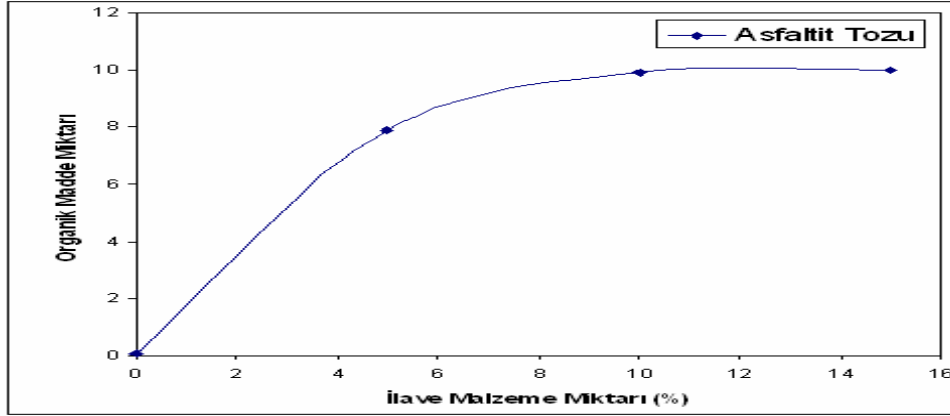
Elektriksel iletkenlik değeri 4000 mikrosimens/cm değerinden fazla ise zemin tuzlu olarak nitelendirilir (Tuncan vd 1996). Karışımlara uygulanan deney sonucunda, üç karışımdaki tuzluluk oranı literatürde verilen sınır değer içerisinde. Çizelge 6.10 ve şekil 6.16'de karışımların elektriksel iletkenlik değerleri verilmiştir.



Şekil.6.16 Asfaltit miktarının Elektriksel iletkenliğe etkisi

#### 6.4.4 Organik Madde Miktarı

Geçirimsiz tabakada kullanılacak kilin içerisinde organik maddenin az olması istenir, yapılan deney sonucunda karışım miktarının artmasıyla organik maddenin de arttığını görmekteyiz, bu artış karışımlardan oluşan zeminlerin permeabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Karışımlara uygulanan deney sonucunda ortaya çıkan değerler Çizelge 6.10. ve şekil 6.17' de verilmiştir.



Şekil.6.17 Asfaltit miktarının organik madde miktarına etkisi

#### 6.4.5 Sızıntı Deneyi ve toplam metal miktarı

Çöp suyuna doygun hale gelen geçirimsiz tabakadan, çöp suyu sızmaya başlamıştır. Yapılan sızıntı deneyi sonrası sızan sudaki ağır metal miktarları belirlenmiş ve değerler çizelge 6.11'de verilmiştir.

Çizelge 6.11 Sızıntı suyu içerisindeki ağır metal miktarları

Malzemeler	Cu	Zn	Ni	Pb
	ppm			
90K10B	22,25	20,50	20,00	21,25
%5asfaltit	0,25	0,25	0,00	0,00
%10asfaltit	0,25	0,25	0,00	0,00
%15asfaltit	0,25	0,25	0,00	0,00

## 6.5 Karışımların Çevresel Özellikleri

### 6.5.1 Zeminin donması sırasında görülen olaylar

Zemin suyunun doğası ve dağılımı donduğu zaman oldukça değişir. Islak zemindeki sıcaklık 0°C'nin altına düşer, su aşırı soğur ve buz kristalleri geniş boşluklarda oluşur. Su fazı, buza dönüştüğü zaman hegzagonal kristal yapısının gelişmesine bağlı olarak hacmi yaklaşık %9 oranında artar. Kristaller, su elverdiği ve sıcaklık çekildiği sürece buz mercekleri oluşturmak için büyürler. Buz merceklerinin kalınlığı ve boyutu, don oranı, sıcaklık gradyanı, basınç ve suyun mevcudiyeti gibi göreceli büyüklüklere bağlıdır (Penner E 1977). Büyüyen buz kristalleri, etrafındaki zemin parçacıkları ve diğerleriyle etkileşim içerisine girerler. Büyüyen buz merceklerine bitişik bölgede, donmamış zeminden su, donma bölgesine çekilerek, büyük boşluk suyu emme kuvvetleri oluşur (Benson C. H 1993). 500 kPa büyüklüğünde, etkili boşluk suyu emme kuvvetleri gözlenmiştir (Chamberlain E. J 1981). Bu olay, büyüyen buz merceklerine bitişik alanda yüksek gerilimler oluşturur ve bu da kurumaya ve bölgedeki donmamış zeminin konsolidasyonuna sebep olur.

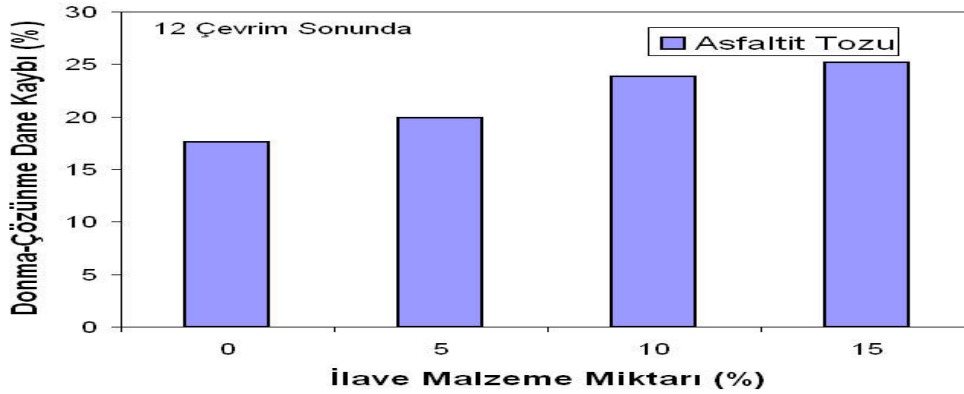
Kuruma ve konsolidasyon, zemin yapısında değişiklikler yaratır. Bilhassa donma bölgesine dik büzülme çatlakları oluşur (Benson C. H 1993). Don bölgesi, donmamış zemin kütesine doğru ilerlediği zaman bu çatlaklar buzla dolar ve buz mercekleri ile zemin kümelenmiş bir yapı geliştirir (Othman M. 1994). Donmamış zeminden su akışı, öndeki buz tabakası tarafından kesildiği zaman bile buz, donmuş bölgede büyümeye devam eder. Çünkü; sıcaklık azaldığı zaman su ilerleyerek donar. Zemin parçacıklarına bitişik film tabakası kalınlığında sular çok düşük sıcaklıklarda bile donmamış olarak kalır. Donma bölgesinde bu donmamış haldeki suyun genişlemesi, zeminin yapısını bozan bir baskı uygular. Sonuç olarak buz merceklerinin ve çatlaklarının kalınlığı artar.

### 6.5.2 Donma/çözünme deneyi

Literatüre baktığımızda; Hassini (1992)'de yapmış olduğu çalışmada derinliği fazla olmayan deponi alanlarında geçirimsiz tabakanın fazla çevirim yapacağını belirlemiş ve bu sebeple zemin mukavemetinin direncini ve dolayısıyla geçirimsizliğini tesbit etmek için zemin üzerinde donma-çözünme deneyi gerçekleştirmiştir. Bu deneyi farklı çevirimlerde uygulamış ve bu tür tabakalarda (yüzeeye yakın), 12 çevrim sonunda %10-15 arasında bir malzeme kaybının dayanımı fazla etkilemediğini tesbit etmiştir. Benzer bir çalışmada Chamberlain (1990). Bir çöp deponi alanı örtüsü gibi yüzeeye yakın yerleştirilmiş bariyerler için zemin sıcaklığının, hava sıcaklığındaki değişikliklere daha duyarlı olduğunu saptamış ve böylece daha çok sayıda donma-çözünme görüleceğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmada Derindeki zeminler için 3-10 arasında ve yüzeeye yakın zeminlerde 12 çevirim uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Deney sonuçları çizel 6.12'de verilmiştir; görüldüğü gibi sonuçlar sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır. Bunu da bentonit' in yüksek su tutma kapasitesine bağlayabiliriz.

Çizelge 6.12 Asfaltit tozu Karışımlarının Donma/çözünme deneyi sonuçları

Malzemeler	Başlangıç su muhtevası (%)	Çevirim sayısı	Dane kaybı(%)
90K10B	25	12	17,6
90K10B+%5 Asf.	25	12	19,9
90K10B+%10Asf.	25	12	23,8
90K10B+%15Asf.	25	12	25,2



Şekil.6.18 Asfaltit miktarının Donma-Çözünmeye etkisi

## 7. ATIK AFYON MERMER TOZLARININ VE KİL KARIŞIMLARININ LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI

### 7.1 Karışımlar ve Oranları

Kontrol numunesi olarak seçilen (Bentonit + Kaolin) oranı 0.1/0.9 olarak alınmış olup seçilen malzeme miktarları 100g Bentonit ve 900g Kaolindir. Kontrol numunesinde bentonitin seçilmesinin sebebi şişme özelliğinden kaynaklanan düşük permeabilitedir. Oranın %10 seçilmesi ise literatürde daha önce yapılan benzer çalışmalardır. Kayabalı (1997) yapmış olduğu çalışmada kullandığı zeolit ve bentonit karışımlarında bentonit'in 0,5-0,10 olarak kullanılmasını en uygun karışım olarak tesbit etmiştir. Yine benzer bir çalışmada Tuncan ve ark., (2003) yapmış oldukları çalışmada Atık depolama tabanlarında kullanılacak bentonit'in 0,1 olarak seçilmesini uygun karışım olduğunu belirlemişlerdir. Belirlenen bu oranların üzerinde seçilen bentonit miktarlarından oluşan zeminlerde aşırı şişmeler ve buna bağlı olarakta rötre çatlakları görülmüştür. Oluşan rötre çatlakları da zeminin permeabilitesini yükseltmiştir. Bu çalışmalardan yola çıkarak karışım oranı 0,1B/0,9K olarak seçilmiştir. Daha sonra bu karışıma aşağıdaki oranlarda atık malzemeler eklenerek yeni karışımlar oluşturulmuştur. Bu karışımların Atık Depolama Tabanlarında geçirimsiz tabakada kullanılabilirliğinin araştırılması planlanmıştır. Çizelge 7.1' de yeni karışım miktarları görülmektedir.

Çizelge7.1 Mermer tozu ilaveli yeni karışım oranları ve Malzeme miktarları

Karışımlar	Karışım miktarları	Kullanılan Toplam Malzeme
90K10B(Kontrol)	900gK+100gB	1000g
90K10B+%5M	900gK+100gB+50gM	1050g
90K10B+%10M.	900gK+100gB+100gM.	1100g
90K10B+%15M.	900gK+100gB+150g M	1150g



## 7.2 Geoteknik Deney Sonuçları

### 7.2.1 Karışımların Fiziksel (indeks) özellikleri

#### 7.2.1.2 Özgül Ağırlık

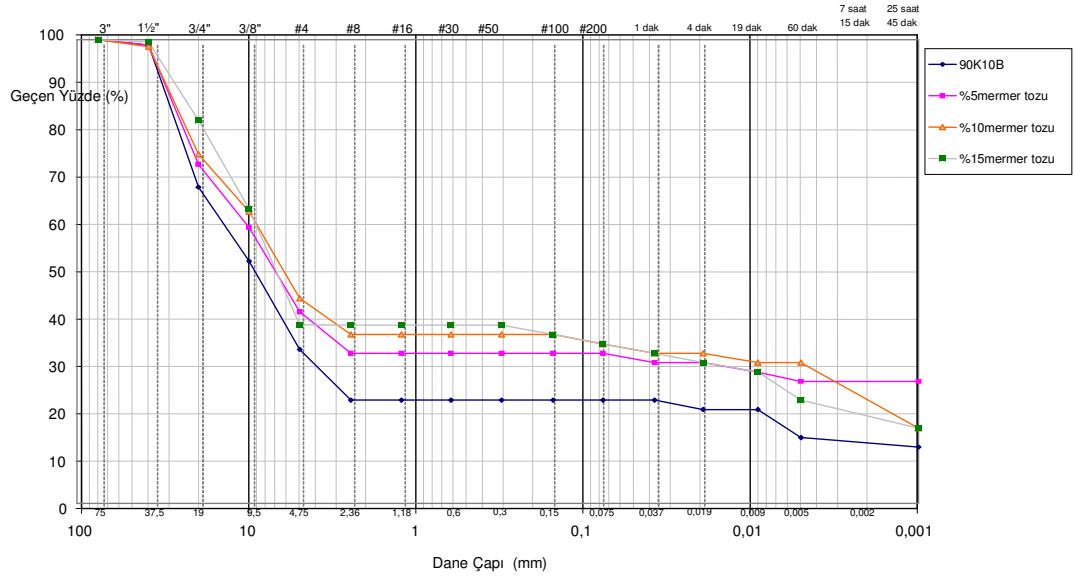
Deney yöntemi olarak seçilen ( ASTM D 854-2000)' ye göre alınan sonuçlar, Çizelge7.2.'de verilmiştir. Sonuçlar çizelge.7.4 deki sınır değerlerine uymaktadır.

