

**SEPIYOLİT VE ZEOLİT KARIŞIMLARIN
TEHLİKELİ ATIK DEPONİ ALANI DİZAYNINDA
KULLANILMASI**

Kazım AKPINAR
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Eylül – 2005

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Kazım AKPINAR'ın “Sepiyolit ve Zeolit Karışımların Tehlikeli Atık Deponi Alanı Dizaynında Kullanılması” başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 19.08.2005 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN	
Üye	: Doç. Dr. Savaş KOPARAL	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Yücel GÜNEY	

**Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.**

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SEPIYOLİT VE ZEOLİT KARIŞIMLARIN TEHLİKELİ ATIK DEPONİ ALANI DİZAYNINDA KULLANILMASI

KAZIM AKPINAR

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN
2005, 201 sayfa

Bu çalışmada, sepiyolit ve zeolit karışımların tehlikeli deponi atık alanı dizaynında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde zeolit + sepiyolit (%30) karışımı kullanılmıştır. Tehlikeli atıkların depolanmasında en önemli problem sızıntı sularının çevreye etkilerinin önlenmesidir. Bu aşamada geçirimsizlik tabakası malzemesi ve kalınlığın belirlenmesi ve araziye uygulanması önemlidir. Laboratuarda malzemelerin geoteknik ve fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiş ve ilgili yönetmeliklerde verilen kriterler altında geçirimsizlik tabakasında kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Plaxis programı ile stabilite analizleri yapılmış ve güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Laboratuarda arazi uygulamalarını yansıtabilmek için minyatür deponi tankı kullanılmıştır. Minyatür deponi tankına indeks ve fiziko-kimyasal özellikleri belirlenen geçirimsizlik tabakası serilerek sıkıştırılmıştır. 28 günlük kür süresi sonunda, bölümlere Cu, Cr çözeltileri ve distile su ayrı ayrı ilave edilmiştir. 16 haftalık gözlem boyunca ortam sıcaklığı 15-18 °C'de tutulmuş, sıvıların buharlaşmasını engellemek amacıyla minyatür deponi üzeri naylonla kapatılmıştır. Sızan numuneler toplama kaplarına alınarak saklanmıştır. Gözlem süresi sonunda minyatür deponi tankındaki sıvılar boşaltılmıştır. Bölümlerdeki geçirimsizlik malzemelerinin geoteknik ve fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca malzemelerin mikro-yapısal özelliklerindeki değişimleri gözlemek amacıyla SEM fotoğrafları çekilmiştir. Sonuç olarak zeolit + sepiyolit (%30) karışımı tehlikeli deponi atık alanında geçirimsiz malzeme olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Bakır, krom, Sepiyolit, Zeolit, Minyatür Deponi Tankı.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE USE OF SEPIOLITE AND ZEOLITE MIXTURES IN THE DESIGN OF THE HAZARDOUS WASTE LANDFILL AREAS

KAZIM AKPINAR

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN
2005, 201 pages**

In this study, the possibility of using sepiolite and zeolite mixtures in the design of the hazardous landfill waste areas was investigated. In the experiments, the mixture of zeolite + sepiolite (30%) was used. The biggest difficulty for storing the hazardous wastes is to prevent the leakage from the impervious layer to the environment. In this stage, determining the impermeable layer and in-situ application becomes very important. The geotechnical and physico-chemical properties of the materials were determined in the laboratory. It was investigated that whether the materials can be used as an impermeable layer under the criteria given by the relevant regulations. Stability analyses were done by the Plaxis program and the factor of safety was calculated.

A miniature landfill tank was used to obtain the closest results of in-situ applications. The impermeable layer, whose index and physico-chemical properties were determined, was laid into the miniature landfill tank and compacted. Heavy metals such as Cu and Cr were added on top of the compacted layers at the end of 28 days curing time. Distilled water was also added to the other sections for comparison. Room temperature was kept 15-18 °C by the 16 weeks observations. Miniature landfill was coated by nylon to prevent evaporation from the liquids. The leakage samples were collected and kept in the refrigerator. The liquids in the landfill tank were discharged at the end of the observation time. The geotechnical and physico-chemical properties of the impermeable layers in the sections were determined. SEM photos were also taken to observe the change on the micro-structural properties of the materials. As a result, zeolite + sepiolite (%30) mixtures can be used as an impermeable layer in the hazardous landfill design.

Keywords: Copper, Chrome, Zeolite, Sepiolite, Miniature Landfill Tank.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgisini, deneyimini ve yardımını esirgemeyen değerli Bölüm Başkanımız danışman hocam Prof. Dr. Ahmet TUNCAN'a, Anadolu Üniversitesindeki eğitimim boyunca maddi ve manevi yardımını esirgemeyen Bölüm Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a, her türlü desteğini benden esirgemeyen Bölüm Öğretim Üyelerinden Yard. Doç. Dr. Yücel GÜNEY'e, deneylerimin hazırlanmasında yardımcı olan, tecrübelerini benimle paylaşan, tekniker Adnan KILIÇ'a, değerli arkadaşım Elif TURAN'a ve Burak DURAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan, yardıma ihtiyacım olduğunda her zaman yanımda hissettiğim aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Kazım AKPINAR

Eylül – 2005

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Önceki Çalışmalar.....	2
1.3. Çalışmanın Amacı.....	3
2. ATIKLAR.....	5
2.1. Katı Atıklar.....	5
2.1.1. Türkiye’de katı atıkların durumu.....	5
2.1.2. Katı atıkların bertarafı.....	9
2.1.3. Katı atık depolama alanları.....	11
2.2. Tehlikeli Atıklar.....	15
2.2.1. Türkiye’de tehlikeli atıkların durumu.....	15
2.2.2. Tehlikeli atıkların bertarafı.....	17
2.3. Tıbbi Atıklar.....	19
2.3.1. Türkiye’de tıbbi atıkların durumu.....	20
2.3.2. Tıbbi atıkların bertarafı.....	20
2.4. Radyoaktif Atıkların Bertarafı	22
3. DEPONİ ALANI DİZAYN KRİTERLERİ.....	23
3.1. Atık Depo Tesislerinin Yer Seçimi	23
3.2. Depolama Tesisi Tabanının Teşkili.....	25
3.3. Sızıntı Suyunun Toplanması ve Drenajı.....	28

3.4. Gaz Drenajı.....	29
3.5. Depo Tesislerine Dolgu Yapılması.....	30
3.6. Üst Örtü Tabakası.....	32
4. KULLANILAN MALZEMELER	37
4.1. Sepiyolit.....	37
4.1.1. Dünyada evcut durum.....	38
4.1.1.1. Rezervler.....	38
4.1.1.2. Sepiyolit özellikleri.....	39
4.1.2. Türkiye’de durum	44
4.1.2.1. Rezervler.....	44
4.1.2.2. Tüketim.....	44
4.1.2.3. Sepiyolit sektöründe üretim yapan önemli kuruluşlar.....	45
4.1.3. Fiyatlar	46
4.1.4. Sepiyolit in insan sağlığı üzerine etkileri.....	46
4.2. Zeolit	46
4.2.1. Kullanım alanları	47
4.2.1.1 Kirlilik kontrolü	47
4.2.1.2. Enerji	49
4.2.1.3. Tarım ve hayvancılık	50
4.2.1.4. Madencilik ve metalürji.....	51
4.2.1.5. Diğer kullanım alanları	52
4.2.2. Sektördeki kuruluşlar.....	53
4.2.3. Ürün standartları.....	53
4.2.4. Fiyatlar	53
4.3. Kirleticiler.....	55
4.3.1. Ağır metaller.....	55
4.3.1.1. Bakır (Cu).....	59
4.3.1.2. Krom (Cr)	60
5. DENEY YÖNTEMLERİ	62
5.1. İndeks Deneyleri.....	62

5.1.1. Su muhtevası.....	62
5.1.2. Özgöl ağırlık	62
5.1.3. Dane çapı dağılımı	63
5.1.4. Atterberg kıvam limitleri	63
5.2. Mekanik Özellikler	64
5.2.1. Standart kompaksiyon deneyi.....	64
5.2.2. Serbest basınç deneyi	64
5.2.3. Üç eksenli basınç deneyi	65
5.2.4. Düşen seviyeli permeabilite deneyi.....	66
5.2.5. Konsolidasyon deneyi.....	67
5.2.6. Serbest şişme deneyi	68
5.3. Fiziko-Kimyasal Özellikler.....	68
5.3.1. PH.....	68
5.3.2. Elektriksel iletkenlik.....	69
5.3.3 Ateşte kayıp miktarı (Organik madde miktarı).....	69
5.3.4. Toplam metal miktarı	69
5.3.5. Katyon değişim kapasitesinin tayini.....	70
5.4. Arazi Uygulamaları.....	70
5.4.1. Arazi uygulamaları için kullanılan minyatür deponi	71
5.4.2. Geçirimsizlik malzemesinin hazırlanması.....	72
5.4.3. Hazırlanan geçirimsizlik malzemesinin bölmelere yerleştirilmesi.	76
5.4.4. Kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılması	80
5.4.5. Atık suların minyatür deponi düzeneğine yerleştirilmesi.....	81
6. DENEY SONUÇLARI.....	84
6.1. Hazırlanan Karışımlar	84
6.2. Geoteknik Özellikler	84
6.2.1. Fiziksel (indeks) özellikler.....	84
6.2.1.1. Dane özgül ağırlığı	85
6.2.1.2. Dane çapı dağılımı.....	85
6.2.1.3. Atterberg kıvam limitleri	89

6.2.2. Mekanik özellikler	89
6.2.2.1. Kompaksiyon deneyi.....	89
6.2.2.2. Serbest basınç deneyi	91
6.2.2.3. Permeabilite deneyi.....	99
6.2.2.4. Üç eksenli basınç deneyi	99
6.2.2.5. Konsolidasyon deneyi.....	101
6.2.2.6. Serbest şişme deneyi.....	106
6.3. Fiziko-Kimyasal Özellikler.....	106
6.3.1. PH.....	107
6.3.2. Elektriksel iletkenlik (EC).....	108
6.3.3. Ateşte kayıp miktarı (Organik madde miktarı).....	108
6.3.4. Toplam metal miktarı	109
6.3.5. Katyon değişim kapasitesi.....	110
6.4. Minyatür Deponi Gözlemleri	110
7. PLAXIS PROGRAMI.....	114
7.1. Programın Genel Özellikleri.....	114
7.1.1. Noktalar.....	114
7.1.2. Çizgiler.....	114
7.1.3. Hücreler.....	115
7.1.4. Elemanlar.....	115
7.1.5. Düğüm noktaları.....	115
7.1.6. Gerilme noktaları.....	115
7.2. Girdi (Input).....	116
7.2.1. Noktalar ve çizgiler.....	118
7.2.2. Kirişler.....	119
7.2.3. Kiriş mafsalları.....	119
7.2.4. Geotekstilller.....	120
7.2.5. Ara Yüzeyler.....	120
7.2.6. Ankrajlar.....	120
7.2.7. Tüneller.....	121
7.2.8. Sabitlemeler.....	121