Çizelge7.2 90K10B ve mermer tozu Karışımlarına ait dane özgül ağırlık değerleri

<b>Malzeme</b>	<b>Dane Özgül Ağırlığı</b>
90K10B	2,64
90K10B+%5M.	2,65
90K10B+%10M.	2,67
90K10B+%15M.	2,69

#### 7.2.1.3 Dane çapı dağılımı

Dane çapı dağılımı için 0,075 mm boyutuna kadar olan zeminlerin tane boyu dağılımının belirlenmesinde elek analizi yapılırken, 0,075 mm'den daha küçük boyutlu olan zeminlerin tane boyu dağılımında hidrometre (çöktürme Sedimentasyon) analizi uygulanmaktadır. Bölüm 5'de yöntem tanımlanmıştır. Şekil 7.1.'de karışımların dane çapı dağılım eğrileri görülmektedir.



Şekil 7.1 90K10B ve Karışımlara ait dane çapı dağılım eğrileri

#### 7.2.1.4 Karışımların Kıvam Limitleri

Kontrol numunesi ve karışımların kıvam limit sonuçları çizelge.7.3.'de verilmiştir. Sonuçlar çizelge.7.4'deki literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve istenen şartları sağlamıştır.

Çizelge 7.3 Mermer tozu karışımlarının kıvam limitleri sonuçları

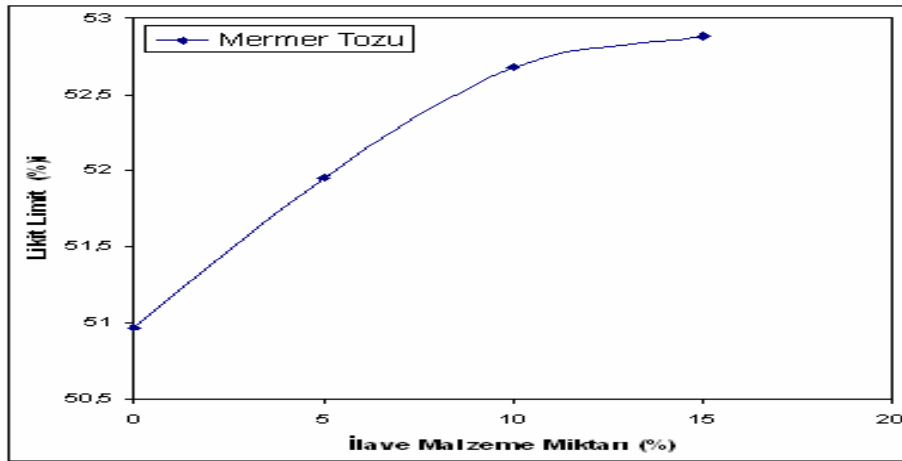
PARAMETRELER	RÖTRE BÜZÜLME	LİKİT LİMİT	PLASTİK LİMİT	PI
KONTROL(90K10B)	18,65	50,97	32,38	18,59
90K10B+%5mer.	21,83	51,95	28,29	23,66
90K10B+%10mer.	24,53	52,68	26,57	26,11
90K10B+%15mer.	26,82	52,88	22,43	30,45

Çizelge 7.4 Literatürde Geçirimsiz alt tabakaya ait özellikler

PARAMETRE	1	2	3	4	5	6
Kum %				18	5	20
Silt %				32	30	25
Kil %		15		50	65	55
Gs		2,70	2,59	2,70	2,68	2,70
LL %	39	>20	66			
PL %	19		40			
PI %	20	>7	26	1	13,63	8,5

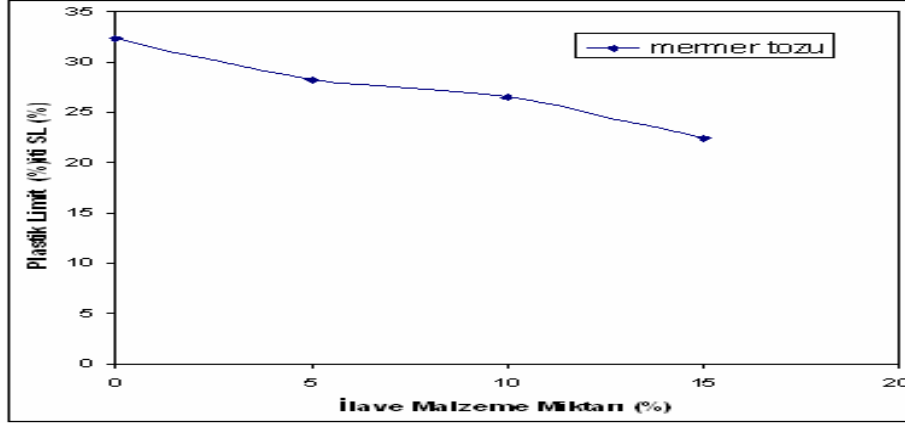
- 1 (Daniel 1984).
- 2 (Benson vd 1994).
- 3 (Young ve Waridith 1985).
- 4-5-6 (Carol ve Imad 1992).

. Kıvam limiti deneylerinde atık mermer tozu miktarının likit limit değerine etkisi araştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre her üç karışımın likit limit değerlerinde artış gözlenmiştir. Atık mermer tozu'nun likit limit değerine etkisi şekil 7.2.'de görülmektedir



Şekil 7.2 Mermer tozu miktarının likit limit değerine etkisi

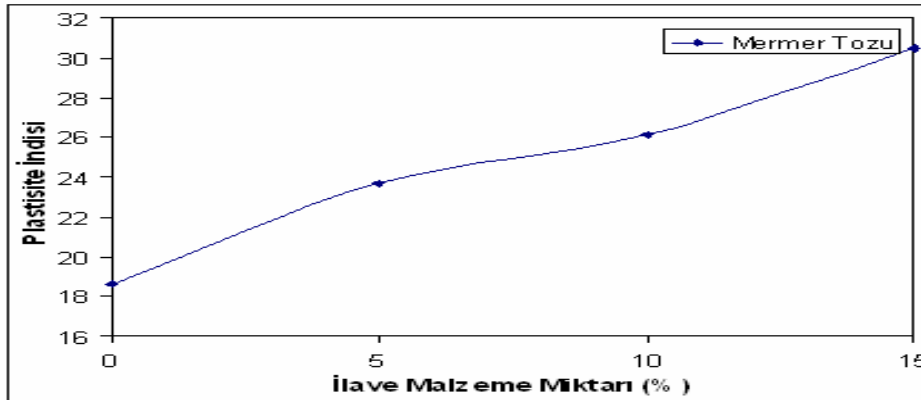
Likit limit değerlerinin artışına paralel olarak plastik limit değerlerinde azalma gözlenmiştir. Atık mermer tozu miktarının plastik limit değerine etkisi şekil. 7.3.'de verilmiştir.



Şekil.7.3 Mermer tozu miktarının plastik limite etkisi

Çizelge.7.4.'deki Literatür değerlerinde; Atık depolama tabanlarında kullanılacak kil'in plastisite indis sonuçları verilmiştir. Yapılan çalışma sonrasında atık mermer tozu miktarları'nın plastisite indis değerleri literatürle karşılaştırılmış ve alınan sonuçların kabul sınırları içerisinde olduğu gözlenmiştir.

Plastisite değerleri malzemenin plastiklik sınırlarını ifade ettiği için önemlidir. Malzemenin fazla kırılğan veya çamur kıvamında olması permeabilityyi artırır. Bu nedenle malzemelerin uygun plastisite değerlerinde olması gerekir. Uygun plastisite değerleri için farklı zamanlarda farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları çizelge.7.4'de verilmiştir. Atık mermer tozu miktarının plastisite indisine etkisi şekil.7.4'de verilmiştir.

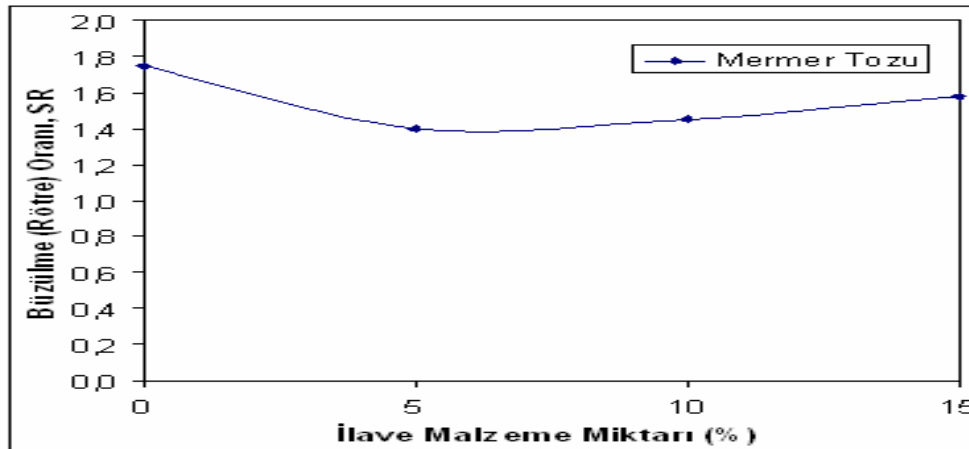


Şekil.7.4 Mermer tozu miktarının plastisite indis değerine etkisi

Kıvam limitleri içerisinde bulunan Büzülme deneyi; zeminlerin yarı katı durumdan katı duruma geçtikleri andaki sınır su içeriği olan büzülme limitini (SL) belirlemek amacıyla yapılır. Bu deneyin sonucunda zeminin büzülme oranı da (SR) belirlenir. İnce taneli zeminlerin su içeriği azaldıkça boşluklarında bulunan su buharlaşacağından, taneler birbirine daha fazla yaklaşır ve hacimleri de azalarak büzülür. Ancak belli bir noktadan sonra zemin su kaybetmesine rağmen hacminde bir azalma olmaz ve hacim sabit kalır. Bu andaki su içeriğine "Büzülme Limiti" denir (Bardet 1997). Şekil 7.5'de atık mermer tozu miktarının büzülme limitine etkisi görülmektedir. Su içeriğinin azalmasıyla beraber hacim azalmasını da gösteren büzülme doğrusunun eğimine de Büzülme oranı (SR) denir. (Bardet 1997). Şekil. 7.6'da atık mermer tozu miktarının büzülme oranına etkisi görülmektedir.



Şekil 7.5 Mermer tozu miktarının Büzülme (rötre) limitine etkisi



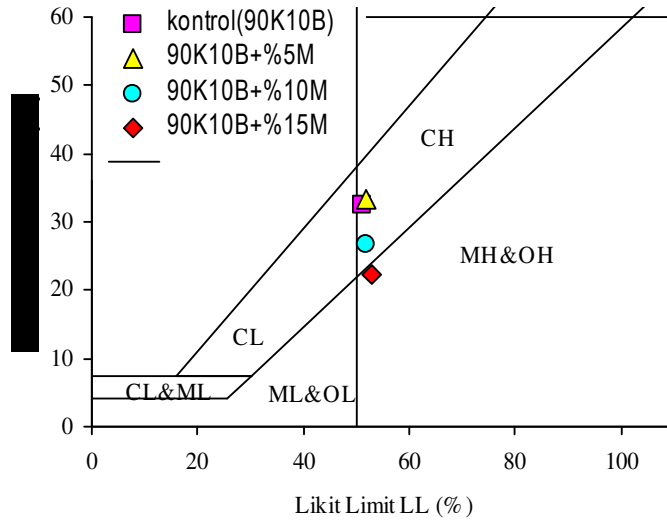
Şekil 7.6 Mermer tozu miktarının Büzülme oranına etkisi.

### 7.2.1.5 Karışımların Zemin Sınıflandırmaları

90K10B Kontrol numunesi kilin doğal durumunu ifade etmektedir.(USCS) Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre CH sınıfında yer almaktadır. Malzeme plastisitesi yüksek killi bir zemindir. Karışımlar sonrası %5 M, CH sınıfı olarak, %10M, CH sınıfı olarak, %15M, MH sınıfı olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi karışımlar sonrası da çok fazla bir değişim meydana gelmemiştir. Dört numunenin de likit limit değerlerinin %50,97 ile %52,88 arasında ve plastisite değerlerinin de 18,59-30,45 arasında değişiyor olması, sınıflandırma açısından bu dört numunenin de çok farklı özellik taşımadığını göstermektedir. Çünkü yüksek ve düşük plastisite sınır çizgilerinin çevresinde yoğunlaşma olduğu Şekil.7.7'de görülmektedir. Malzemelerde (AASHTO)'ya göre belirleyici olan grup indisi değerleridir. Çizelge.7.5'de Karışımlar ve zemin sınıflandırma sonuçları ve şekil 7.7'da da plastik karttaki konumları görülmektedir.

Çizelge7.5 Mermer tozu Karışımları ve Zemin sınıflandırma sonuçları

Karışımlar	USCS	AASHTO
Kontrol(90K10B)	CH	A-7-5(9)
90K10B +%5M.	CH	A-7-5(9)
90K10B+%10M.	CH	A-7-6 (12)
90K10B+%15M.	MH	A-7-6 (15)



Şekil 7.7 90K10B ve karışımların plastik karttaki konumları

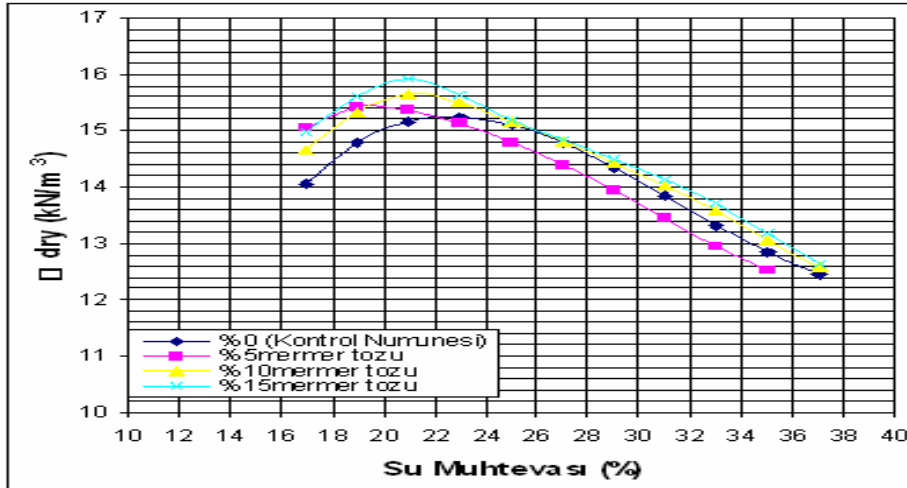
### 7.3 Karışımların Mekanik Özellikleri

#### 7.3.1 Kompaksiyon Deneyi

Karışımlar üzerinde (ASTM D 698-78) yöntemine göre kompaksiyon deneyi uygulanmış ve sonuçlar çizelge 7.6’da verilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar yönetmelikte belirtilen %20-40 limitleri arasındadır (Katı atıkları kontrol yönetmeliği 1991). Kuru birim hacim ağırlık değerleri mermer tozu miktarının artışına paralel olarak değer artışları göstermiştir. Optimum su muhtevası değerleri ise bu artışa paralel olarak azalma eğilimi göstermektedir. Şekil 7.8’de su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 7.6 Mermer tozu karışımlarının Kompaksiyon deney sonuçları

Malzeme	Kuru birim hacim ağırlığı $\text{kN/m}^3$	Optimum su muhtevası %w
90K10B	15,25	22,72
90K10B+%5M	15.43	22,25
90K10B+%10M.	15.64	21.76
90K10B+%15M.	15,87	21,02



Şekil 7.8 90K10B ve mermer tozu karışımlarının su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi

### 7.3.2 Permeabilite deneyi

U.S. EPA Method 9100'e göre yapılan deney sonuçları çizelge 7.7' de verilmiştir. Mermer tozu miktarındaki artış permeabilite değerini de etkilemektedir. Çok küçük görünen bu artış değerleri, mermer tozunun malzemede daneli yapı oluşturması eğilimine bağlanabilir. Deney sonrası alınan sonuçlar yönetmelik koşulu olan  $k < 1 \times 10^{-8}$  m/sn sınır değerine uygundur (Katı atıkları kontrol yönetmeliği 1991).

Çizelge 7.7 Mermer tozu karışımlarının Permeabilite deney sonuçları

Karışımlar	USCS	Permeabilite değerleri
Kontrol(90K10B)	CH	$1.2 \times 10^{-9}$
90K10B +%5M	CH	$1.1 \times 10^{-9}$
90K10B +%10M.	CH	$1.2 \times 10^{-9}$
90K10B +%15M.	MH	$1.8 \times 10^{-9}$



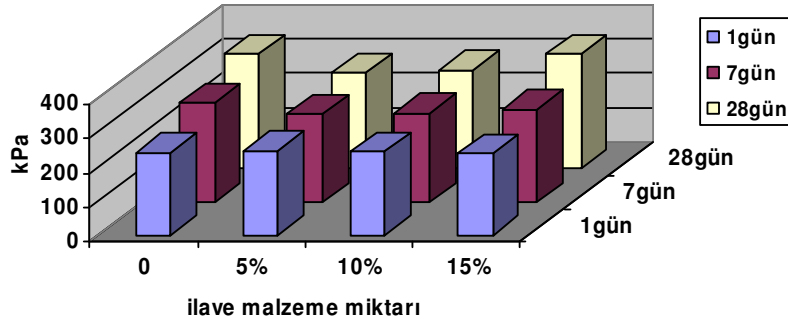
### 7.3.3 Üç eksenli kesme deneyi (UU Deneyi)

Konsolidasyonsuz Drenajsız Deney (UU-Unconsolidated Undrained) Deneyde çevre (hücre) basıncı uygulandıktan hemen sonra deviatör gerilme artırılarak numunenin kesilmesi sağlanmıştır. Deney süresince numunedeki suyun drenajına müsaade edilmemiştir.

Deneyimizde kullandığımız numuneler doygun halde olduğu için içsel sürtünme açısı ( $\phi = 0$ ) sıfır olarak alınmıştır. Deney sonunda zeminin kohezyonu (Cu) elde edilmiştir. Deney TS 1900'da önerilen metoda uygun olarak 100 ve 200 kPa çevre basıncı altında yapılmıştır. İki çevre basıncı için de kesme dayanımları hesaplanıp ortalaması alınarak sonuçlar Çizelge 7.8 ve şekil 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.8 Mermer tozu karışımlarının Üç eksenli kesme dayanımı sonuçları

Malzemeler	Kür Süreleri sonu $q_u$ kPa		
	1 gün	7 gün	28 gün
90K10B	240.25	285.91	377.25
90K10B+%5mer.	245.25	255,58	276,25
90K10B+%10mer.	242.42	256.86	285,75
90K10B+%15mer.	236.75	268,41	331,75



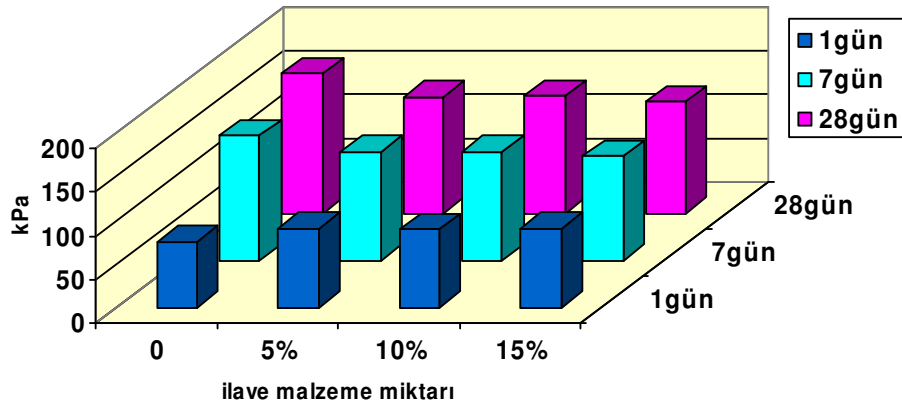
Şekil 7.9 Mermer tozu Karışım miktarlarının kesme dayanımına etkisi.

### 7.3.4 Serbest Basınç deneyi sonuçları

Laboratuvarda, her bir karışım için 1, 7 ve 28 günlük kür mukavemetleri belirlenmiş ve elde edilen kayma dayanımları Çizelge 7.9 ve mermer tozu'nun kayma dayanımına etkisi şekil 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.9 Mermer tozu karışımlarının kayma dayanımı sonuçları.

Malzemeler	Kür Süreleri sonu $q_u$ kPa		
	1 gün	7 gün	28 gün
90K10B	75,25	143,5	160,56
90K10B+%5mer.	90,5	125	133,62
90K10B+%10 mer	90	125	134
90K10B+%15 mer	90,5	120	127,34



Şekil 7.10 Mermer tozu karışımlarının kayma dayanımına etkisi

## 7.4 Karışımların Fiziko – Kimyasal özellikleri

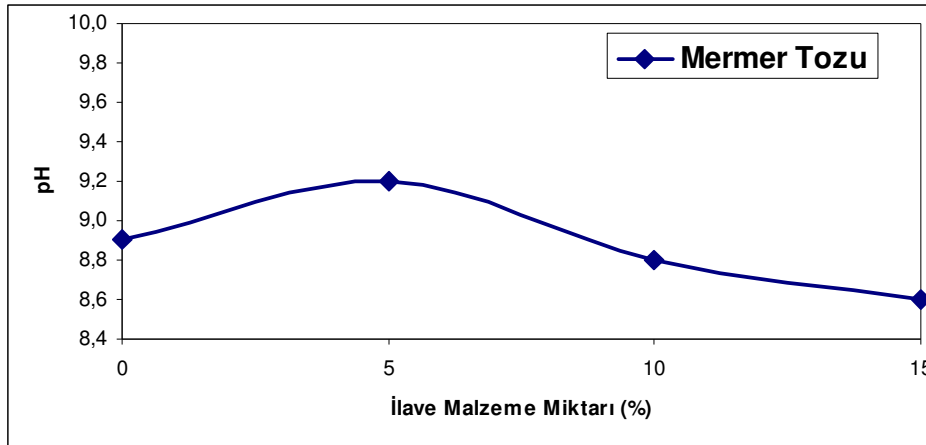
### 7.4.1 pH tayini

Literatürde pH değerinin minimum 6 ile 8 olması ifade edilmektedir (Tuncan vd 1996). Görüldüğü gibi her üç karışım miktarı sınır şartlara uygunluk göstermektedir. %5'lik mermer tozu ilavesi alınan en iyi sonuç olarak gözlenmiştir. %10 ve %15'lik mermer tozu karışım sonuçları da geçirimsizlik için iyi sonuçlardır. Sonuçlara bakıldığında geçirimsiz kil tabakada kullanılması için %5'lik karışım daha uygun görülmektedir. pH deneyi sonrası alınan sonuçlar Çizelge.7.10 ve Şekil.7.11'de verilmiştir.

Çizelge 7.10 Mermer tozu karışımlarının Fiziko-kimyasal deney sonuçları

MALZEMELER	pH	Elektriksel iletkenlik ms/cm	K.D.K	O.M.M %
90K10B	8,9	1171	13,44	0,1
90K10B+%5M.	9.2	1129	13,44	3.3
90K10B+%10M.	8,8	1127	14,13	4
90K10B+%15M.	8,6	1126	12,76	4.2

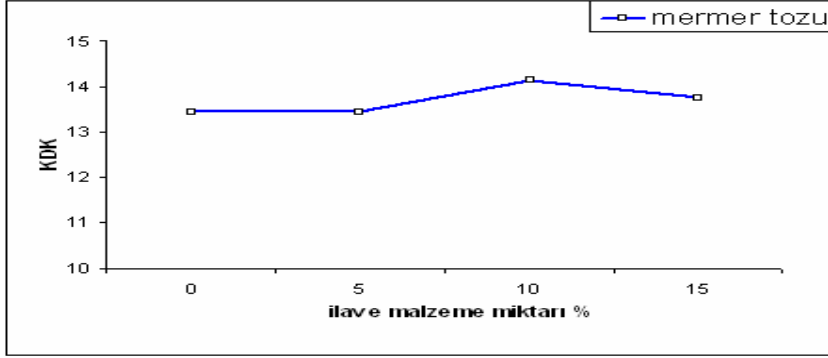
KDK: Katyon değişim kapasitesi , OMM: Organik madde miktarı



Şekil 7.11 Mermer tozu miktarının pH'a etkisi.