7.2.9. Önceden tanımlanan yer değiştirmeler.....	122
7.2.10. Kuvvetler	122
7.2.11. Malzemelerin tanımlanması.....	123
7.2.12. Ağın oluşturulması	128
7.3. Hesaplamalar (Calculations).....	129
7.4. Çıktılar (Output)	130
7.5. Eğriler (Curves)	131
7.6. PLAXIS ile Şevlerin Stabilité Analizleri	132
7.7. Avantajlar ve Dezavantajlar	134
8. PLAXIS ANALİZİ SONUÇLARI	136
8.1. Katı Atık Depolama Sistemleri	136
8.1.1. 30 m yükseklikli ve geotekstilli katı atık dolgusu.....	136
8.1.2. 30 m yükseklikli ve geotekstilsiz katı atık dolgusu	139
8.1.3. 40 m yükseklikli ve geotekstilli katı atık dolgusu	142
8.1.4. 40 m yükseklikli ve geotekstilsiz katı atık dolgusu.....	144
8.1.5. 50 m yükseklikli ve geotekstilli katı atık dolgusu.....	147
8.1.5. 50 m yükseklikli ve geotekstilsiz katı atık dolgusu.....	149
8.2. Plaxis hesap sonuçlarının karşılaştırılması ve.....	
güvenlik sayıları.....	152
9. MİKRO-YAPISAL ÖZELLİKLER	153
9.1. Scanning (Tarama) Elektron Mikroskobu (SEM).....	153
9.2. EDX Analizi	153
9.3. Scanning (Tarama) Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları.....	153
9.4. EDX Analizi Sonuçları.....	154
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	176
KAYNAKLAR.....	180
EKLER.....	183

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Türkiye'nin Tahmini Evsel Katı Atık Kompozisyonu	7
2.2. Türkiye'nin Geri Kazanılabılır Atık Kompozisyonu	9
2.3. Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık yüzdesi	10
2.4. Nüfus gruplarına göre toplanan belediye katı atık yüzdesi	10
3.1 Katı atıklar için deponi tabanı sızdırmazlık sistemi	27
3.2 Tehlikeli atıklar için deponi tabanı sızdırmazlık sistemi	28
3.3. Sızıntı suyu toplama en kesiti	29
3.4. Tipik bir landfill için gaz toplama sistemi (EPA,1991).....	30
3.5. Tehlikeli atık deponi alanı üst örtüsü sızdırmazlık sistemi	35
3.6. USEPA'nın önerdiği tehlikeli atık deponisinde üst örtü tabaka sistemi....	35
3.7. USEPA'nın önerdiği tehlikeli olmayan atıklar için üst örtü sistemi	36
5.1. İki Boyutlu Blok Diyagram	63
5.2. Serbest basınç deney aleti	65
5.3. Üç eksenli basınç deney aleti	66
5.4. Esnek-duvarlı permeabilite hücreleri ve kontrol panelleri	67
5.5. Üç eksenli basınç deney aleti	68
5.6. Minyatür deponinin üstten görünüşü	71
5.7. Minyatür deponinin önden görünüşü	72
5.8. Geçirimsizlik malzemelerinin karıştırıldığı mikser	73
5.9. Minyatür deponi malzeme yerleşim çizelgesi	74
5.10. Mikserde karıştırılmış numunenin son hali	76
5.11. İki kat poroz kağıt yerleştirilen deponi bölmeleri	77
5.12. Geçirimsizlik malzemesinin sıkıştırılmamış hali	77
5.13. Geçirimsizlik malzemesinin sıkıştırılmadan önce bölme içerisinde	
yayılması	78
5.14. Geçirimsizlik malzemesinin sıkıştırılması.....	78
5.15. Geçirimsizlik tabakasının sıkıştırılmış ve üzeri poroz kağıt	
kaplanmış hali.....	79
5.16. Geçirimsizlik tabakasının üzerine nemli çuval ve naylon örtülmesi.....	79
5.17. Geçirimsizlik tabakasının kenarlarına silikon çekilmesi	81
5.18. Kirleticilerin hazırlanması	82

5.19. Kirleticilerin bölmelere boşaltılması	82
5.20. Minyatür deponinin naylon branda ile kaplanması	83
6.1. Sepiyolit/Zeolit = %30 Karışımının Dane Çapı Dağılım Eğrisi	86
6.2. Zeolit'in Dane Çapı Dağılım Eğrisi	86
6.3. NO=1(Cr)'in Dane Çapı Dağılım Eğrisi	87
6.4. 5 cm geçirimsizlik tabakalı krom çözeltili karışımın dane çapı	
dağılım eğrisi.....	87
6.5. 5 cm geçirimsizlik tabakalı bakır çözeltili karışımın dane çapı.....	
dağılım eğrisi.....	88
6.6. 5 cm geçirimsizlik tabakalı distile sulu karışımın dane çapı	
dağılım eğrisi.....	88
6.7. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımına ait kuru birim hacim ağırlık - su	
muhtevası ilişkisi	90
6.8. Sepiyolit/Zeolit = %30 7 ve 28 günlük kür serbest basınç grafiği	91
6.9. Sepiyolit/Zeolit = %30 7 ve 28 günlük kür serbest basınç grafiği	92
6.10. Krom çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (1).....	92
6.11. Krom çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (2).....	93
6.12. Krom çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (3).....	93
6.13. Krom çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (4).....	94
6.14. Bakır çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest	
basınç grafiği (1)	94
6.15. Bakır çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (2).....	95
6.16 Distile sulu karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (1).....	95
6.17. Distile sulu karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (2).....	96

6.18. Distile sulu karışımın (tank)16 haftalık kür serbest.....	
basınç grafiği (3).....	96
6.19. Minyatür deponi tankı numunelerinin serbest basınç	
deneyi sonuçları.....	97
6.20. q_u ile D'nin değişimi	98
6.21. q_u ile H/D'nin değişimi	98
6.22. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-p' grafikleri	101
6.23. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-logp' grafikleri	102
6.24. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-p' grafikleri.....	103
6.25. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-logp' grafikleri	103
6.26. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-p' grafikleri	104
6.27. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-logp' grafikleri.....	104
6.28. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-p' grafikleri	105
6.29. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımlarına ait e-logp' grafikleri	105
6.30. Gözlem süresi boyunca bölmelerin haftalık sızma miktarı	111
6.31. Gözlem süresi sonunda bölmelerden sızan sıvıların toplamı	111
6.32. Gözlem süresi sonunda Cr çözeltisi bulunan bölmenin görüntüsü	112
6.33. Gözlem süresi sonunda Cu çözeltisi bulunan bölmenin görüntüsü	112
6.34. Gözlem süresi sonunda Cr ve Cu çözeltileri bulunan bölmelerin.....	
görüntüsü.....	113
6.35. Gözlem süresi sonunda distile su çözeltisi bulunan bölmenin.....	
görüntüsü.....	113
7.1. Genel ayarlar (model ve eleman tipinin seçimi)	117
7.2. Genel ayarlar (birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi).....	117
7.3. Ana Pencere	118
7.4. Geometri araç çubuğu	119
7.5. Çizgiler ve demetler	119
7.6 Tünel tipi seçimi ve tünele ait açı, ve yarıçap gibi verilerin girdisi	121
7.7. Önceden tanımlanan yer değiştirme mönüsü	123
7.8. Nokta ve yayılı yükler için girdi mönüleri	123
7.9. Malzeme tanımlama mönüsü	124
7.10. Zeminler için data girdileri ve model seçimi	125

7.11. Mohr-Coulomb modelinin girdileri	126
7.12. Ara yüzey girdileri	127
7.13. Kiriş özellikleri girdileri	128
7.14. Başlangıç koşulları mönüsü	129
7.15. Hesaplama mönüsü ve hesap evreleri	130
7.17. Eğri oluşturma mönüsü	132
8.1. Deforme olmuş ağın durumu	137
8.2. Dolguda oluşan efektif gerilme.....	138
8.3. Dolguda oluşan toplam gerilme.....	138
8.4. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	139
8.5. Deforme olmuş ağın durumu	140
8.6. Dolguda oluşan efektif gerilme.....	140
8.7. Dolguda oluşan toplam gerilme	141
8.8. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	141
8.9. Deforme olmuş ağın durumu	142
8.10. Dolguda oluşan efektif gerilme	143
8.11. Dolguda oluşan toplam gerilme.....	143
8.8. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	144
8.13. Deforme olmuş ağın durumu	145
8.14. Dolguda oluşan efektif gerilme.....	145
8.15. Dolguda oluşan toplam gerilme	146
8.16. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	146
8.17. Deforme olmuş ağın durumu	147
8.18. Dolguda oluşan efektif gerilme	148
8.19. Dolguda oluşan toplam gerilme.....	148
8.20. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	149
8.21. Deforme olmuş ağın durumu	150
8.22. Dolguda oluşan efektif gerilme.....	150
8.23. Dolguda oluşan toplam gerilme	151
8.24. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı	151
9.1. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (600 X)	155
9.2. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (1000X).....	156

9.3. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (1000X)	157
9.4. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (5000X)	158
9.5. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (5000X)	159
9.6. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (10000X)	160
9.7. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı fotoğrafı (20000X).....	161
9.8. Cu ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM..... fotoğrafı (1000X)	162
9.9. Cu ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM..... fotoğrafı (5000X)	163
9.10. Cu ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM	
fotoğrafı (10000X)	164
9.11. Cu ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM	
fotoğrafı (20000X)	165
9.12. Cr ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM	
fotoğrafı (1000X)	166
9.13. Cr ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM	
fotoğrafı (5000X)	167
9.14. Cr ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM.....	
fotoğrafı (5000X)	168
9.15. Cr ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM	
fotoğrafı (20000X)	169
9.16. Cr ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM	
fotoğrafı (20000X)	170
9.17. Cr ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit = %30 numunesine ait SEM	
fotoğrafı (25000X)	171
9.18. Su bulunan bölmenin EDX analizi sonucu	172
9.19. Cu bulunan bölmenin EDX analizi sonucu	173
9.20. Cr bulunan bölmenin EDX analizi sonucu	174
10.1. Deponi dizayn önerisi	178

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Türkiye’de oluşan katı atıkların yüzde dağılımları	6
2.2 Kentsel atık miktarları	7
2.3. Kentsel atık miktarları	7
2.4. Ağırlık yüzdesi olarak tipik evsel atık kompozisyonu	8
2.5. ABD'deki kentsel katı atık üretimi	8
2.6. Çöplük alanı yer seçiminde kriterlere göre belediyeler	11
2.7. Katı atıkların oluşumuna neden olan faaliyetlerin ve atıkların oluştuğu yerlerin; kaynaklarına ve katı atık türlerine göre sınıflandırılması.....	14
2.8. Türkiye’de katı atıklara ilişkin çeşitli yerleşim merkezlerinin durumu.....	14
2.9. Çeşitli endüstrilerin üretiminde ortaya çıkan tehlikeli atıklar	17
2.10. Yakma işlemi sırasında oluşacak gaz emisyon değerleri	21
3.1. Tehlikesiz katı atık deponi tabanı geçirimsizlik sistemlerinin çeşitli..... ülkelerdeki değerleri	27
3.2. Deponi alanı üst örtü tabakasındaki malzemeler ve işlevleri	33
4.1. 1.Eskişehir – Sepetçi, 2. Konya-Yunak, 3. Eskişehir – Sivrihisar,..... 4. Vallecas Sepiyoliti-İspanya 5. Bolu - Kıbrısık.....	38
4.2. Sepiyolitin değişik absorbantlar ile belirlenmiş yüzey alanı değerleri ...	40
4.3. ASTM standartlarına göre granüle edilmiş sepiyolitin absorpsiyon özellikleri	40
4.4. Sepiyolite ait bazı katyon değişim kapasitesi değerleri.....	41
4.5. Tipik kil minerallerinin pH=7'deki KDK değerleri	42
4.6. İşlenmiş sepiyolitin viskozite ve tiksotropi indeksi değerleri	43
4.7. TOLSA ürün standartları	43
4.8. Sepiyolit sektöründe önemli kuruluşlar	45
4.9. Sepiyolit sektöründe kurulu kapasite durumu.....	46
4.10. Zeolit sektöründe önemli kuruluşlar	54
4.11. A.B.D, Avrupa ve Türkiye’de zeolitlerin kullanıldığı sektörlere göre..... Standart hale gelmiş özellikleri	54
4.12. Çeşitli ülkelerde zeolit satış fiyatları	55
4.13. Zeolit fiyatları.....	55

4.14. Önemli ağır metallerin ekolojik açıdan sınıflandırılması	56
4.15. Bazı ağır metallerin kaynakları	57
4.16. Toprakta ağır metallerin doğal miktarı	58
5.1. Arazi uygulamalarında kullanılan malzeme miktarları.....	75
6.1. Sepiyolit ve zeolit karışımlara ait dane özgül ağırlıkları	85
6.2. Dane çapı dağılımı sonuçları	89
6.3. Sepiyolit, zeolit ve karışımlara ait Atterberg kıvam limitleri	
değerleri	90
6.4. Sepiyolit/zeolit = %30 karışımına ait kuru birim hacim ağırlığı ve	
optimum su muhtevaları	90
6.5. Serbest basınç deney sonuçlarının kıyaslanması	92
6.6. Çap ile serbest basınç dayanımlarının değişimi	98
6.7. Permeabilite katsayıları	100
6.8. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları	100
6.9. Serbest basınç ve üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	100
6.10. Konsolidasyon deneyi sonuçları	102
6.11. Minyatür deponi tankı numunelerine ait konsolidasyon deneyi.....	
sonuçları.....	106
6.12. Minyatür deponi numunelerinin pH değerleri	107
6.13. Sepiyolit, kaolinit ve karışımlara ait EC değerleri	108
6.14. Minyatür deponi numunelerinin ateşte kayıp miktarları	109
6.15. Minyatür deponi numunelerine ait ağır metal değerleri	109
6.16. Minyatür deponi geçirimsizlik tabakalarının katyon değişim	
kapasiteleri	110
8.1. Girilen zemin parametreleri	137
8.2. Kullanılan geotekstilin özellikleri	137
8.3. Plaxis analizi sonuçları ve hesaplanan güvenlik sayıları.....	152
9.1. Su bulunan bölmenin EDX analizi sonucu	172
9.2. Cu bulunan bölmenin EDX analizi sonucu.....	173
9.3. Cr bulunan bölmenin EDX analizi sonucu	174
9.4. EDX analizi sonuçlarının karşılaştırması	175
10.1. Nüfusa bağlı deponi dizayn önerileri.....	179

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

PI	: Plastisit indisi
mS/cm	: miliSimens/cm
LL	: Likit limit
PL	: Plastik limit
ASTM	: Anerican Society of Testing Materials
EPA	: Environmental Protection Agency of United States of America
MSW	: Municipal Solid Waste
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
SEM	: Scanning Electron Microscopy
KDK	: Katyon değişim kapasitesi
EI	: Elektriksel iletkenlik
S	: Sepiyolit
Z	: Zeolit
S/Z	: Sepiyolit ve Zeolit karışımı
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
p	: Basınç
k	: Permeabilite
C_c	: Sıkışma katsayısı
C_s	: Şişme veya kabarma indisi
C_v	: Konsolidasyon katsayısı
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
a_v	: Sıkışma sayısı
Cu	: Drenajsız kayma mukavemeti
α	: Adezyon faktörü
e	: Boşluk oranı
ϕ	: Efektif içsel sürtünme açısı
E	: Elastisite
EI	: Eğilme rijitliği
EA	: Eksenel rijitlik
τ	: Gerilme

- ν : Poisson oranı
 γ : Birim hacim ağırlık
 k_x : X yönündeki permeabilite
 k_y : Y yönündeki permeabilite
HDPE : Yüksek yoğunluklu polietilen
 C_c : Sıkışma indisi
 C_s : Kabarma indisi
 a_v : Sıkışma sayısı
 m_v : Hacimsel sıkışma katsayısı
 C_v : Konsolidasyon katsayısı

1.GİRİŞ

1.1. Giriş

İnsan nüfusundaki artış ve buna paralel olarak, üretim ve tüketimin artması sonucunda oluşan atık miktarları da artmaktadır. Yer küreyi ve tüm canlıları tehdit eden bu atıkların bertarafı ve bununla ilgili alınması gereken önlemler insanların sorumluluğu ve sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ekolojik dengeyi bozmadan oluşan atıklardan yerküreyi korumak, atıkları kontrol altında tutarak ve geri dönüşümlerini sağlayarak mümkün olmaktadır. Atıkların bertarafında kullanılan en yaygın yöntem düzenli depolamadır. Atık deponi alanlarını projelendirmek ve bu projeleri tatbik etmek, mühendislerin ve bilim adamlarının yapması gereken bir iştir.

Düzenli atık deponilerinin amacı, yeraltı sularını ve yüzeysel suları korumak, yanmaları ve patlamaları önlemek, koku ve gürültü sorununu ortadan kaldıracaktır. Burada en hassas kısım yeraltı sularının kirlenmesini önlemektir. Bu bakımdan deponi alanlarında geçirimsiz tabakaların oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Geçirimsiz tabakayı oluşturan malzemelerin seçimi, atık özelliklerini ve ekonomikliği göz önüne alınarak, iyi bir laboratuvar çalışması sonucunda yapılmalıdır.

Geçirimsizlik tabakalarının teşkilinde kil tabakalar, geosentetik kil tabakalar ve geomembran tabakalar kullanılabilmektedir. Kil tabakalar, doğal kil tabakalar veya sıkıştırılmış kil tabakalar şeklinde kullanılmaktadır. Doğal kil tabakaların düzenli jeolojik yapıları olduğunu ve permeabilitelerinin tüm doğrultularda uniformluk gösterdiğini ispatlamak çok pahalıya mal olmakta ve çeşitli zorlukları bulunmaktadır. Bu nedenle doğal tabakaların yalnız başlarına kullanılmaları önerilmemektedir. Sıkıştırılmış kil tabakalar ince tabaka parçaları halinde inşa edilmektedirler. Yamaç şevleri, şeve paralel yada yatay tabakalardan oluşturulmaktadır.

Kompaksiyonla yapılan sıkıştırma zemin dokusundaki boşlukları gidererek homojen ve sürekli bir yapı oluşturulmasını amaçlamaktadır. Bu şekilde uygun zemin birimlerinin sıkıştırılmasıyla gerekli olan düşük permeabilite değeri elde

edilebilmektedir. İstenilen permeabilitenin sağlanmasında, zeminin doğal su muhtevası, kompaksiyon yöntemi ve uygulanan enerji ana faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yeni bir malzeme sayılabilecek geosentetik kil tabakalar özel yöntemlerle fabrikalarda üretilmektedir. Geosentetik kil tabakanın yapısı iki geotekstil arasına veya tek geomembranın bir yüzüne sıkıştırılarak yapılandırılmış kilden oluşmaktadır. Geosentetiklerin kullanımı ekonomik olmamasından dolayı yaygın değildir [1].

1.2. Önceki Çalışmalar

Deponi alanı dizaynı, çok amaçlı çalışma gerektiren ve değişik malzemelerin kullanılabilirdiği bir konudur. Bu bakımdan geçirimsiz kil tabakaları ile bu tabakalarda kullanılabilecek alternatif malzemeler üzerine günümüze kadar bir çok çalışma yapılmıştır.

Simon ve Müller, 2004 yılında bir çalışmalarında, Almanya’da standart ve alternatif toprak dolgu örtüsü dizaynında kullanılabilecek malzemelerden ve dizayn kriterlerinden bahsetmişlerdir [2].

Jain, Kim ve Townsend, 2005 yılında yapmış oldukları bir çalışmada şehir katı atık deponi zemininde oluşan ağır metal içeriklerinden bahsetmişler ve eski ve yeni şehir katı atık numunelerinin metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir [3].

Alyanak, İmançlı ve Haldenbilen, 2004 yılında yapmış oldukları bir çalışmalarında katı atık depolama yeri düzenlenmesinde geoteknik ve yasal kurallardan bahsetmişler ve çeşitli uygulamalardan örnekler vermişlerdir [4].

Qian ve Koerner, 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada görünen kohezyonun deponi ötelenme hata analizleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kohezyonun ve malzemelerin içsel sürtünme açılarının güvenlik sayısına etkilerini belirlemişlerdir [5].

Kaoser, Barrington ve Elektorowicz 2000 yılında yapmış oldukları çalışmada Amerika ve Kanada da şehir katı atıklarını içeriklerini belirlemişler, ağır metallerin kaynakları ve etkileri üzerine çalışmalar yapmışlardır [6].

Saka ve Tuncan, 2002 yılında yapmış oldukları çalışmada endüstriyel atıkların çöp deponi alanı dizaynında değerlendirilmesini incelemişlerdir. Yaptıkları laboratuvar çalışması sonucunda deponi alt, üst ve yan geçirimsizlik tabakalarında endüstriyel atıkların kullanılabilceğini belirlemişlerdir [7].

Tuncan ve ark., 2003 yılında yaptıkları çalışmada, çöp deponi alanında geçirimsizlik tabakası olarak doğal zeolitlerin kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Farklı oranlardaki bentonit ve zeolitleri (B/Z) optimum su muhtevalarında sıkıştırarak mukavemet parametreleri, permeabiliteleri, pH, ağır metaller ve diğer özelliklerine bakmışlardır. Düşük permeabilite ve yüksek katyon değişim kapasitesi göz önünde bulundurularak B/Z karışımının 0,10 oranının ideal çöp deponi alanı tabaka malzemesi olarak kullanılabilceğini belirlemişlerdir [8].

Kaya ve Durukan, 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada, bentonitli zeolitten geçirimsiz kil tabakası olarak faydalanma konusunu incelemişlerdir. Na-bentonit, Ca-bentonit ve doğal zeolitin adsorpsiyon özellikleri, Na-bentonit ve doğal zeolitin katyon değişim kapasitesi, hacimsel büzülme, kompaksiyon karakteristikleri ve karışımların permeabilitelerini araştırmışlardır [9].

Özdemir, 2004 yılında yapmış olduğu çalışmada sepiyolitın çöp deponi tabakalarında kullanılabilirliğini belirlemiştir. Sepiyolit malzemesiyle birlikte kaolinit kilini de kullanmıştır. Sepiyolit malzemesinin çöp deponi alanı tabakalarında kullanılabilirliğini belirlenmek amacıyla, sepiyolit ve oluşturulan karışımlar için indeks deneyleri, mekanik deneyler ve fizikokimyasal deneyler yapmıştır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Büyük çoğunluğu endüstrilerin üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan tehlikeli atıkların bertaraf edilmesi, canlı sağlığı ve ekolojik dengeler açısından büyük önem taşımaktadır. Düzenli depolama, tehlikeli atıkların kontrol altında tutulabilmesi için gerekli olan bir yöntemdir. Geosentetik ve geomembranların kullanımının, uzun süreli stabilite ve sızıntı açısından nasıl davranacağını kesin olarak bilinmemesinden ve maliyeti bakımından düzenli depolama alanlarının

geçirimsizlik tabaka sistemlerinde kullanım zorluğu vardır. Sıkıştırılmış kil tabakalar etkin maliyetleri, yüksek kirlilik tutma kapasiteleri, hasara, delinmeye karşı dirençlerinden dolayı geniş kullanıma sahiptirler. Deponi geçirimsizlik tabakalarında kullanılan malzemenin, kirliliği önleyebilmesi için düşük permeabilite ve yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca araziye tatbik edilecek olan deponi sistemleri gerekli stabiliteye sahip olmalıdırlar. Stabilite analizleri sonlu elemanlar metodunu kullanan çeşitli bilgisayar programları ile yapılabilmektedir.