#### 7.4.2 Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

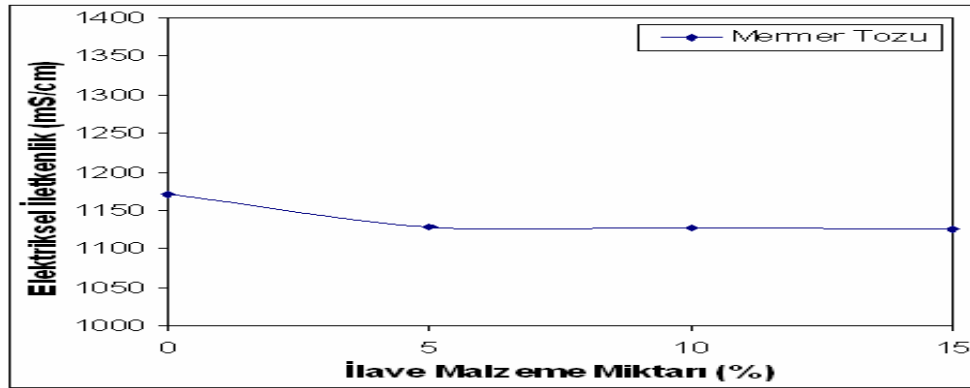
Zeminin dane boyutu küçüldükçe organik ve inorganik kirleticilerin tutulabilmeleri kolaylaşmaktadır. Çizelge.7.7' de Karışımların (KDK) değerleri ve şekil.7.12' de ise atık mermer tozu miktarının Katyon değişim kapasitesine etkisi verilmiştir.



Şekil 7.12 Mermer tozu miktarının Katyon Değişim Kapasitesine etkisi

#### 7.4.3 Elektriksel iletkenlik

Elektriksel iletkenlik değeri 4000 mikroSimens/cm değerinden fazla ise zemin tuzlu olarak nitelendirilir (Tuncan vd 1996). Karışımlara uygulanan deney sonucunda, üç karışımdaki tuzluluk oranı literatür de verilen sınır değer içerisinde. Çizelge.7.7'de karışımların elektriksel iletkenlik değerleri verilmiştir. Şekil.7.13'de ise atık mermer tozu miktarının elektriksel iletkenlik değerine etkisi görülmektedir.



Şekil 7.13 Mermer tozu elektriksel iletkenlik değerine etkisi

#### 7.4.4 Organik Madde Miktarı

Geçirimsiz tabakada kullanılacak kilin içerisinde organik maddenin az olması istenir, yapılan deney sonucunda karışım miktarının artmasıyla organik maddenin de arttığını görmekteyiz, bu artış karışımlardan oluşan zeminlerin permeabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Karışımlara uygulanan deney sonucunda ortaya çıkan değerler Çizelge.7.7. ve şekil.7.14' de verilmiştir.



Şekil 7.14 Mermer tozu miktarının Organik Madde Miktarına etkisi

#### 7.4.5 Sızıntı Deneyi ve toplam metal miktarı

Çöp suyuna doygun hale getirilen geçirimsiz tabakadan, çöp suyu sızmaya başlar. Yapılan sızıntı deneyi sonrası sızan sudaki ağır metal miktarları belirlenmiş ve değerler çizelge.7.11’de verilmiştir.

Çizelge 7.11 Sızıntı suyu içerisindeki ağır metal miktarları

Malzemeler	Cu	Zn	Ni	Pb
	ppm			
90K10B	22,25	20,50	20,00	21,25
%5mermer tozu	12,75	11,00	12,75	18,75
%10mermer tozu	13,75	16,25	18,25	4,50
%15mermer tozu	14,25	16,25	0,00	0,00

#### 7.5 Karışımların Çevresel Özellikleri

##### 7.5.1 Zeminin donması sırasında görülen olaylar

Zemin suyunun doğası ve dağılımı donduğu zaman oldukça değişir. Islak zemindeki sıcaklık 0°C'nin altına düşer, su aşırı soğur ve buz kristalleri geniş boşluklarda oluşur. Su fazı, buza dönüştüğü zaman hegzagonal kristal yapısının gelişmesine bağlı olarak hacmi yaklaşık %9 oranında artar. Kristaller, su elverdiği ve sıcaklık çekildiği sürece buz mercikleri oluşturmak için büyürler. Buz merciklerinin kalınlığı ve boyutu, don oranı, sıcaklık gradyanı, basınç ve suyun mevcudiyeti gibi göreceli büyüklüklere bağlıdır (Penner E 1977). Büyüyen buz kristalleri, etrafındaki zemin parçacıkları ve diğerleriyle etkileşim içerisine girerler. Büyüyen buz merciklerine bitişik bölgede, donmamış zeminden su, donma bölgesine çekilerek, büyük boşluk suyu emme kuvvetleri oluşur (Benson C. H 1993).500kPa büyüklüğünde, etkili boşluk suyu emme kuvvetleri gözlenmiştir (Chamberlain E. J 1981). Bu olay, büyüyen buz merciklerine bitişik alanda yüksek gerilimler oluşturur ve bu da kurumaya ve bölgedeki donmamış zeminin konsolidasyonuna sebep olur.

Kuruma ve konsolidasyon, zemin yapısında değişiklikler yaratır. Bilhassa donma bölgesine dik büzülme çatlakları oluşur (Benson C. H 1993). Don bölgesi,

donmamış zemin kütesine doğru ilerlediği zaman bu çatlaklar buzla dolar ve buz mercekleri ile zemin kümelenmiş bir yapı geliştirir (Othman M. 1994).

Donmamış zeminden su akışı, öndeki buz tabakası tarafından kesildiği zaman bile buz, donmuş bölgede büyümeye devam eder. Çünkü sıcaklık azaldığı zaman su ilerleyerek donar. Zemin parçacıklarına bitişik film tabakası kalınlığında sular çok düşük sıcaklıklarda bile donmamış olarak kalır. Donma bölgesinde bu donmamış haldeki suyun genleşmesi, zeminin yapısını bozan bir baskı uygular.

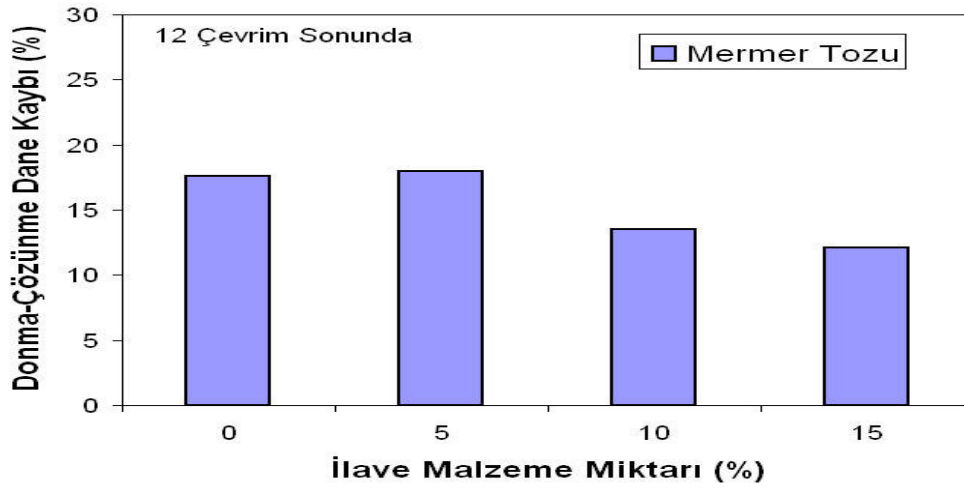
Sonuç olarak buz merceklerinin ve çatlaklarının kalınlığı artar.

### **7.5.2 Donma/çözünme deneyi**

Literatüre baktığımızda; Hassini (1992)'de yapmış olduğu çalışmada derinliği fazla olmayan deponi alanlarında geçirimsiz tabakanın fazla çevirim yapacağını belirlemiş ve bu sebeple zemin mukavemetinin direncini ve dolayısıyla geçirimsizliğini tespit etmek için zemin üzerinde donma-çözünme deneyi gerçekleştirmiştir. Bu deneyi farklı çevirimlerde uygulamış ve bu tür tabakalarda (yüzeeye yakın), 12 çevrim sonunda %10-15 arasında bir malzeme kaybının dayanımı fazla etkilemediğini tespit etmiştir. Benzer bir çalışmada Chambarlain (1990). Bir çöp deponi alanı örtüsü gibi yüzeeye yakın yerleştirilmiş bariyerler için zemin sıcaklığının, hava sıcaklığındaki değişikliklere daha duyarlı olduğunu saptamış ve böylece daha çok sayıda donma-çözünme görüleceğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmada Derindeki zeminler için 3-10 arasında ve yüzeeye yakın zeminlerde 12 çevirim uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Deney sonuçları çizel 7.12'de verilmiştir. Görüldüğü gibi %5'lik karışımda sınır değerlerin üzerinde sonuç alınmasına karşın %10 ve %15'lik karışımlarda sınır değerleri arasında sonuç alınmıştır. Şekil.7.15'de atık mermer tozu miktarının donma/çözünme özelliğine etkisi görülmektedir.

Çizelge 7.12 Karışımların Donma/çözünme deneyi sonuçları

Malzemeler	Başlangıç su muhtevası (%)	Çevirim sayısı	Dane kaybı(%)
90K10B	25	12	17,6
90K10B+%5 M	25	12	18
90K10B+%10M.	25	12	13,5
90K10B+%15M.	25	12	12,5



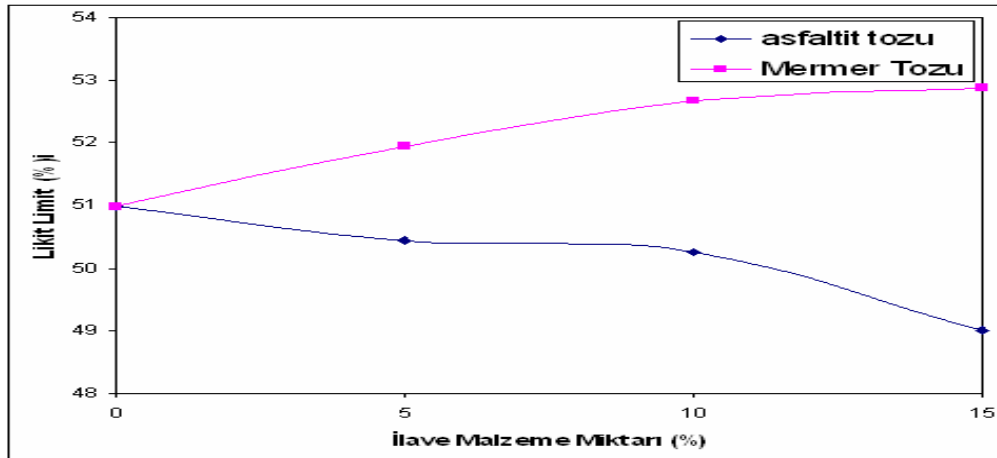
Şekil.7.15 Mermer tozu miktarının Donma-Çözünmeye etkisi



## 8. AFYON MERMER TOZLARININ VE ŞIRNAK ASFALTİTLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLARI

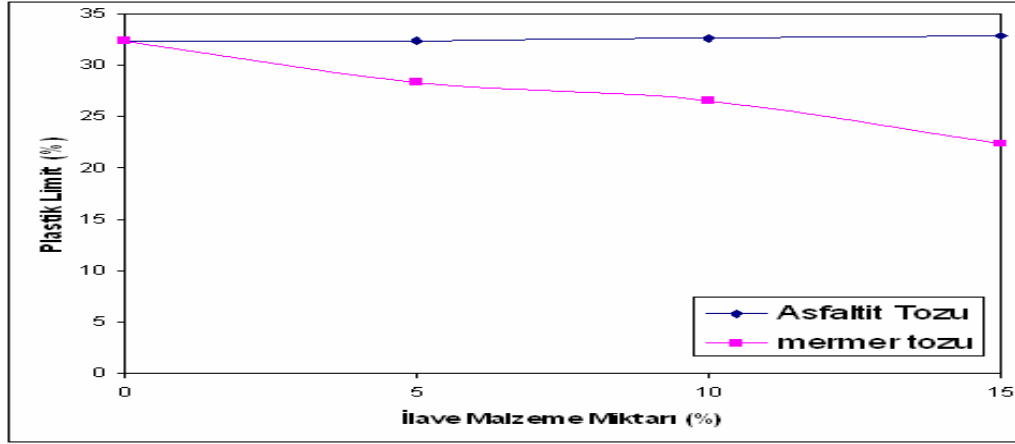
### 8.1 Kıvam Limitleri SonuÇlarının Karşılaştırılması.

Asfaltit ve mermer tozlarının likit limit değerlerini karőılaőtırdığımız da malzemelerin özelliklerinden kaynaklanan farkları görmekteyiz. Asfaltit malzemesinin bitüm içerikli olmasından dolayı malzemenin kıvam özelliği plastik yapıya doğru yaklaőmaktadır. Mermer tozunda ise likit limit değerinde artan bir grafik görülmektedir. Her iki malzemenin likit limit değerlerinin karşılaştırılması Şekil.8.1’de verilmiştir.



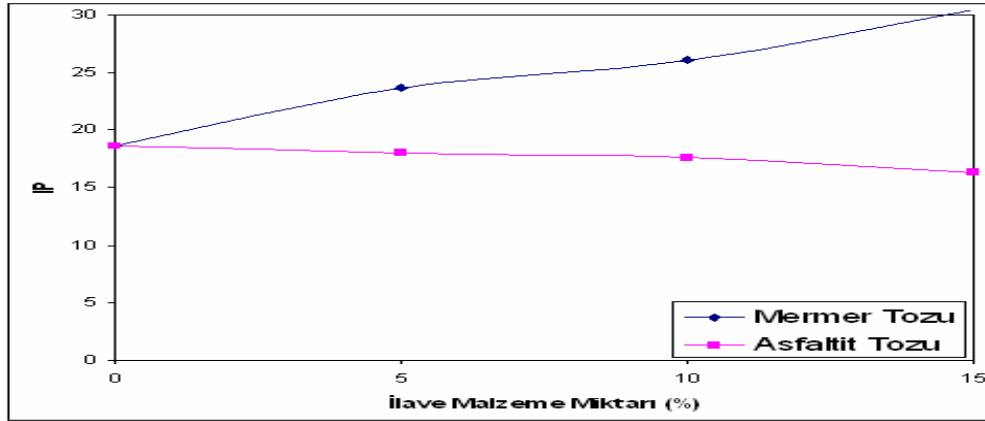
Şekil. 8.1 Likit Limit sonuÇlarının karşılaştırılması

Malzemelerin plastik limit değerlerine baktığımızda ise Asfaltit tozunun plastik limit değerlerindeki artış malzemenin sünek olmasından dolayı devam etmektedir. Mermer tozunda ise kireçli yapının durumundan dolayı plastik limit değeri azalma göstermektedir. Şekil 8.2’de malzemelerin plastik limit değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir.



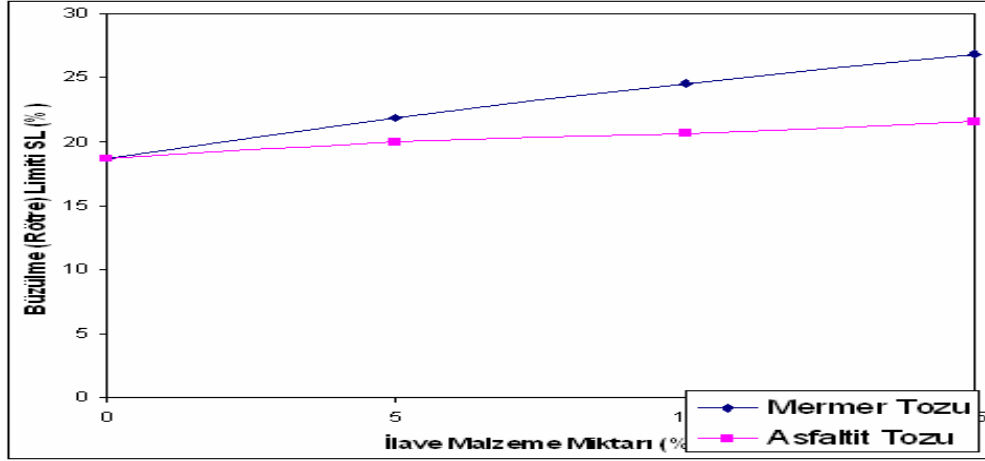
Şekil. 8.2 Plastik Limit sonuçlarının karşılaştırılması

Plastisite indisi değerlerinde ise likit limit ve plastik limit değerlerine bağlı olarak asfaltit ve mermer tozları malzemelerinde alınan sonuçlarda asfaltit tozunda düşüş ve mermer tozunda artış gözlenmiş ve karşılaştırmalı sonuçları şekil 8.3’de verilmiştir.

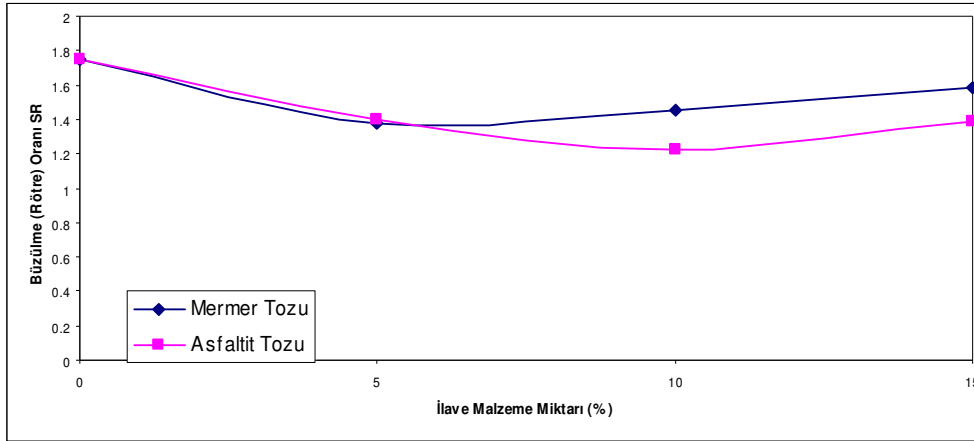


Şekil.8.3 Plastisite indisi sonuçlarının karşılaştırılması

Karışımların büzülme limitlerini ve oranlarını karşılaştırdığımızda ise her iki karışımın değerlerinde de artış gözlenmektedir. Gerçekleşen artış miktarları Asfaltit tozu karışımında biraz daha düşük olarak gözlenmiştir. Bunun sebebi ise malzemenin mermer tozuna oranla daha sünek olması şeklinde yorumlanabilir. Karışımların rötre limitlerinin karşılaştırılması şekil 8.4 ve rötre oranlarının karşılaştırılması şekil 8.5’de verilmiştir.



Şekil. 8.4 Büzülme (Rötre) Limiti sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil. 8.5 Büzülme (Rötre) oranı sonuçlarının karşılaştırılması

## 8.2 Permeabilite Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

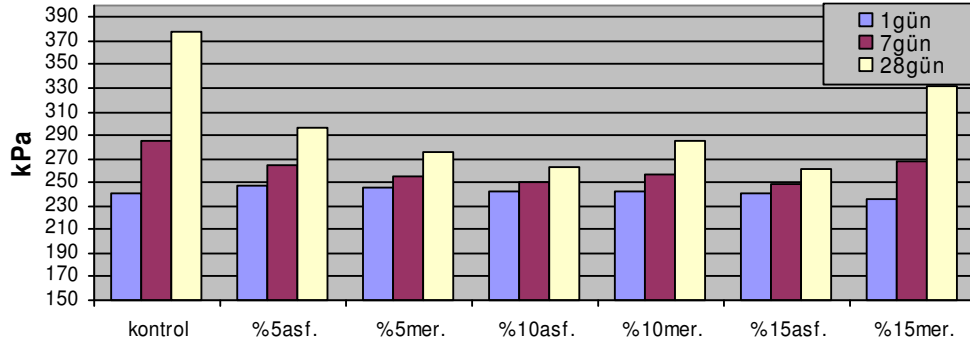
Karışımlara baktığımız zaman zemin sınıflarının hemen hepsinde aynı özelliği gösterdiğini görmekteyiz. Permeabilite değerlerinde de buna paralel olarak birbirlerine yakın sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar her iki malzemenin de permeabilite açısından geçirimsiz tabakada kullanılabilirliğini göstermektedir. Çizelge 8.1’ de Asfaltit ve mermer tozlarının zemin sınıflandırma değerlerine göre permeabilite sonuçları verilmiştir.

Çizelge 8.1 Asfaltit ve mermer tozlarının permeabilite değerleri

Karışımlar	USCS	Permeabilite değerleri
Kontrol(90K10B)	CH	$1.2 \times 10^{-9}$
90K10B +%5Asf.	CH	$1.4 \times 10^{-9}$
90K10B+%10Asf.	CH-CL	$1.5 \times 10^{-9}$
90K10B+%15Asf.	CL	$1.8 \times 10^{-9}$
90K10B +%5Mer.	CH	$1.1 \times 10^{-9}$
90K10B+%10Mer.	CH	$1.2 \times 10^{-9}$
90K10B+%15Mer.	MH	$1.8 \times 10^{-9}$

## 8.3 Üç eksenli kesme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

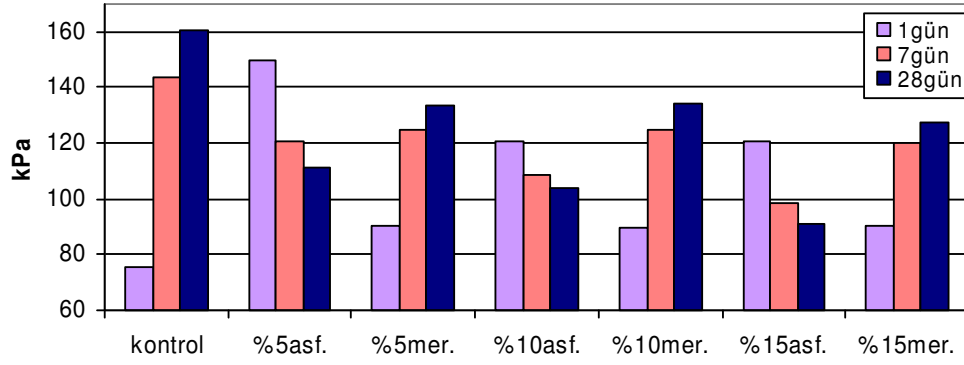
Deney sonrası verilere bakıldığında %5 asfaltit değerlerinin aynı orandaki mermer tozu karışımının verdiği mukavemetten daha iyi olduğu görülmektedir; ancak karışım miktarı arttıkça Asfaltit tozundaki mukavemet değerinde mermer tozuna oranla bir düşme gözlenmektedir. Sonuçlara bakıldığında mermer tozu miktarının artışıyla mukavemet artışının paralel olduğu gözlenir, ayrıca tüm karışımlarda en yüksek mukavemet 28 günlük kür süresinde gözlenmektedir. Asfaltit ve mermer tozunun karşılaştırmalı sonuçları şekil 8.6’da görülmektedir.



Şekil 8.6 Üç eksenli deney sonuçlarının karşılaştırılması

#### 8.4 Serbest basınç deney sonuçlarının karşılaştırılması

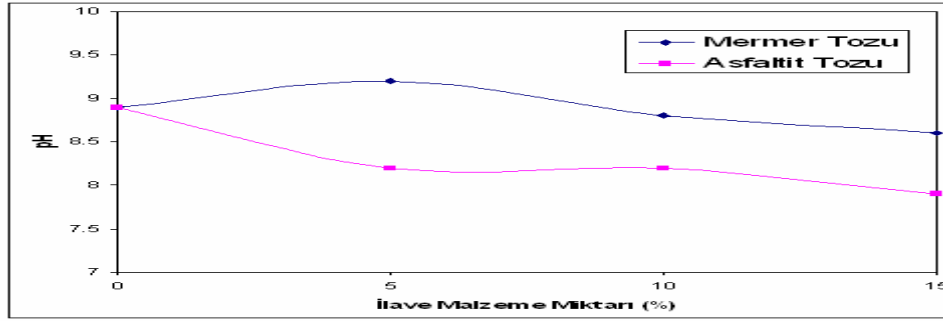
Deney sonrası sonuçlarda Asfaltit miktarının artmasıyla mukavemet azalmaktadır. Yine kür süresinin artması da sonucu olumsuz etkilemektedir. Mermer tozunda ise tam tersi bir sonuç gözlenmektedir. Miktarın artması, sonucu çok etkilememesine rağmen kür süresinin uzaması sonucu mukavemet artmıştır. Asfaltit malzemesinin plastik yapısından ötürü karışım kendisini mermer tozu karışımı kadar tutamamaktadır. Şekil 8.7.'de deney sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 8.7 Serbest basınç deney sonuçlarının karşılaştırılması