Deponi geçirimsizlik tabanlarında kullanılması öngörülen malzemeler laboratuvar deneyleri yardımı ile belirlendikten sonra, gerekli stabilite analizleri de yapılmalıdır. Bu iki adım arazi uygulamaları için yeterli olmamaktadır. Seçilen malzemenin ve dizayn edilen deponi sisteminin uygulanabilir olması gerekmektedir. Bu yüzden kesin uygulamaya geçilmeden ön arazi uygulamaları yapılmalıdır. Bu çalışmada da, sepiyolit/zeolit = %30 (Kabakçı, 2004) karışımı kullanılarak, Plaxis programı ile stabilite analizleri yapılmış ve minyatür deponi tankı yardımıyla uygulanabilir bir deponi alanı geçirimsizlik tabakası dizaynının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. ATIKLAR

2.1. Katı Atıklar

Katı atık, üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu ifade eder [10]. Artan nüfus, gelişen sanayileşme ve yükselen hayat standardı sonucunda üretilen katı atıkların miktarlarında artış gözlenmiş ve kompozisyonları değişmiştir. Nüfus artışı tüketimin artmasına, yaşam standartlarının yükselmesi de tüketim alışkanlıklarının değişmesine neden olmaktadır. Atık kompozisyonlarındaki değişim daha çok kağıt, karton, cam, metal ve plastik gibi değerlendirilebilen atıkların çöp içindeki oranının artışı; organik atıklar ile kül ve cüruf oranlarının ise azalışı şeklinde olmuştur. Sonuçta miktarları gittikçe artan katı atıklar, önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir.

2.1.1. Türkiye’de katı atıkların durumu

Ülkemizde katı atıkların toplanması, taşınması ve insan sağlığına zarar vermeden bertaraflarına ilişkin yükümlülük, yetki ve sorumluluklar 1580 ve 3030 sayılı kanunların ilgili maddeleri gereğince belediyeler ile büyükşehir belediyelerine verilmiştir. Bunun yanında Çevre Bakanlığınca hazırlanarak yürürlüğe konulan 14.03.1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile de atık yönetimi konusunda belediyelere önemli sorumluluklar verilmektedir. Yönetmelikte de belirtildiği üzere ülkemizdeki atık yönetiminin temel ilkeleri atıkların kaynağında azaltılması, atıkların geri kazanılması ve atıkların çevreye zarar vermeden bertaraflarının sağlanmasıdır [11].

Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE)’nin 2001 yılı Belediye katı atık istatistikleri anketi sonuçlarına göre 3215 belediyeden 2915 belediyede katı atık toplama hizmeti verildiği tesbit edilmiştir (EK- 1).

Katı atık hizmeti verilen belediyelerden 2001 yılı yaz mevsiminde ortalama 12,5 milyon ton, kış mevsiminde ortalama 12,6 milyon ton ve yıllık ortalama 25,1

milyon ton katı atık toplandığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre kişi başı günlük ortalama katı atık miktarı, yaz mevsimi için 1,28 kg/kişi-gün, kış mevsimi için 1,32 kg/kişi-gün ve yıllık ortalama ise 1,31 kg/kişi-gün olarak bulunmuştur (Şekil 2) [12].

Üretilen katı atıkların kompozisyonu ise mevsimlere, yerleşim yerlerine ve bu yörelerde yürütülen sosyo-ekonomik faaliyetlere göre hem nitelik hem de nicelik olarak değişim göstermektedir. Türkiye’de oluşan katı atıkların yüzde dağılımı Çizelge 2.1’de verilmiştir. Ayrıca DİE’nin 1993 (Temmuz-Aralık) yılında 11 büyükşehir ve merkez belediyesinde (Adana, Ankara, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Samsun, Bursa, Gaziantep, İskenderun, Kayseri, Konya) kompozisyon belirleme çalışmaları yapmıştır. Türkiye kompozisyonunda belirtilen parametrelerin değerleri 11 ilin aynı parametrelerinin aritmetik ortalamalarıdır. Buna göre Türkiye’nin tahmini evsel katı atık kompozisyonu da Şekil 2.1.’de verilmektedir. Genelde evsel katı atıkların % 50’den fazlası kağıt ve yiyecek atıklarından meydana gelmektedir [13].

DİE’nin 1993 yılında yapmış olduğu hane halkı katı atık kompozisyon araştırması eğilim anketi sonuçlarına göre kentsel atıkların kompozisyonu Çizelge 2.2.’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye’de oluşan katı atıkların yüzde dağılımları [14]

Katı atık	Büyük kent (%)	Orta kent (%)	Küçük kent (%)	Turistik kent (%)	Kırsal kent (%)
Yiyecek atıkları	21,5	18,6	16,7	22,5	12,8
Kağıt-karton	11,0	10,0	5,2	13,0	2,3
Plastik	3,0	2,0	1,0	5,6	0,9
Naylon	1,3	1,5	1,2	3,1	1,2
Metal-teneke	1,7	1,5	1,0	2,1	1,7
Cam	1,7	1,0	1,0	4,6	1,7
Deri	0,7	0,6	0,3	1,6	0,9
Kemik	1,3	2,3	1,2	1,6	2,6
Lastik	2,6	0,5	0,3	1,6	1,2
Taş-toprak	1,6	3,0	4,6	2,1	9,9
Odun	0,7	0,3	0,3	0,8	-
Tekstil	1,6	1,8	1,5	2,0	-
Bahçe atıkları	3,5	5,0	6,1	8,9	6,9
İnce çöpler	48,1	52,2	50,4	31,0	59,4



Şekil 2.1. Türkiye'nin tahmini evsel katı atık kompozisyonu

Çizelge 2.2. Kentsel atık miktarları (1993) [15]

Kentsel Atıkların Kompozisyonu								
Yıl	Kişi B.	Kağıt ve Karton	Tekstil	Plastik	Cam	Metal	Organik madde	Diğer
	Kg/yıl	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1993	539	6,47	0,56	2,55	2,12	1,13	64,15	23,02

Türkiye'de ve bazı batı ülkelerinde kişi başına üretilen atık ve kentsel atık miktarları arasındaki karşılaştırma Çizelge 2.3'de verilmiştir. Dünyadaki tipik evsel atık kompozisyonu da Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Kentsel atık miktarları [16]

	Kişi başına (kg)	Kağıt ve karton	Plastik	Cam	Metal	Diğer
	1989	1980 1985	1980 1985	1980 1985	1980 1985	1980 1985
Türkiye	353	8,5 9,3	1,9 2,3	1,6 1,6	1,7 1,7	86,3 83,5
Kanada	625	36,5 36,5	4,7 4,7	6,6 6,6	6,6 6,7	45,7 45,7
ABD	864	29,7 34,7	5,3 6,7	10,3 9,0	9,6 8,8	45,1 40,8
Fransa	303	28,0 27,5	6,0 4,5	11,0 7,5	5,0 6,5	50,0 54,0
B.Almanya	318	19,9 17,9	6,7 5,4	11,6 9,2	3,9 3,2	58,5 64,3
İtalya	301	22,5 22,3	6,8 7,2	6,7 6,2	2,9 3,1	61,4 61,6
İspanya	322	15,0 15,0	6,0 6,0	6,0 6,0	2,5 2,5	70,5 70,5

ABD her yıl 180 milyon metrik tonun üzerinde katı atık üretmektedir. ABD'deki 1996 yılından itibaren kentlere ait katı atık üretimleri Çizelge 2.4'de listelenmiştir

Türkiye'nin geri kazanılabilir atık kompozisyonu ise Adana, Ankara, Diyarbakır, İstanbul, İzmir ve Samsun illerinde yapılan çalışmaların ortalamalarının sonucu olarak Şekil 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Ağırlık yüzdesi olarak tipik evsel atık kompozisyonu [17]

Bileşim	Ülke veya Şehir*														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Metaller		1	1	9	3	3		3		5	7		2	8	10
Kağıt ve Karton	37	25	5	45	33	3	38	10	14	22	32	14	8	30	37
Plastikler			1	2			8				3				7
Lastik,Deri,Ahşap		7	1		7	2	12	4		3	7		3	1	6
Dokumalar		3		1	10						4		4	2	2
Yiyecek artıkları	45	44	45	25	15	60	18	74	56	20	36	50	25	16	26
Cam		1	1	11	10	2		7		6	4		3	8	10
Anorganikler	18	19	46	7	22	30	24	2	30	43	7	21	55	35	2

* 1, Avustralya; 2, Bangkok; 3, Pekin; 4, Berkley,CA; 5, Hong Kong; 6, Jakarta; 7, Japonya; 8, Güney Kore; 9, Madras, Hindistan; 10, New York; 11, Singapur; 12, İspanya; 13, Tayvan; 14, İngiltere; 15 ABD

Çizelge 2.5 ABD'deki kentsel katı atık üretimi (USEPA, 1999) [1]

Yıllar	Kentsel Katı Atık Üretimi
1960	79,92
1970	109,8
1980	137,54
1990	186,13
1994	194,26
1995	191,7
1996	189,74
1997	196,79
2000	202,470*
2005	217,260*
*Öngörülen	

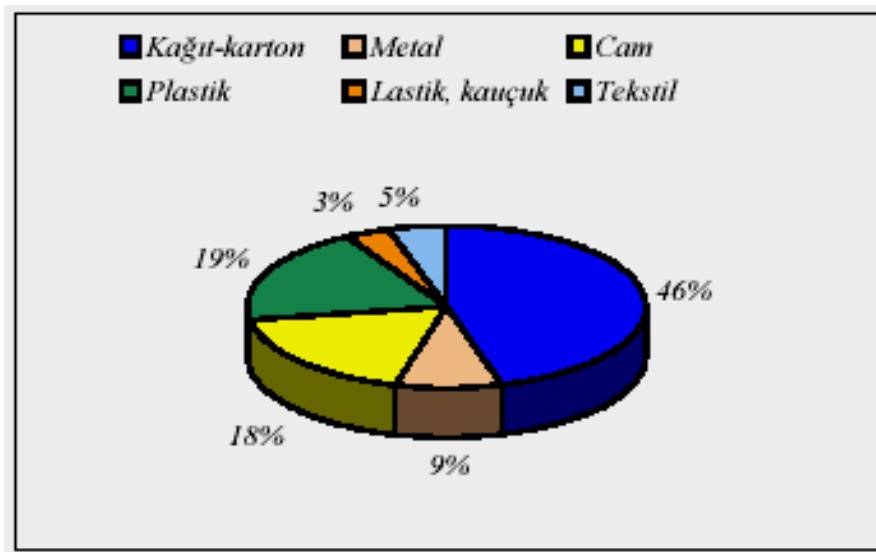
2.1.2. Katı atıkların bertarafı

Katı atıkların bertarafı sırasında belediyeler ve yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar işlettikleri katı atık tesislerinin faaliyetlerinin planlanmasında ve işletilmesinde; insanların ruh ve beden sağlığına, hayvan sağlığına, doğal bitki örtüsüne, yeşil alanlara ve binalara, toplumun düzeni ve emniyetine, yeraltı ve yüzeysel su alanları ile su rezerv sahalarına zarar vermeyecek ve hava, gürültü yönünden çevre kirlenmesini önleyecek uygun tedbirleri almak zorundadırlar [10].

Katı atıklar yakma, düzenli depolama, kompost yapma ve geri kazanım gibi işlemlere tabi tutularak bertaraf edilirler. Atıklar hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan veya diğer ara işlemlerin yan ürünleri (kül, kompost artığı, vs) olarak depolanmakta veya gömülmektedir.

Buna karşılık en ekonomik yatırım ve işletme maliyetine sahip olması, miktara göre kapasitesinin kolaylıkla artırılabilmesi, kapatılan arazinin rekreasyon amaçlı kullanılabilmesi ve en önemlisi nihai imha metodu olması nedeniyle ülkemiz şartlarına en uygun ve önerilen bertaraf yöntemi düzenli depolamadır.

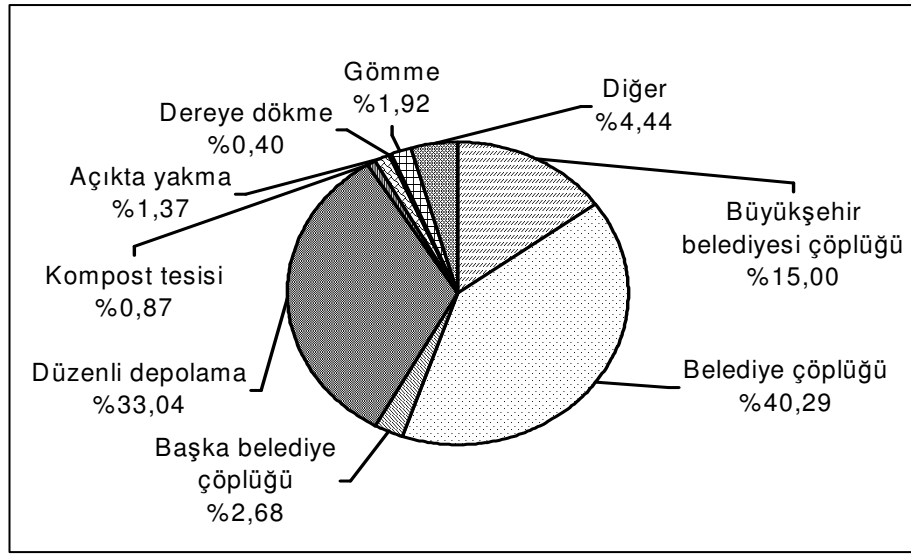
Bununla birlikte, atıkların toplanması ve taşınması hizmetlerini genel olarak başarıyla yürüten belediyeler, atıkların geri kazanımı ve bertarafları konularında halen arzulanan hizmet ve yatırımları yapmaktan uzaktırlar.



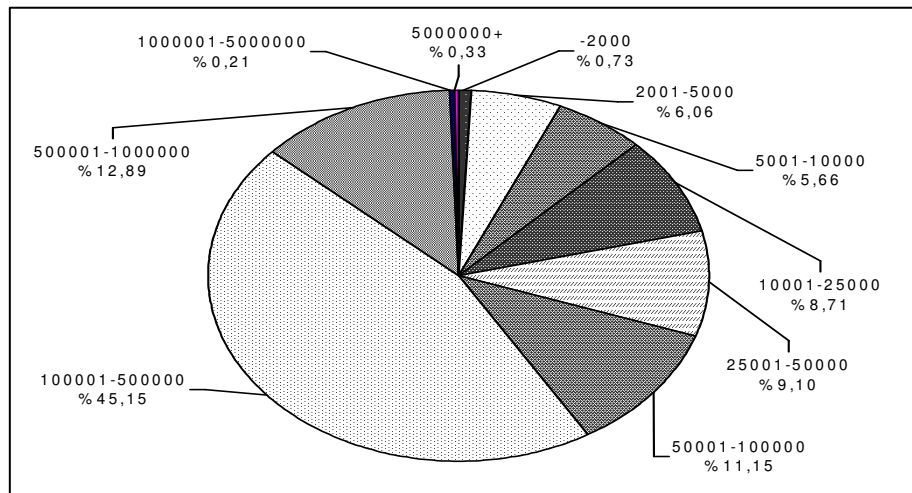
Şekil 2.2. Türkiye'nin geri kazanılabilir atık kompozisyonu [11]

Bunun sonucunda ise özellikle yer seçimi doğru yapılmamış, tekniğine uygun olarak inşa edilmemiş ve düzensiz depolama yapılan çöp döküm sahaları su, hava ve toprak kirliliğine yol açmaya başlamışlardır. Bu olumsuzlukları yeraltı ve yerüstü su kirliliği, toprak kirliliği, depo gazının meydana getirdiği patlama ve yangın riskleri, görüntü kirliliği, taşıyıcı ve haşere üremesi, çevreye koku ve toz yayılması şeklinde sıralamak mümkündür.

Belediyelerin katı atıkları bertaraf yöntemi Şekil 2.3' de, nüfus gruplarına göre toplanan belediye katı atık yüzdesi de Şekil 2.4' de verilmiştir.



Şekil 2.3. Bertaraf yöntemine göre belediye katı atık yüzdesi [12]



Şekil 2.4. Nüfus gruplarına göre toplanan belediye katı atık yüzdesi [12]

DİE'nin 1997 yılında yapmış olduğu Belediye Çevre Envanteri geçici sonuçlarına göre; 35 belediye yeni çöplük alanı açmış olup, bu alanların yerlerini belirlerken de 7 belediye jeolojik, topoğrafik, hidrolojik ve meteorolojik etüdlerini yaptırmış, 28 belediye ise bu etütleri yaptırmamıştır. Yine bu anket sonuçlarına göre; 38 belediye Katı Atık Yönetmeliğine uygun olarak tedbirler almış, 127 belediye ise kısmen yönetmeliğe uymuştur. Çöplük alanı yer seçiminde belirlenen kriterlere göre yer seçimi yapan belediyeler ve hangi kriterleri dikkate aldıklarına ilişkin bilgiler Çizelge 2.6' de verilmiştir.

2.1.3. Katı atık depolama alanları

Katı atıklar, hafriyat toprağı hariç olmak kaydıyla evsel katı atık depolama sahasına depolanır. Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların öncelikle geri kazanılması esastır. Geri kazanmanın ekonomik ve teknik olarak mümkün olmaması halinde, atıklar çevrenin sağlığının korunması, katı atık hacminin azaltılması, kısmen enerji veya kompost elde edilmesi amacıyla termik veya biyolojik işlemlere tabi tutulur. Ancak termik veya biyolojik işlemlere elverişli olmayan veya bu işlemler sonucu yan ürün olarak ortaya çıkan atıkların depolanması zorunludur. Bu amaçla belediyeler 1580 sayılı Belediyeler Kanunu gereğince katı atıklar için yapılan depolarda aşağıdaki hususları gözönünde bulundurulur [10].

Çizelge 2.6. Çöplük alanı yer seçiminde kriterlere göre belediyeler [15]

İller	Taşıma mesafesi	Kapasite	Ulaşım durumu	Arazinin nihai kullanımı	Topoğrafya	Yerel ve çevresel faktörler	Meteorolojik özellikler
Amasya	X	X	X	X	X	X	X
Balıkesir	X	X	X	X	X	X	
Çanakkale	X	X			X	X	
Kayseri		X		X	X	X	
Kocaeli	X	X	X	X	X	X	X
Yozgat	X	X	X	X	X	X	X
Karaman		X	X				

Evsel atıkları düzenli depolamak amacıyla inşa edilen depolara, insan ve çevre sağlığını korumak amacıyla;

- 1) Sıvıların ve sıvı atıkların,
- 2) Akıcılığı kayboluncaya kadar suyu alınmamış arıtma çamurlarının,
- 3) Patlayıcı maddelerin,
- 4) Hastane ve klinik atıklarının,
- 5) Hayvan kadavralarının,
- 6) Depolama esnasında aşırı toz, gürültü, kirlenmeye ve kokuya sebep olabilecek atıkların,
- 7) Radyoaktif madde ve atıkların,
- 8) Tehlikeli atık sınıfına giren katı atıkların,

depolanması yasaktır [10].

Ülkemizde, özellikle İstanbul, Bursa, İzmit gibi Büyükşehir belediyelerinin yaklaşımları ile atık yönetimi konusunda önemli bazı adımlar atılmıştır. Öncelikle atıkların düzensiz ve kontrolsüz olarak depolandığı döküm sahalarının kapatılması ve rehabilitasyonu ile başlayan, daha sonra yeni düzenli depolama sahaları ve geri kazanım tesislerinin kurulmasına doğru ilerleyen önemli çalışmalar ve yatırımlar yapılmaktadır.

Bu kapsamda ülkemizdeki katı atık bertaraf tesislerinin son durumu aşağıda özetlenmektedir:

a) Düzenli Depolama Yapan Belediyeler:

Antalya-Patara, Balıkesir, Bursa, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Kocaeli, Mersin.

b) İnşaat Aşamasında Olan Belediyeler:

Ankara, Aydın-Didim, İzmir -Foça, Muğla-Göcek.

c) Çevre Bakanlığından ÇED Olumlu Belgesi Almış Olan Belediyeler:

Adapazarı, Antalya, Muğla-Fethiye, Isparta, İzmir-Çeşme, Konya, Nevşehir, Rize, Trabzon.

d) Düzenli Depolama Tesisi İçin Ön ÇED ve ÇED Raporu Hazırlayan Belediyeler:

Adıyaman, Afyon, Antalya-Belek, Muğla-Fethiye, Antalya-Kekova, Aydın-Datça, Batman, Diyarbakır-Bismil, Diyarbakır-Silvan, Gaziantep-Nizip,

Kilis, Mardin-Kızıltepe, Mersin-Göksu, Muğla-Göcek, Muğla-Gökova, Nevşehir-Ihlara, Siirt, Şırnak, Ş.Urfa-Viranşehir.

e) Kompost Tesisi Olan Belediyeler:

Antalya-Kemer, İçel, İzmir.

f) Kompost Tesisi ÇED Raporu Hazırlayan Belediyeler:

Antalya-Serik, İstanbul.

g) Rehabilitesi Biten ve Halen Devam Eden Eski Çöp Alanları:

Adana, Bursa, İstanbul.

Görüldüğü gibi son yıllarda düzenli depolama yapan belediye sayısı sadece 8 olup, bu sayının hızla artırılarak yeni düzenli depolama sahalarının işletmeye açılması ve düzensiz çöp depolama sahalarının da rehabilite edilmesi gerekmektedir.

Buna karşılık belediyelerin, katı atık yönetim hizmetlerinin yürütülmesinde mali, idari, hukuki ve teknik olmak üzere pek çok problemleri bulunmaktadır. Özellikle mali konulardaki sorunlar, yatırımların önündeki en büyük etkindir. Belediyelerin mevcut finansman kaynaklarının yeterli olmaması, mali açıdan kendi kendilerine yetmeye teşvik edilmemeleri, düzenli muhasebe sistemlerinin olmaması bu mali sorunlardan sadece birkaçıdır. En büyük sorun ise, belediyelerde atık yönetim hizmetlerinden sorumlu olacak, kendine ait özel bir bütçesi ve yatırım programı olan, kendi kendini finanse edebilen üst düzeyde bir tüzel kişiliğin bulunmamasıdır.

Türkiye’de katı atıkların oluşumuna neden olan faaliyetlerin ve atıkların olduğu yerlerin kaynaklarına ve katı atık türlerine göre sınıflandırması Çizelge 2.7’ de verilmiştir. Türkiye’de katı atıklara ilişkin çeşitli yerleşim merkezlerinin durumu ise Çizelge 2.8’de verilmiştir. ABD’de atıklar, karada dolgu, yüzeysel biriktirme, yere uyumlandırma, derin kuyu enjeksiyon, vb yöntemlerle depolanmaktadır.