### 8.5 pH Deney sonuçlarının Karşılaştırılması

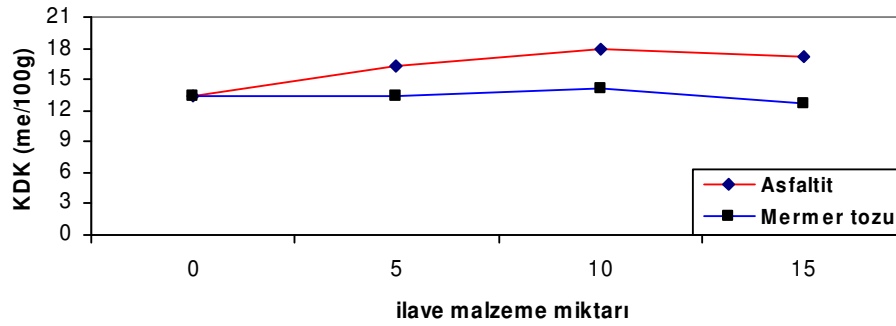
pH değeri zeminin kirlilik tutuculuğu açısından önemli bir deneydir. Genel olarak bakıldığında Asfaltit tozu ve mermer tozunun tüm karışımları kirlilik tutuculuk özelliği göstermektedir. Malzemeleri karşılaştırdığımızda ise mermer tozu karışımlarının daha iyi sonuçlar verdiğini görmekteyiz. Şekil 8.8’de Asfaltit tozu ve mermer tozu karışımlarının pH değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil. 8.8 pH deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

### 8.6. Katyon değişim kapasitesi deney sonuçlarının karşılaştırılması

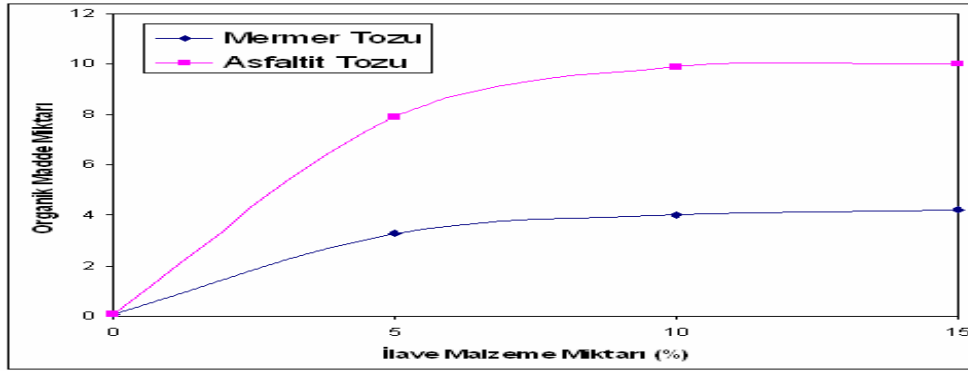
Kil bünyesine su alınca katyonları negatif elektriksel güç ile bağlayarak şişer; ne kadar çok katyon bağlarsa şişme miktarı da o kadar artış gösterir (Erkılavuz 1996). Deney sonuçlarına bakıldığı zaman Asfaltit malzemesiyle oluşturulan karışımların mermer tozu karışımlarına oranla daha çok katyon tuttuğu gözlenir. Dolayısıyla şişme miktarı daha fazla olacaktır, bu şişme miktarı da zeminin permeabilitesini düşürecektir. Şekil 8.9’da malzemelerin KDK değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.9 Karışımların Katyon değişim kapasitelerinin karşılaştırılması

## 8.7 Organik Madde Miktarı deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

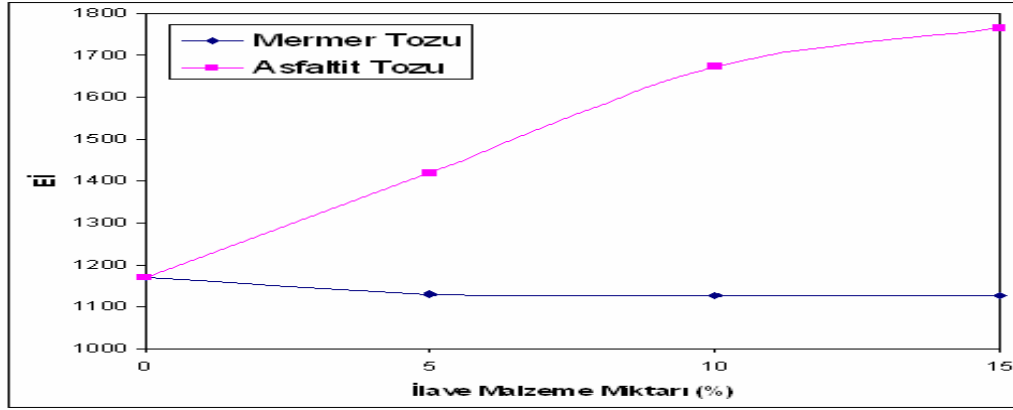
Karışım içerisindeki malzeme miktarına bağlı olarak organik madde miktarı değişmektedir. Kullanılan atık malzemelerin her ikisinin de organik madde miktarlarında artış gözlenmektedir. Ancak bu artışlar permeabiliteyi çok fazla etkilememektedir. Karışımlara ait karşılaştırmalı sonuçlar şekil 8.10'da verilmiştir.



Şekil. 8.10 Organik madde miktarı deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

## 8.8 Elektriksel iletkenlik deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Her iki malzemenin elektriksel iletkenlik değerlerinin de kabul sınırları içerisinde olması buldukları yöreler itibarıyla kullanılabilirliklerini göstermektedir. Malzemelerin tuzluluk oranlarına bakıldığında ise Asfaltit tozu karışımlarının tuzluluk oranlarının mermer tozuna oranla daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre zemin içerisindeki tuzların erimesiyle boşluk miktarı Asfaltit tozu karışımlarında daha fazla olacaktır; yani asfaltit tozu karışımlarının permeabilitesi mermer tozlarına nazaran daha yüksek çıkacaktır. Asfaltit ve mermer tozlarının elektriksel iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması şekil 8.11'de verilmiştir.



Şekil 8.11 Elektriksel İletkenlik (Eİ) deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

### 8.9 Sızıntı deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

Çöp suyuna doyan zemin içerisinde, atık sular sızmaya başlar ve bu sızan sular yer altı sularını ve çevreyi tehdit eder. Bu sebeple geçirimsiz tabakada kullanılacak kilin sızdırmaz olması önemlidir. Çizelge 8.2’de Literatürde sızıntı suyu içerisindeki ağır metal miktarları verilmiştir. Laboratuvarda yapılan sızdırma deneyi sonuçlarına bakıldığında Asfaltit tozu ilave edilmiş karışımların ağır metalleri tutması bakımından mermer tozu karışımlarına oranla daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Çizelge 8.3’de karşılaştırmalı sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 8.2 Literatürde sızıntı suyu içindeki ağır metal miktarları

Kaynaklar		Pb	Ni	Zn	Cu	Cr	Fe	Cd
1- michigan depolama sahası	1.yıl sonu	0,52	0,53	8,70	0,44	0,16	-	0,04
	4.yıl sonu	0,67	0,55	21	0,39	0,281	-	0,09
2-Bursa sızıntı suyu analizi		1,98	0,38	0,58	-	3,2	-	-
3- Literatürde		0,001-2	0,2-7,9	%60	0,005-0,9	0,2-18	4-2820	0,3-17

1- (Boyle ve Ham, 1974).

2- (Seyaş, 1991).

3- (Ray ve Chan, 1986).

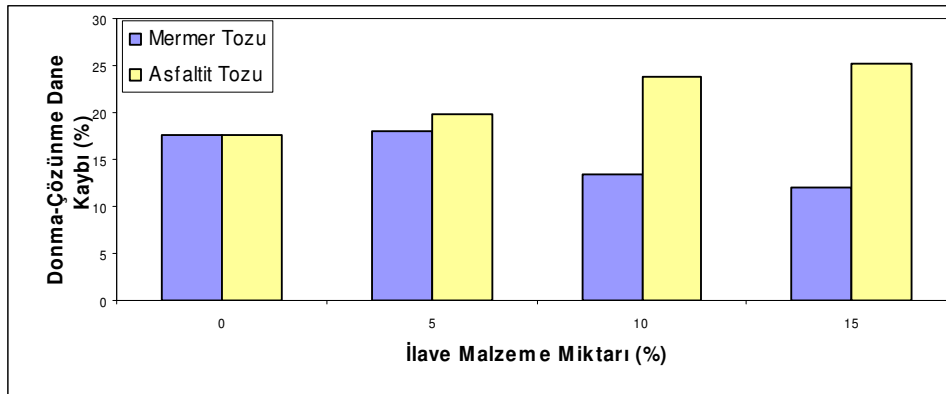


Çizelge 8.3 Sızıntı deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

Malzemeler	Cu	Zn	Ni	Pb
	ppm			
90K10B	22,25	20,50	20,00	21,25
%5asfaltit	0,25	0,25	0,00	0,00
%10asfaltit	0,25	0,25	0,00	0,00
%15asfaltit	0,25	0,25	0,00	0,00
%5mermer tozu	12,75	11,00	12,75	18,75
%10mermer tozu	13,75	16,25	18,25	4,50
%15mermer tozu	14,25	16,25	0,00	0,00

### 8.10 Donma -Çözünme deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Donma/çözünme deneyinde, asfaltit ve mermer tozlarının malzeme kayıplarına bakıldığında mermer tozlarının Asfaltit tozlarına oranla iklimsel değişikliklere karşı daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Özellikle malzeme miktarlarının artmasıyla bu fark daha da belirginleşmektedir. Şekil 8.11'de Asfaltit ve mermer tozlarının karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir.



Şekil. 8.12 Donma-Çözünme deneyi (12 çevirim) sonuçlarının karşılaştırılması

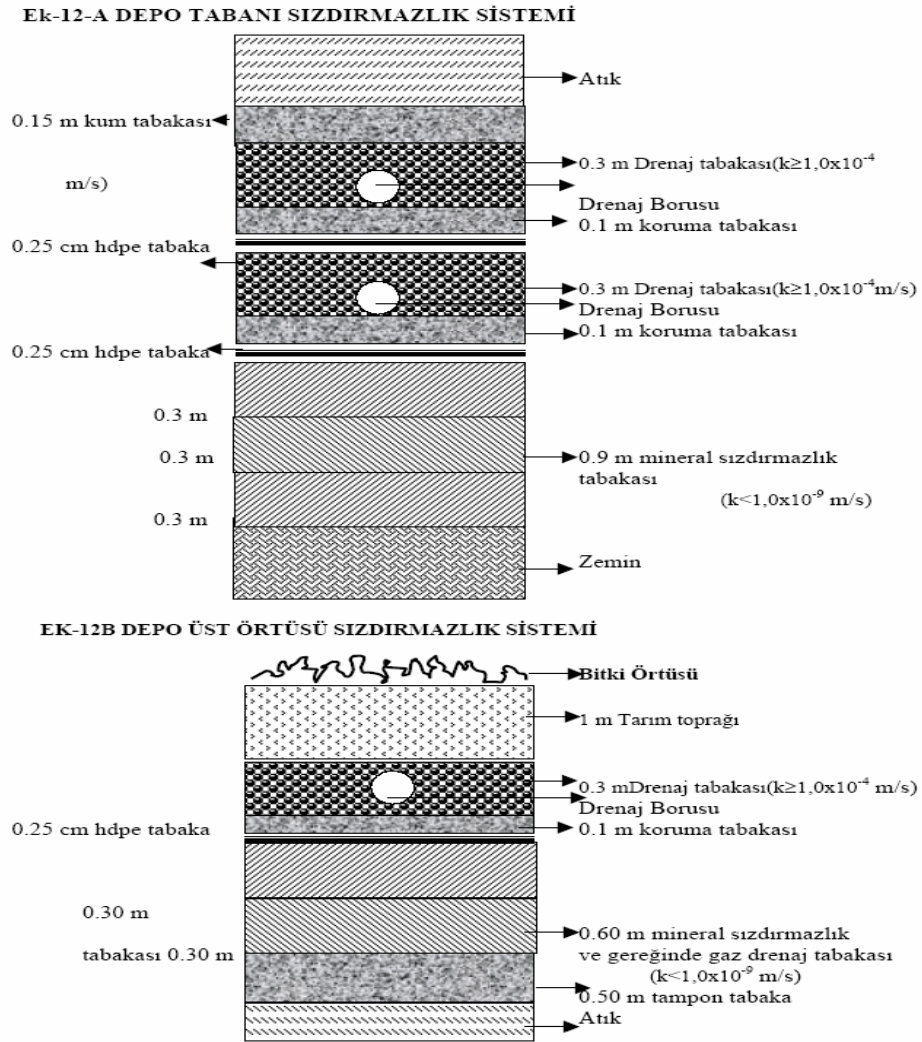
Çizelge 9.1 Atık Depolama Alanı Dizayn değerleri

A.D.T.D.= Atık Depolama Tabanı Dizaynı

Parametreler	Atık depolama alanı boyutları	Temel eğim	Geçirimsiz alt tabaka kalınlığı	Kilin optimum su muhtevası	Arazi eğimi	Zemin permeabilite değeri	Sızıntı Drenaj Boruları	Kum-Çakıl Drenaj Tabakası Kalınlığı	Gaz havalandırma bacaları
Literatür'e göre A.D.T.D	Temel genişliği 6-10m yüksekliği 15-40m	%2,5-4	60-610cm	%20-35	%7-10	$10^{-6}$ — $10^{-9}$ m/sn	Ø100-250	15-30cm	L=3.00m için Ø150-200
Katı atık yönetmeliğine göre A.D.T.D		boyuna>%3' enine> %1	Min.90cm	%20-40	%10	$k \leq 1 \times 10^{-8}$ m/sn	Ø100-250	20-25cm	L=3.00m için Ø150-200
İlave malzeme Asfaltit tozuna göre %5		boyuna>%3' enine> %1	Min.90cm	%22,72	%10	$K=1.4 \times 10^{-9}$ m/sn	Ø150	20-25cm	L=3.00m için Ø150-200
İlave malzeme mermer tozuna göre %5		boyuna>%3' enine> %1	Min.90cm	%22,72	%10	$K=1.1 \times 10^{-9}$ m/sn	Ø150	15cm	L=3.00m için Ø150-200

## 9. ATIK DEPOLAMA TABANI DİZAYNI

Bu bölümde bulunan deney sonuçlarına göre atık depolama dizaynı yapılacaktır. Katı atık yönetmeliğine göre sınır değerler şekil 9.1’de gösterilmiştir. Buna göre atık depolama tabakalarında geçirimsiz olarak kullanılacak kil tabaka kalınlığı minimum 90cm olarak önerilmiş ve bu değer permeabilite açısından yeterli görülmüştür. Asfaltit ve mermer tozlarının kullanımı, buldukları bölgeler için ekonomik olma özelliği taşımaktadır. Ayrıca bu malzemelerde atık oldukları için buldukları bölge itibarıyla değerlendirilmiş olmaları bu atıkların çevreye vereceği zararı da en aza indirmiş olacaktır.