Çizelge 2.7. Katı atıkların oluşumuna neden olan faaliyetlerin ve atıkların oluştuğu yerlerin; kaynaklarına ve katı atık türlerine göre sınıflandırılması [18]

Kaynak	Katı Atıkların oluşumuna neden olan araçlar, faaliyetler ve atıkların oluştuğu yerler	Katı Atık Türleri
Evsel	Meskun bölgelerde özel konutlardan, az, orta ve çok katlı apartmanlardan, v.b.	Çöpler, yemek artıkları, kül ve diğer özel atıklar
Ticari	Dükkanlardan, marketlerden, lokanta ve otellerden, iş merkezlerinden, bürolardan, sanayi sitelerinden, matbaalardan, hastane ve kliniklerden, vb.	Çöpler, yemek artıkları, küller, yıkım ve onarım atıkları, diğer özel atıklar.
Kentsel	Yukarıda sıralanan maddeleri kapsar	Yukarıda sıralanan maddeleri kapsar
Endüstriyel	İnşaat sektörü, harfiyat ve onarım işleri, fabrikalar, hafif ve ağır sanayi sektörü, rafineriler, kimyasal fabrikalar, ağaç sanayi, madencilik, enerji sektörü, vb.	Çöpler, yıkım ve onarım atıkları, bazı özel atıklar, bazı tehlikeli ve zehirli atıklar
Aritma tesisi	Su, pis su ve endüstriyel arıtım işlemleri	Aritma tesisi atıkları, genelde yarı katı haldeki zararsız atıklar

Çizelge 2.8. Türkiye’de katı atıklara ilişkin çeşitli yerleşim merkezlerinin durumu [15]

	Yazın günlük Katı atık miktarı (kg/gün)	Kışın günlük Katı atık miktarı (kg/gün)	Bertaraf yöntemi
Adana	1367000	1707000	Büyükşehir belediyesinin çöplüğünde gömerek
Adapazarı	250000	280000	Belediye çöplüğü
Afyon	160000	287000	Belediye çöplüğü
Ankara	3585000	4335000	Büyükşehir belediyesinin çöplüğünde
Antakya	201000	156000	% 62’ si Belediye çöplüğüne, % 37’ si açıkta yakarak
Antalya	1407000	1053000	Büyükşehir belediyesinin çöplüğünde
Amasya	300000	350000	Belediye çöplüğü
Merzifon	60000	90000	Belediye çöplüğünde gömerek
Balıkesir	550000	700000	Belediye çöplüğü
Çorum	200000	375000	Belediye çöplüğü
Erzurum	243000	284000	Büyükşehir belediyesinin çöplüğünde
Giresun	100000	70000	Belediye çöplüğünde dolgu yaparak
İstanbul	14818000	15323000	% 49’u düzenli depolama, % 51’ i Büyükşehir belediyesi çöplüğünde
İzmir	2696000	2696000	% 85’ i düzenli depolama, % 15’ i kompost tesisinde
Konya	770000	1099000	Büyükşehir belediyesinin çöplüğünde
Mersin	386000	382000	% 78’ i düzenli depolama, % 22’ i kompost tesisinde
Muğla	110000	130000	Belediye çöplüğü
Bodrum	210000	100000	Belediye çöplüğü
Marmaris	209000	189000	Belediye çöplüğü
Kuşadası	125000	105000	Belediye çöplüğü
Rize	75000	55000	Belediye çöplüğü
Samsun	478000	403000	Belediye çöplüğü
Bafra	250000	200000	Belediye çöplüğü
Sinop	100000	70000	Belediye çöplüğü
Trabzon	250000	275000	Belediye çöplüğü
Urfa	410000	410000	Belediye çöplüğü

2.2. Tehlikeli Atıklar

Patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, suyla temas halinde parlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici, organik peroksit içerikli, zehirli koroziv, hava ve su ile temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik özellik taşıyan ve ilgili Bakanlıkça tehlikeli ve zararlı atık olduğu onaylanan atıkları ifade eder [10]. EPA (ABD Çevresel Koruma Örgütü)'nın tanımına göre bir atığın tehlikeli atık sınıfına girebilmesi için; yanma, korozivite, reaktivlik ve zehirlilik gibi temel özelliklerinin olmasını öngörür.

2.2.1. Türkiye’de tehlikeli atıkların durumu

Gelişmiş ülkelerden ülkemize olan yasadışı atık trafiğinin önlenmesi amacıyla 1989 yılında “Basel Sözleşmesi” imzalanmış ve 1994 yılında onaylanmıştır. Ülkemizde tehlikeli atık yönetim sisteminin oluşturulması amacıyla Çevre Kanunu ve Basel Sözleşmesi esas alınarak “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY)” hazırlanmış ve 27.08.1995 tarih ve 22387 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Bu yönetmelikte tehlikeli atıklar genel kategorileri, muhtemel kaynakları, bileşenleri ve türleri itibarıyla sınıflandırılarak tanımlanmış olup, her bir atık kategorisi için tehlike özellikleri ve yasal bertaraf yöntemleri verilmiştir.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde Çevre Bakanlığına, Valiliklere, atık üreticilerine ve bertarafçılarına çeşitli görev ve sorumluluklar verilmiştir. Bu görevlerden en önemlileri aşağıda sıralanmaktadır.

*** Çevre Bakanlığı:**

Bölgesel atık yönetimi planını oluşturmakla,
Geri kazanım ve nihai bertaraf tesislerine lisans vermekle,

*** Belediyeler:**

Atık yönetimine ilişkin plan ve programları hazırlamakla ve kurulacak sistemi öneri halinde Mahalli Çevre Kuruluna sunmakla,

*** Valilikler:**

Atık Yönetimi Planının Mahalli Çevre Kurullarınca uygulanmasını sağlamakla,

Tehlikeli Atık taşıyan araç ve firmalara lisans vermekle,

* Atık Üreticileri:

Belediyelerle birlikte ya da ayrı olarak bertaraf tesislerini kurmak ve işletilmesini sağlamakla yükümlüdürler.

Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı 1996 İmalat Sanayii Atık Envanteri Anketine göre 10 kişi ve daha fazla çalışanı olan 3073 iş yerlerinde yapılan anket sonucuna göre toplam endüstriyel katı atık miktarı yaklaşık 14 milyon ton dur. Kimyasal esaslı atıkların (kül ve cüruf dahil) toplamı yaklaşık 5,6 milyon ton olup, genel toplam içindeki payı %40 dır.

İmalat sanayiinden kaynaklanan katı atıkların geri kazanılan ve yeniden kullanılan miktarı 1,4 milyon ton, satılan ve yeniden kullanılan miktarı 5,2 milyon ton ve bertaraf edilen miktarı ise 7,4 milyon tondur.

Ayrıca 1999 yılında bertaraf veya geri kazanılmak üzere gerekli altyapıya, bilgi birikimine ve tecrübeye sahip gelişmiş ülkelere ihraç edilen tehlikeli atık miktarı 447 ton dur.

1991 yılında 306 milyon ton tehlikeli atığın Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu değerin 1989'da, 198 milyon ton olduğuna göre, büyük bir artış olduğu dikkat çekmektedir [19].

ABD'de 50 eyalette 1991 yılına ait en çok tehlikeli atık Teksas eyaletindedir (104 milyon ton), bunu Michigan eyaleti (32 milyon ton), daha sonra Luisiana eyaleti (31 milyon ton) ve New Jersey eyaleti (29 milyon ton) izlemektedir. ABD'de tehlikeli katı atıkların % 90'ı karalarda depolanmaktadır [20].

ABD'de tehlikeli atıkların %90'ının endüstriyel atıklardan oluştuğu saptanmıştır. USEPA'nın yayınladığı son veriler ışığında tehlikeli sıvı atıkların %60'ının organik, %40'ının anorganik oldukları belirtilmiştir [17]. Çeşitli endüstrilerde üretim faaliyetleri sonucu oluşan tehlikeli atıklar Çizelge 2.9'de verilmiştir.

Çizelge 2.9. Çeşitli endüstrilerin üretiminde ortaya çıkan tehlikeli atıklar[21]

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

2.2.2. Tehlikeli atıkların bertarafı

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen tehlikeli atıkların bertaraf yöntemleri EK-6'da, tehlikeli atık üretilmesine neden olan aktiviteler de EK-7'de verilmiştir. Söz konusu atıkların sahip oldukları tehlikeli özellikler nedeniyle kısa ve uzun vadede çevre ve insan sağlığı açısından önemli riskler taşıdığından bunların evsel katı atıklardan daha sıkı standartlarla yönetilmeleri gerekmektedir. Atıkların düzenli depo tesislerine depolanabilme kriterleri Ek-7'de verilmiştir.

Yönetmeliğe göre tehlikeli atıkların Türkiye'nin yetkisi altında bulunan sahalara ve serbest bölgelere ithalatı yasaktır. Ancak ekonomik değere haiz bazı atıkların ithal izinleri uygun görülecek süre ve şartlarda Dış Ticaret Müsteşarlığınca yayımlanan Tebliğler doğrultusunda Çevre Bakanlığınca verilmektedir.

Atık yönetiminde temel politika öncelikle atıkların kaynağında azaltılması, kaçınılmaz olarak ortaya çıkan atıkların geri kazanılarak yeniden kullanılması, bunun mümkün olmadığı durumlarda da nihai bertaraflarının sağlanmasıdır. Bu konu hem ekonomik hem de çevresel açıdan etkili bir atık yönetiminin temelini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra atık azaltılması her zaman pahalı teknolojileri

gerektirmemekte ve büyük yatırıma ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu teknikler çoğu zaman üretim proseslerinde yapılacak küçük değişikliklerle de gerçekleştirilebilmektedir.

Bu doğrultuda Çevre Bakanlığınca Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde yer alan atıkların başka bir tesiste ikincil hammadde olarak kullanılmaları suretiyle miktarlarının azaltılmasının yanı sıra mevcut atık geri kazanım kapasitesinin geliştirilmesi için Atık Borsası uygulaması başlatılmıştır.

Dünya Bankası tarafından finanse edilen ve Çevre Bakanlığınca yürütülen “Kurumsal Yapının Güçlendirilmesi Projesi” kapsamında ele alınan Atık Borsası çalışmaları Bakanlık koordinatörlüğünde Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), İstanbul, Kocaeli ve Bursa Sanayi Odaları ile birlikte başlatılmış, uygulama için ilgili taraflar arasında 22.07.1999 tarihinde bir protokol imzalanmıştır.

Bu protokolle TOBB şemsiyesi altında başlatılan uygulama ile Atık Borsası sisteminin ülke genelinde ve uluslararası alanda yaygınlaşması hedeflenmektedir. Ayrıca yönetmeliğin 23 üncü ve 24 üncü maddeleri gereğince atık geri kazanım ve nihai bertaraf tesislerinin Bakanlıkça lisanslandırılması gerekmektedir.

Bu kapsamda atık geri kazanım tesisleri ile nihai bertaraf tesisleri ilgili yönetmelikler (Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği, Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Kimyasal Maddelerin ve Ürünlerin Kontrolü Yönetmeliği, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği) doğrultusunda gerekli tedbirlerin alınması Çevre Bakanlığınca lisanslandırılmaktadır.

Atık yağlar, kullanılmış araba lastikleri, boya çamurları, bazı plastik atıklar ve Çevre Bakanlığı tarafından uygun görülen yüksek kalorifik değerlere haiz atıklar, çimento fabrikalarında alternatif veya ek yakıt olarak kullanılmaları mümkündür. Bu bağlamda talepte bulunan çimento fabrikaları Çevre Bakanlığınca lisanslandırılmaktadır.

Yönetmelik gereğince tehlikeli atıkların geri kazanımı veya nihai bertarafı amacıyla taşınmalarında ilgili valilik tarafından verilecek “lisans”a sahip araçlarla

yapılır. Lisansa esas olacak hükümler Çevre Bakanlığınca 19 Kasım 1996 ve 09 Eylül 1997 tarihli Genelgeler ile Valiliklere ve ilgili kurumlara bildirilmiştir.

2.3. Tıbbi Atıklar

Ülkemizde nüfus artışına bağlı olarak hastane atıkları miktarı da her geçen yıl hızla artmaktadır. Ayrıca son yıllarda tehlikeli bulaşıcı hastalıkların (AIDS, viral hepatit, vb.) artış göstermesi, plastik enjektörler ve kan setleri gibi tek kullanımlık malzemelerin de kullanımını artırmış olup, bu da doğrudan tıbbi atık üretim miktarına yansımıştır.

Bunların dışında sağlık kuruluşlarında evsel katı atıkların dışında farklı niteliklere sahip patojen mikroorganizma içeren maddeler, organ dokuları, kesici aletler, şırıngalar, kirlenmiş sargılar, ameliyat artıkları, vs. gibi tıbbi atıklar da ortaya çıkmaktadır. Tıbbi atıkların evsel katı atıklar ile karıştırılmaması, onlarla birarada toplanıp taşınmaması, özel bir şekilde işlem görmesi gerekmektedir.

Çevre Bakanlığınca, tıbbi atıkların belli bir sistemle toplanmaları, taşınmaları ve bertarafı esaslarını içeren ‘Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ hazırlanmış ve 20.05.1993 tarih ve 21586 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik genel olarak hastanelerden, tıp, diş hekimliği ve veteriner hekimlik eğitimi veren ve araştırma yapan kuruluşlardan, kan ve kan ürünleri ile ilgili çalışma yapan tüm merkez ve istasyonlardan, tıbbi tahlil laboratuvarlarından, sağlık ocaklarından, muayenehaneler ve polikliniklerden, deney hayvanlarının kullanıldığı laboratuvarlardan kaynaklanan atıklara uygulanmaktadır.

Yönetmelik ile genel olarak atıkların kaynağında ayrı toplanması, ünite içinde taşınması ve geçici depolanması konularında sağlık kuruluşlarına; ayrı toplanan tıbbi atıkların geçici atık depolarından alınarak taşınması ve bertaraf edilmeleri konularında da belediyelere yükümlülükler verilmiştir.

2.3.1. Türkiye’de tıbbi atıkların durumu

Devlet İstatistik Enstitüsü, çevre istatistikleri kapsamında devlet ve özel hastanelerden kaynaklanan çöpün fiziksel kompozisyonunu (tıbbi atık, evsel atık, geri kazanılabilir madde) belirlemek amacıyla 1995 yılında “Hastane Çöp Kompozisyon Araştırması” yapmıştır.

Türkiye genelinde Sağlık Bakanlığı’na bağlı 421 devlet ve 123 özel hastaneden örnekleme yöntemiyle belirlenen 34 devlet ve 13 özel olmak üzere toplam 47 hastanede yapılan araştırma sonuçlarına göre; yatak başı günlük ortalama katı atık miktarı devlet hastanelerinde 2,39 kg, özel hastanelerde 4,34 kg olarak bulunmuştur.

Devlet ve özel hastanelerden çıkan toplam katı atık miktarı fiziksel dağılım açısından incelendiğinde ise, devlet hastanelerinde yatak başı günlük 1,92 kg tıbbi, 0,38 kg evsel ve 0,09 kg geri kazanılabilir madde çıkarken, özel hastanelerde 2,01 kg tıbbi, 1,35 kg evsel ve 0,98 kg geri kazanılabilir madde çıktığı belirlenmiştir. Görüldüğü gibi sağlık kuruluşlarında yatak başına oluşan günlük tıbbi atık miktarı ortalama 2 kg’dır.

Sağlık Bakanlığı’nın 1997 yılı verilerine göre ülkemizdeki 1120 hastanedeki toplam yatak kapasitesi 160 884’dür. Türkiye’de yatak doluluk oranının ortalama olarak % 65 olduğu kabul edildiğinde, günlük yaklaşık 209 ton, yılda da 76000 ton tıbbi atık oluşmaktadır [11].

2.3.2. Tıbbi Atıkların Bertarafı

Tıbbi atıkların bertarafı, yakma ve düzenli depolama olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Bununla beraber, tıbbi atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeden en uygun bertaraf metodu yakmadır. Yakma sistemleri belediyeler veya yetkilerini devrettiği kişi ve kuruluşlar tarafından kurulur ve işletilir. Bu tesisler Bakanlığın uygun görüşü alınmak suretiyle ünite bünyesinde de kurulabilir. Evsel nitelikli atıkların yakılması için kullanılan yakma fırınları tıbbi atıkların yakılması için kullanılmaz. Yakma fırınındaki ilk bölme sıcaklığının 900 °C olması ve son yakma bölmesindeki gazların 1200 °C’de en az 1.5 saniye tutulması zorunludur.

Fırınlardan çıkan küllerde yanabilen maddelerden tam yanmamış olanlar toplam kütlenin ağırlıkça %2'sini aşamaz. Oluşan küller 31'inci maddeye göre depolanır. Yakma fırınlarındaki imha edilecek olan atıkların kabul ve depolama birimleri sürekli temiz tutulur ve sık sık dezenfekte edilir. Buraya, görevlilerden başkasının girmesi yasak olduğu gibi hayvanların yaklaşması da önlenir. Yakma tesisi baca gazı emisyonlarında, normal şartlar altında %11 oksijen esas alındığında Çizelge 2.10'de verilen şartlar sağlamalıdır.

Çevreye zarar verilmesi ve gereken tedbirlerin alınması kaydıyla ve mahallin en büyük mülki idare amirinin izni alınarak tıbbi atıklar yüksek yakma sıcaklığına haiz tesislerin fırınlarında da yakılabilir [22].

Tıbbi atıkların yakma yöntemi ile bertaraf edilmelerine imkan olmadığı hallerde ise söz konusu atıkların; tehlikeli atık depolama alanlarının özel bir bölümünde, evsel atıkların bertaraf alanlarının tıbbi atıklar için yapılmış özel bir bölümünde veya sadece tıbbi atıklar için yapılmış özel bir bertaraf alanında depolanmaları gerekmektedir.

Ülkemizde tıbbi atıkların yakılarak bertarafı amacıyla İstanbul'da Büyükşehir Belediyesi'ne ait merkezi bir yakma tesisi mevcuttur. Bunun dışında Adana, Ankara, Antalya, Muğla ve Sivas illerinde ait oldukları sağlık kuruluşlarının atıklarını bertaraf eden yakma fırınları da bulunmaktadır. Ayrıca işletme lisansı işlemleri devam eden İzmit Tehlikeli Atık Yakma Tesisi'nde de tıbbi atıklar yakılarak bertaraf edilebilecektir.

Çizelge 2.10. Yakma işlemi sırasında oluşacak gaz emisyon değerleri [22]

	Günlük 1 ton/saat'den fazla kapasiteli tesisler için (mg/m³)	Günlük 1 ton/saat'den az kapasiteli tesisler için (mg/m³)
Toplam partikül	10	100
Ağır metaller ve bileşikleri (Pb+Cr+Cu+Mn+Ni+As)	1.0	5
Hg,Cd	0.1	5
HCl	10	100
HF	1	1
CO	50	100
SO ₂	50	300
NO ₂	100	100
Toplam Organik C	10	100
Toplam poliklorlu dibenzo-p dioksin ve poliklorlu dibenzofuranlar	0.1 ng/m ³	0.1 ng/m ³

2.4. Radyoaktif Atıkların Bertarafı

Radyoaktif atıkların bertarafı 9/7/1982 tarih ve 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu'na ilişkin tüzük hükümleri çerçevesinde yapılır ve bundan Bakanlığa haber verilir.

Radyoaktif katı atıklar sıkışabilen ve sıkışamayanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sıkışabilenler (kağıt, plastik, bez vb. gibi) bir balyalama presi ile sıkıştırılarak hacimleri küçültülür. Hacmi küçültülen katı atıklar 200 lt'lik variller içinde çimento ile sabitleştirilerek, numaralanıp etiketlenir ve gömmeye hazır hale getirilir.

Sıkışmayan metal parçaları, boru, motor parçaları gibi radyasyonlu katı atıklar ise doğrudan varil içindeki çimento ile sabitleştirilerek depolanmaktadır.

Düşük ve orta seviyeli atık varilleri için yüzeysel toprak katmalarına yapılacak gömerek depolama yeterli olsa bile, enerji reaktöründen, kullanılmış yakıtlardan veya yakıt işlenmesinden oluşan yüksek seviyeli atıklar için derin yer altı katmanlarına gömülerek depolama gerekmektedir. Dünyada radyoaktif atıkların bertarafı konusunda değişik yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar atıkların radyoaktivite seviyelerine göre;

- Özel deponilere gömme
- Yer altı tuz ocaklarında depolama
- Çok derin yer altı aralıklarında depolamadır.

3. DEPONİ ALANI DİZAYN KRİTERLERİ

3.1. Atık Depo Tesislerinin Yer Seçimi

Düzenli bir depolama sistemi, zemin içerisine atıkları bir mühendislik tasarımıyla yerleştirmektir. Dünyadaki değerlendirilebilir arazilerin hızla azaldığı düşünülürse depolama alanlarının verimli kullanılması oldukça önemlidir. Seçilen alan üzerine depolama ünitesi inşa edilirken kirlenmeyi ve maliyeti minimum düzeye indirgeyen bir sistem seçilmesinde yarar vardır [19].

Düzenli katı atık depolama yeri seçiminde ilk aşama, depolama sahası için uygun yer seçimi olmaktadır. Bunun için ilgili yönetmelik ve kılavuzlarda [23];

- Katı atık depolama yeri (çöp döküm sahaları) en yakın yerleşim birimine en az 1000 m mesafede olmalıdır. Bu mesafe Almanya'da 800 m ve Avrupa Topluluğu standartlarına göre en az 200 m'dir [19].
- Havaalanlarından en az 3 km uzakta olmalıdır
- İçme, kullanma ve sulama suyu temin edilen yeraltı ve yerüstü sularını koruma gölgelerinde inşa edilmemelidir
- Deprem bölgelerinde fay hattı üzerinde inşa edilmemelidir
- Taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, çığ, heyelan ve erozyon bölgelerinde inşa edilmemelidir
- Şehircilik açısından, hakim rüzgar yönünde inşa edilmemelidir
- Kurulan tesisin konumu imar planında belirtilerek, işletmeye kapatıldıktan sonra en az 40 yıl yerleşime açılmaması sağlanmalıdır.
- Planlanan depolama sahası en az 10 yıllık ihtiyaca cevap verecek kapasitede olmalıdır denilmektedir.

Ayrıca, Raymond N. Yong'ın Kanada için yaptığı çalışmalarda arazi eğimi 2:1 olarak alınmıştır. İzmir-Harmandalı düzenli çöp deponi alanında kamyonun inebileceği %10'luk kısmen %7'lik eğim esas alınmıştır. İstanbul Büyük Şehir Belediyesi düzenli çöp deponi alanında, arazi eğimi %2'den büyük alınmıştır. Bozyük için çöp deponi dizaynı arazi eğimi %7 ve %8 olarak verilmiştir [24].

Tehlikeli atıkların düzenli depo tesislerinin yer seçiminde ise yönetmelik gereğince aşağıdaki hususlara uyulmalıdır.