Şekil 9.1 Atık depolama tabanı ve örtü sızdırmazlık sistemleri.(Katı atık yönetmeliği, Ek12A ve Ek12B).

## 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Şırnak Asfaltitleri'nin ve Afyon Mermer tozlarının Atık depolama tabakalarında kullanılabilirliğinin araştırılması planlanmıştır.

Malzemeler; 1/9 oranında (Bentonit/Kaolin) killeri karışımlarına %5, %10 ve %15 oranlarında Asfaltit ve mermer tozu karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Böylece kontrol numunesi; 90K10B, Asfaltit karışımlar; 90K10B+%5A, 90K10B+%10A, 90K10B+%15A ve Mermer tozu karışımları; 90K10B+%5M, 90K10B+%10M, 90K10B+%15M olarak elde edilmiştir. Asfaltit ve mermer tozlarının atık depolama tabanlarında geçirimsiz tabaka olarak kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi amacıyla kontrol numunesinin ve oluşturulan diğer karışımların Geoteknik, mekanik, fiziko-kimyasal, çevresel özellikleri incelenmiş olup elde edilen sonuçlar ve değerlendirilmeleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Kontrol numunesi (90K10B) için Plastisite indisi; 18,59, Asfaltit karışımlar için sırasıyla plastisite indisi değerleri; (90K10B+%5A): 18,04, (90K10B+%10A): 17,64, (90K10B+%15A): 16,31, Mermer tozu karışımları için ise; (90K10B+%5M): 23,66, (90K10B+%10M): 26,11, (90K10B+%15M): 30,45 değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Atık depolama tabanlarında kullanılacak geçirimsiz tabaka için ön görülen değerler arasında yer almaktadır. Literatürde geçirimsiz tabakanın plastisite indisi (PI)< 50 (Daniel ve Wu, 1993).
2. Atık depolama tabakalarında kullanılması düşünülen killerin Literatürde USCS (Unified Soil Classification System) Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi dahilinde CH, CL ve MH tipi killerin kullanımı tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan karışımların USCS'de sırasıyla aldığı değerler şöyledir; 90K10B (CH), 90K10B+%5Asf (CH), 90K10B+%10Asf. (CH-CL), 90K10B+%15Asf. (CL), 90K10B+%5M. (CH), 90K10B+%10M (CH), 90K10B+%15M (MH). Görüldüğü gibi tüm karışımlar tavsiye edilen kil tiplerine uygunluk göstermektedir.

3. Atık depolama alanlarında geçirimsiz tabakada kullanılacak killerin özgül ağırlık (Gs) değerleri de literatürde; 2,50-2,70 olarak ifade edilmiştir, (Yong ve Waridh 1985) (Benson vd 1994). Asfaltit tozu karışımlarının özgül ağırlık değerleri minimum 2,55 ve maksimum 2,63 ve mermer tozu'nun Özgül ağırlık değerleri 2.64 ile 2.69 arasında bulunmuştur. Sonuçlar literatür değerlerine uygundur.
4. Çalışmada kullanılan 90K10B numunesinin standart proktor deneyi sonrasında optimum su muhtevası %22,72 olarak belirlenmiştir. Daha sonra aynı deney ile diğer karışımların optimum su muhtevası değerleri araştırılmış ve (bölüm 6) ve (bölüm 7)'de görüldüğü gibi tüm karışımlarda optimum su muhtevası literatürde verilen %20-35 değerleri ve katı atık yönetmeliğinde verilen %20-40 değerleri arasında yer almıştır.
5. Killi zeminler kirliliği bünyelerinde tutabilirler. Bu durum killeri kirlilik depolayıcısı yapabilir. Zeminin pH ve kation değişim kapasitesi metal miktarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH'ı genellikle kirliliğin zemin içerisinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6 ile 8 arasında olmalıdır. (Tuncan vd 1996). Bu çalışmada belirlenen pH değerleri literatüre uygun olarak bulunmuştur. pH değerlerine göre, asfaltit grubu içerisinde %5 ve %10' luk karışımlar ve mermer tozu grubunda ise %5'lik karışımın daha uygun kirlilik depolayıcısı olduğunu söylemek mümkündür.
6. Zeminlerin geçirimliliğini etkileyen diğer bir unsur da zemin içerisinde çözünebilir maddelerdir. Bu maddeler atık içerisindeki suyun etkisi ile çözünür ve dolayısıyla zeminin permeabilitesini artırır. Bu çözünebilir maddeler; tuzlar, sodyum, kalsiyum, magnezyum, klorür ve sülfat tuzları ile beraber Çok az olarak da potasyum, bikarbonat ve nitrat'tır. Elektriksel iletkenlik değeri 4000 mikroSimens/cm değerinden fazla ise zemin tuzlu olarak nitelendirilir. (Tuncan vd 1996) Karışımlar tuzluluk oranı açısından da literatüre uygunluk sağlamaktadır.

7. Donma ve çözünme deneyinde; Asfaltit ve mermer tozlarının malzeme kayıplarına bakıldığında mermer tozlarının Asfaltit tozlarına oranla iklimsel değişikliklere karşı daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Özellikle malzeme miktarlarının artmasıyla bu fark daha da belirginleşmektedir. İklimsel etkiler göz önüne alındığında derinliği daha az olan atık depolama tabanlarında mermer tozunun kullanımı zeminin dayanımı açısından daha olumlu olacaktır.
8. Zemin geçirimliliğine etki eden bir diğer etmen Organik Madde miktarıdır. Malzeme içerisinde organik madde miktarı ilave edilen katkı malzemelerinin miktarına bağlı olarak değişmiştir. Asfaltit grubunda en düşük organik madde miktarı %7,9 ile 90K10B+%5Asf. Elde edilmiştir. Mermer tozunda ise %3,3 organik madde miktarıyla 90K10B+%5M bulunmuştur. Kontrol numunesinin organik madde miktarının %0,1 olduğu göz önüne alınırsa karışımların permeabilite değerlerini arttırabileceğini söylemek mümkündür.
9. 90K10B Kontrol numunesinin, büzülme limiti değeri 18,65, Asfaltit tozunun en düşük, 19,93 ve en yüksek değeri 21,55'tir. Mermer tozunun aynı koşullarda büzülme limit değeri en düşük, 21,83 ve en yüksek, 26,82'dir. Her iki karışımında kontrol numunesi değerine oranla artış göstermesine rağmen Asfaltit malzemesinin mermer tozuna oranla daha esnek bir malzeme olduğunu söylememiz mümkündür. Rötreye oluşabilecek çatlakların permeabilite değerini arttıracağını bildiğimize göre rötreye açısından Asfaltit malzemesi daha elverişli gözükmektedir.
10. Atık depolama tabakaları için mücade edilebilir maksimum hacimsel büzülme oranı %4 tür. (Daniel ve Wu, 1993 Kleppe ve Olson, 1984). Karışımlara ait standart enerji de sıkıştırılmış numunelerin tamamında bu koşul sağlanmıştır.

11. Karışımlara uygulanan permeabilite deneyleri sonrasında alınan sonuçlar; ABD'nin EPA Kurumunun geliştirmiş olduğu zemin sınıflarına göre permeabilite sınır değerleri ve Türkiye Katı Atık Yönetmeliği madde 26' da belirtilen geçirimsiz tabakaların permeabilite sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre tüm karışımların permeabilite değerleri U.S. EPA'da belirtilen  $10^{-8}$  cm/sn değerinden küçük çıkmıştır.
12. Üç eksenli kesme deneyi sonrasında karışımların mukavemet değerlerinin genel olarak arttığı gözlenmiştir. Kontrol numunesi olarak alınan 90K10B karışımında deney sonrası mukavemet değeri 240 kPa değerinden başlayıp 28 günlük basınçta 377 kPa değerine ulaşmıştır. Asfaltit tozu karışımlarında bu sonuca yaklaşan değer %5 asfaltit tozu (296 Kpa) görülürken mermer tozu karışımların da bu sonuca %15 mermer tozu karışımında ulaşılmaktadır.(331 kPa). Asfaltit tozu karışım miktarının artması kesme dayanımını düşürürken mermer tozu karışımlarında miktarın artmasıyla dayanımın artması paralellik göstermektedir.
13. Katyon değişim kapasitesi zeminin en önemli özelliklerinde biridir, zeminin tuttuğu katyon miktarı ne kadar fazla olursa zemin o kadar şişme eğilimi gösterir bu şişme miktarı da permeabilite üzerinde olumlu etki göstermektedir. Karışımların katyon değişim kapasitelerine bakıldığında kontrol numunesinde 13,44 olan KDK değeri, Asfaltit tozu karışımlarında artış göstermiş ve %10 ve %15 karışım miktarların da %17,9 ve 17,18 olarak saptanmıştır. Mermer tozu karışımların da ise bu sonuçlar; %10 karışım miktarında 14,13 ve %15 karışım miktarında ise 12,76 olarak belirlenmiştir. KDK değerlerine göre Asfaltit tozu malzemesinin şişme kapasitesi mermer tozu malzemesinin şişme kapasitesine göre daha fazla olacaktır.

14. Sızıntı deneyi ile karışımların ağır metalleri tutuculuk özelliklerine bakılmış ve literatürle karşılaştırılmıştır. Alınan sonuçlara göre Asfaltit tozu karışımlarının Cu, Pb, Zn, Ni gibi ağır metalleri mermer tozu karışımına oranla daha iyi absorbe ettiği görülmüştür.

Yukarıda verilen sonuçlar; literatür ve Türkiye katı atık yönetmeliği kriterlerinin çoğunu sağlamaktadır. Kullanılacakları bölgelerde hem tasarım kriterlerini karşılaması ve hem de atık malzemelerin ülke ekonomisine kazandırılması açısından son derece önem arz eden, Asfaltit tozu ve mermer tozu malzemelerinin atık depolama tabakalarında geçirimsiz tabaka olarak kullanılması uygundur.

Bundan sonra Asfaltit tozu ve mermer tozu ile yapılacak çalışmalarda seçilecek oranların artırılması, kirletici olarak organik çözeltilerin de dikkate alınması, sıcaklık etkilerini görebilmek için düşük ve yüksek sıcaklıklarda deneylerin tekrarlanması, sadece kaolin veya sadece doğal killer ile oluşturulacak karışımların araştırılması ve %15 mermer tozunun ağır metal tutuculuğunun yeniden ve daha detaylı araştırılması önerilmektedir.



## 11.KAYNAKLAR

- ASTM ATP 1142, David E. Daniel ve Stephen J. Trautwein, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 227-254, (1994).
- ASTM C 127 (American Society for Testing and Materials), 2001, Standart Test Method for Dencsity, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Corse Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D-2216 (American Society for Testing and Materials), 1998, Standart Test Method for Laboratory Determination of watwr (Moisture) Content of Soil And Rock By Mass. Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D 854 (American Society for Testing and Materials), 2000, Standart Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D- 4318 (American Society for Testing and Materials), 2000, Standart Test Method for Liquit Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of soils. Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D 427 (American Society for Testing and Materials), 1998, Standart Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method. Annual Book of ASTM Standarts
- Nozhernikova, A.N., Nekrasova, V.K., Lebeder, V.S., and Lifshits, A.B., (1993). "Microbiological Process in Landfills" WST, Vol.27, No.2, 242-252.
- Anonim, T.C. Ankara Büyükşehir Belediyesi Dökümanları, Ankara(1999).
- Anonim, T.C. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Dökümanları, Eskişehir (2003a).
- Atlas, M., Fikret, H., Çelebi, E., Türkiye 6.Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları, (197-2010), 17-22 Ekim, İzmir (1994a).
- Aytekin M., Deneysel Zemin Mekaniği, Akademi Yayın Evi, Trabzon, (2000)
- Bardet, J. P., Experimental Soil Mechanics, Prentice- Hall, Inc., New Jersey, United States of America. (1997).
- Benson, C. H. ve Othman, M. A., "Hydraulic Conductivity of Compacted and Thawed In Situ," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE,119, 2, 276-294, (1993).
- Chamberlain, E. J., "Overconsolidation Effects of Ground Freezing," Engineering Geology, 18, 97-110, (1981).

- Chamberlain, E. J., Iskveer, I., ve Hunsiker, S. E., "Effect of Freze-Thaw on the Permeability and Macrostructure of Soils," Proceedings, International Symposium on Frozen Soil Impacts on Agricultural, Range, and Forest Lands, March 21-22, Spokane, WA, 145-155, (1990).
- Cömert A. T., Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yüksek Lisans Tezi (2005).
- Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Mevzuatı, (2004).
- Das, B. M., Principles of Geotechnical Engineering, Fourth Edition, International Thomson Publishing, Boston. 1998
- Daniel, D. E., Earth Liners for Waste Disposal Facilities, Geotechnical Practice for Waste Disposal 87, R.D. Woods, ed., ASCE, Ann Arbor, Michigan, 21-39, (1987).
- Daniel, D. E., and Benson, C. H., Water Content-Density CRITERIA for Compacted Soil Liners, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Volume 116, 12, 1811-1830, (1990).
- Daniel, D. E. And WU, Y. K., "Compacted Clay Liners and Covers for Arid Sites", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Volume 119, 2 223-237, (1993).
- Demir, A., ve Tüylüoğlu, S., Düzenli Depolama Tesislerinin Tasarımı ve İşletilmesi, İstanbul (1999).
- Durukan, S. , Utilization of bentonite-embedded zeolite as clay liner, Applied Clay Science, 25, 1-2, April, 83-91, (2004).
- Edil, T.B ve Berthouex, P.M, Earthen barriers technology for waste containment, Waste Management, 10, 2, 147-153, (1990).
- Erkılavuz D. S., Çöp Depolama Alanı Geoteknik Dizaynı, İnşaat Mühendisliğ Ana Bilim Dalı yüksek lisans tezi.(1996).
- H HASSİNİ, S., Some aspects of landfill desing environmental science and engineering, environmental geotechnology, 137-143p.(1992).
- Head, K. H., 1992, Manual of soil laboratory Testing, Volume 1, Second edition, John Wiley & Sons, Inc., Great Britain.
- Horneck, D.A., Hart, J.M., Topper, K., and Koepsell, B., Methods of soil analysis used in the soil testing laboratory at Oregon State University. SM 89:4-16. Agricultural Experiment Station, Oregon State University, U.S.A, (1989).

İller Bankası Katı Atık Tesisi Projesi Şartnamesi, (1995).

İzmir Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Projesi, İzmir Büyük Şehir Belediyesi, Boğaziçi Üniversitesi, Müh. Fak. Kirlenme Denetimi Araştırma Grubu.(1991).

Kalkan, E. Ve Akbulut, S. , The positive effects of silica fume on the permeability, swelling pressure and compressive strength of natural clay liners, Engineering Geology, 73, 1-2, May, 145-156, (2004).

Karakouzian, M., Pitchford, A., Leonard M. And Johnson, B., Measurement of soluble salt content of soils from Arid and Semi-Arid Regions, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 19,4, December, 364-372, (1996).Kaya, A.,

Katı Atıkları Kontrol Y., 1991, RG, Sayı 2084

Kayabalı, K, Engineering aspects of a novel landfill liner material: bentonite-amended natural zeolite, Engineering Geology, 46, 2, 23 May, 105-114, (1997).

Koyuncu, H., Stabilizasyon/Solidifikasyon Yöntemiyle İyileştirilmiş Petrollü Sondaj Atıkların Fiziko-Kimyasal Mikro-Yapısal ve Geoteknik Özellikleri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, (1998).

Kugler, H, Ottner, F., Froeschl, H., Adamcova, R., veSchwaighofer, B., Retention of inorganic pollutants in clayey base sealings of municipal landfills, Applied Clay Science, 21, 1-2, April, 45-58, (2002).

Luczak-Wilamowska, B., Neogene clays from poland as mineral sealing barriers for landfills: experimental study, Applied Clay Science, 21, 1-2, April, 33-43, (2002).

Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Kaolin, s 1-4 (1995)

Madencilik Özel İhtisas Komisyonu,.Bentonit, s 2-26 (2001)

Miller, C.J. ve Lee, J.Y., Response of landfill clay liners to extended periods of freezing, Engineering Geology, 51, 4, February, 291-302, (1999).

Montgomery, C.W., Environmental Geology, 5th edition (1996).

Munoz-Melendez, G., Kore, A. Ve Parry, S.J. , Influence of soil pH on the fractionation of Cr, Cu and Zn in solid phases from a landfill site, Environmental Pollution, 110, 3, December, 497-504,(2000).

- Nakomon, E., Güneydoğu Anadolu Asfaltik Madde Zuhurları, Madencilik Dergisi, s 41-51, Kasım (1997).
- OTHMAN, M., A., BENSON, C. H., ve CHEMBARLAIN, E. J., "Laboratory Testing to Evaluate Changes in Hydraulic Conductivity of Clays Caused by Freze-Thaw: State-of-the-art," Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in soil
- Özaydın, K., Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, s 57, (1999).
- Palmer, B.G., Edil, T.B. ve Benson, C.H., Liners for waste containment constructed with class F and C fly ashes, Journal of Hazardous Materials, 76, 2-3, 15 September, 193-216, (2000).
- Penner, E. ve UEDA, T., Proceedings, symposium on Frost Action in Soils, Universty of Lulea, Lulea, Sweden, I, 91-100, (1977).
- Platt, B., Institute for Local-self Reliance, USA (2005)
- Prashanth, J.p., Sıvapuraiah, P.V., ve Sridharan, A., Pozzolanic fly ash as a hydraulic barrier in land fills, Engineering Geology, 60, 1-4, June, Pages 245-252, (2001).
- Roehl, K.E, ve Czurda, K., Diffusion and solid speciation of Cd and Pb in clay liners, Aplied Clay Science, 12, 5, February, 387-402, (1998).
- Smith, D.C. ve Fey, M.V, Chemical manipulation of soil for sealing landfills, Applied Geochemistry, 11, 1-2, 325-329, January-March (1996).
- TS 1900, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri, Ankara, Türkiye (1997)
- Tuncan, A., Tuncan, M., Koyuncu, H., Güney, Y. , Use of natural zeolites as a landfill liner, Waste Manegement and Research, 21, 1, 54-61, (2003).
- Tuncan, A., Tuncan, M., Koyuncu, H., Petrol Sondaj Atıklarının Toprakta Meydana Getirdiği Kirliliğini Fiziksel ve Kimyasal Etkilerinin Uygulamalı Araştırılması, Tübitak Projesi, KTÇAĞ- 136.194s., (1996).
- U.S EPA, Environmental Protection Agency, (1990-1992).
- U.S. EPA METHOD 9100, 1986, Physical/chemical methods., saturated hydraulic conductivity,saturated leachate conductivity, and instinsic permeability, triaxial-cell method with back pressure, Test Methods for Evaluating Solid Waste, (SW-846),IA, IB, IC and II., Third Edition, Doc. Control No: 955-001-

000001, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC. 20460, Environmental Protection Agency, 9100-20-24, September, (1986).

U.S. EPA METHOD 9045, Physical/chemical methods, Soil pH, test methods for evaluating solid waste, (SW-846), IA, IB, IC and II., Third Edition, Doc. Control No: 955-001-000001, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC. 20460, Environmental Protection Agency, 9045-1-6, September, (1986).

Wilcox, J. C. , Determination of electrical conductivity of soil solution, Science Agronomy. 32, 107-117, (1946).

Zorluer İ., USTA, M., 2003, Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Afyon pp 305-312

## 12. TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Hocam sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER'e, deney çalışmalarım sırasında bilgi birikimini benimle paylaşan Yrd. Doç. Dr. Hakan KOYUNCU'ya, Laboratuvar çalışmalarım sırasında hep yanımda olan ve deneylerin yapılış aşamalarında benimle yılmadan çalışan bölüm teknisyenimiz Hüseyin TEMEL'e ve yine kimyasal deneylerin yapılışı sırasında benden Labaratuvar imkanlarını esirgemeyen Eskişehir Orman Fidanlığı Labaratuvar çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmalar esnasında bana her türlü desteği veren eşim Özlem TAŞPOLAT'a ve bu süreçte fazla ilgilenemediğim çocuklarıma teşekkür ederim.

### 13 ÖZ GEÇMİŞ

Bu çalışmayı yapan Lemi Tufan TAŞPOLAT 14/10/1968 yılında Diyarbakır'da doğmuştur. İlk, orta ve lise tahsilini İzmir' de tamamladıktan sonra Lisans eğitimi için 1989 yılında Ankara Gazi üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı eğitimi bölümüne kaydını yaptırmıştır. 1993 yılında bu bölümden mezun olmuş ve 4 yıl özel sektörde şantiyecilik yapmıştır. 1997 yılında Milli eğitim bakanlığında öğretmenliğe başlamış ve üç yıllık öğretmenlik deneyiminden sonra 2000 yılında Anadolu Üniversitesi Bilecik Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programında Öğretim Görevlisi olarak göreve başlamıştır. Halen aynı üniversite de görev yapmakta olan Lemi Tufan TAŞPOLAT Evli ve 2 çocuk babasıdır.

## EK 1 Donma/Çözünme Deney Fotoğrafları



Deney öncesi molttan alınan numune görünüm.



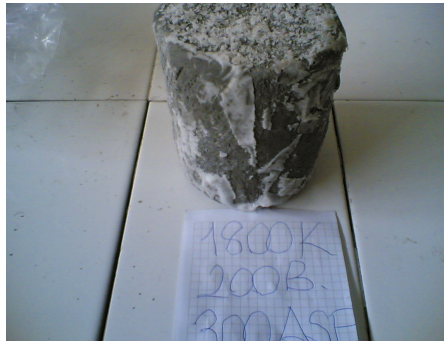
-20°C' de donduktan sonraki



10B90K+ %5 asfaltit karışım



10B90K+%10 karışım.



10B90K+ %15 asfaltit karışım.



Deformasyon sonrası görünüm.





10B90K+ %5 mermer tozu



10B90K+ %10 mermer tozu



10B90K+%15 mermer tozu  
kristalleşmeler.



Donma sonrası yüzeyde



Donma sonrası deformasyon



Hazırlanmış karışım.

## EK 2 Kompaksiyon Deneyi Fotoğrafları



Kompaksiyon aleti ve malzemenin sıkıştırılması



Kompaksiyon moltundan alınan malzeme örneği

### EK 3 UU Üç Eksenli Kesme Deneyi Fotoğrafları



EK.3.1



EK.3.2



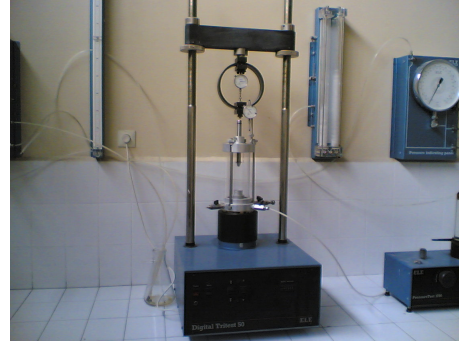
EK.3.3



EK.3.4



EK.3.5



EK.3.6

EK.3.1: Numunenin Üç eksenli basınç düzeneğine

EK.3.2: eksenli deney hücresinin yerleştirilip sıkıştırılması.

EK.3.3: Su dolu hücre içerisinde deformasyona uğramış numunenin görünümü.

EK.3.4: Aynı numunenin Üç eksenli basınç hücresi alındıktan sonraki görünümü

#### EK.4. Şırnak Asfaltitleri Açık Maden Ocakları





Şırnak asfaltitlerinin Cudi Dağı eteklerindeki damarlardan alınm