- Düzenli depo tesisleri, karstik bölgelerde, içme, kullanma ve sulama suyu temin edilen veya edilecek olan yeraltı suları koruma bölgelerinde, taşkın riskinin yüksek olduğu bölgelerde kurulmaz, kurulmasına ve işletilmesine izin verilmez.
- Depo tesislerinin yer seçiminde, seçilecek yerin jeolojik, hidrolojik, jeoteknik özellikleri, yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu akış yönleri, mevcut ve planlanan meskun mahal ile diğer yapılaşmalar, akaryakıt, gaz ve içme-kullanma suyu naklinde kullanılan boru hatları, deprem kuşakları ve tektonik koruma bölgeleri ile diğer zemin hareketleri, toprak özellikleri ve kullanım durumu, hakim rüzgar yönü, trafik durumu dikkate alınır.
- Depo alanında gerilim hatları bulunamaz.
- Depo tesislerinin en yakın meskun mahale mesafesi 1000 metreden az olamaz.
- Depo tesislerinin yüzeysel su kaynaklarına kuş uçuşu mesafesi 150 metreden az olamaz.
- Depo tesisi yeri seçiminde yer altı suyu akış yönü dikkate alınır.
- Depo tesislerinin bulunduğu alanlar en az 50 yıl süre ile iskana açılmaz ve 20 yıl süre ile denetlenir.

Tıbbi atıkların nihai depolama tesislerinin yer seçiminde de ilgili yönetmelik gereğince aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

- Karstik bölgelerde; içme kullanma ve sulama suyu temin edilen yer altı ve yerüstü suları koruma bölgelerinde; taşkın riskinin yüksek olduğu bölgelerde; heyelan, çığ ve erozyon bölgelerinde kurulmasına ve işletilmesine izin verilmez.
- Yer seçiminde, seçilecek yerin jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik özellikleri, yer altı su seviyesi ve yer altı suyu akış yönleri, mevcut ve planlanan meskun bölge ile diğer yapılaşmalar, deprem kuşakları ve tektonik koruma bölgeleri ile diğer zemin hareketleri, hakim rüzgar yönü, trafik durumu dikkate alınır.

- Bu depo tesislerinin en yakın yerleşim bölgesine uzaklığı 3000 m'den, en yakın hava alanına uzaklığı 5000 m'den az olamaz.
- Nihai depolama tesisleri imar planında belirtilerek, yerleşim bölgesi olmaması sağlanır.

3.2. Depolama Tesis Tabanının Teşkili

Katı atık depo tesislerinde çevre kirliliği açısından en önemli sorun sızıntı suyudur. Birçok kirlletici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu, yerüstü ve yer altı kaynaklarını kirlletmektedir. Sızıntı suyunun bu olumsuz etkisini önlemek için depo tabanı geçirimsiz hale getirilir. Depo tabanında oluşturulan bir drenaj sistemi ile sızıntı suları toplanır. Bu amaçla ilgili yönetmelik gereğince yapılması gerekenler aşağıda verilmiştir.

- Depo tabanı, tabii yeraltı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 metre yüksekte olmalıdır.
- Depo tabanına; sıkıştırılmış kalınlığı en az 60 cm olan kil veya aynı geçirimsizliği sağlayan doğal ya da yapay malzeme serilmelidir. Bu malzemelerin geçirimsizlik katsayısı (permeabilite) 1.10^{-8} m/sn'den büyük olamaz. Az çatlaklı kaya zeminlerde ise bu değer 1.10^{-7} m/sn olarak alınır (Değişiklik : 18.8.1999 tarih ve 23790 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan yönetmelik).
- Depo tabanının, en az 3 metre kalınlığında doğal kil ve benzeri 1.10^{-8} m/sn geçirimsizlik katsayısını sağlayan bir malzeme olması durumunda, depo tabanı tekrar geçirimsizlik malzemesi ile kaplanmaz. Bu durumda geçirimsizlik katsayısının sahanın her yerinde 1.10^{-8} m/sn olması sağlanır.
- İçme ve kullanma suyu havzalarının uzun mesafeli koruma alanında inşa edilecek düzenli depo sahası tabanında, sıkıştırılmış kalınlığı 60 cm olan kil tabakasının üzerine, kalınlığı 2 mm olan yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) folye serilmelidir. Serilecek folyenin yoğunluğu 941-965 kg/m³ arasında olmak zorundadır.

Katı atıklar için deponi tabanı sızdırmazlık sistemi Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tehlikeli atıklar ise ilgili yönetmelik gereğince evsel katı atıklardan ayrı olarak işleme tabi tutulur ve depolanır. Depo tesisine gidecek olan tehlikeli atıkların % 60'dan fazla su içermesi yasaktır.

Depo tesisinin oturacağı zemin doğal olarak sıkışmış ve kalınlığı en az 3 metre ve kompresibilitesi (Dpr) % 95'den büyük olmak zorundadır. Ayrıca depo tesisi tabanının, maksimum yeraltı su seviyesine mesafesi 2 metreden az olamaz.

Depo tabanı, sızıntı suyunun yeraltı suyuna karışmasını önleyecek şekilde düzenlenir. Bunun için mineral sızdırmazlık tabakası (kil) ile plastik geçirimsizlik tabakası birlikte kullanılır. Bu malzemelerle eşit düzeyde geçirimsizliği sağlayacak diğer malzemeler de bu amaçla kullanılabilir. Teşkil edilecek taban Şekil 3.2'de kesiti yer alan değerleri sağlamalıdır. Tabii zemin üzerine yerleştirilen malzeme kil ise sızdırmazlık tabakasının kalınlığı en az 0.9 m dir. Bu tabanın geçirimsizlik katsayısı (permeabilitesi) $k=1 \times 10^{-9}$ m/s'den büyük olamaz. Bu tabaka en fazla 0.3 m'lik üç tabaka halinde sıkıştırılarak döşenir. Bu tabakanın üstüne serilen plastik geçirimsizlik tabaka kalınlığı (HDPE) en az 0.25 cm dir. Plastik tabakanın korunması ince kumlarla sağlanır. Bu koruyucu kalınlığı en az 0.10 m dir. Depo tabanına balık sırtı şeklinde bir form verilir ve tabanın boyuna eğimi % 3'den, enine eğimi de % 1'den küçük olamaz.

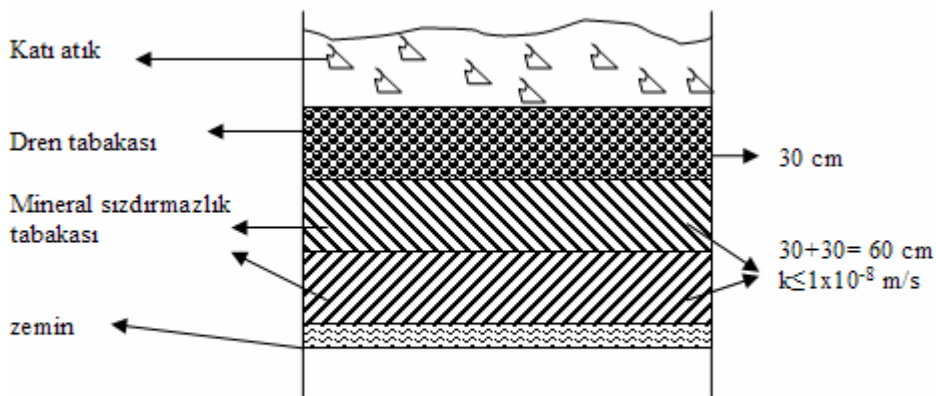
Tıbbi atıkların nihai depolama tesisi zemini de, doğal olarak sıkışmış olmalı ve bu sıkışmış zeminin kalınlığı 3 metreden ve kompresibilitesi (Dpr) %95'den büyük olmalıdır. Depolama tesisi tabanının, maksimum yer altı su seviyesine uzaklığı yine 2 m'den az olamaz.

Depolama tesisinin tabanı sızıntı suyunun yer altı suyuna karışmamasını kesinlikle önleyecek şekilde düzenlenmelidir. Bunun için mineral sızdırmazlık tabakası ile plastik geçirimsizlik tabakası birlikte kullanılır. Taban en az Şekil 3.2'de şematik kesiti verilen değerleri sağlayacak şekilde oluşturulur. Doğal zemin üzerine yerleştirilen mineral sızdırmazlık tabakasının kalınlığı 1.5 m'den az, permeabilitesi 10^{-9} m/s'den küçük olamaz. Plastik geçirimsizlik tabakasının kalınlığı ise en az 2.5 mm olmalıdır. Depo tabanına balık sırtı şeklinde bir form verilir ve tabanın boyuna eğimi %3'den enine eğimi de %1'den küçük olamaz.

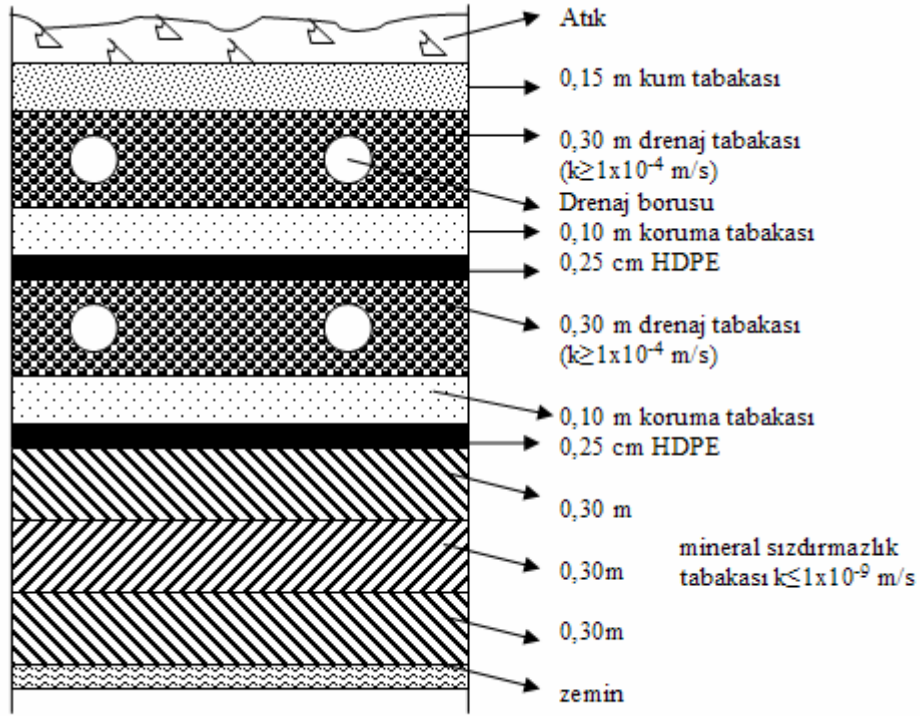
Yurt dışındaki deponi tabanı geçirimsizlik sistemlerinde kullanılan malzemelerin permeabilitesi ve minimum yükseklik değerleri çeşitli ülkeler için Çizelge3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tehlikesiz katı atık deponi tabanı geçirimsizlik sistemlerinin çeşitli ülkelerdeki değerleri [24]

Ülke	Minimum permeabilite k (cm/sn)	Minimum dolgu yüksekliği (m)
ABD (EPA)	10^{-9}	0,6
Almanya	5×10^{-10}	0,75
Avusturya	10^{-9}	0,6
Belçika	10^{-9}	1,0
Fransa	10^{-6}	5,0
İsviçre	10^{-9}	0,8
İtalya	10^{-9}	0,6
Macaristan	10^{-9}	0,6
Portekiz	10^{-9}	1,0
Türkiye	10^{-8}	0,6
U.K.	10^{-9}	1,0



Şekil 3.1. Katı atıklar için deponi tabanı sızdırmazlık sistemi [25]



Şekil 3.2. Tehlikeli atıklar için deponi tabanı sızdırmazlık sistemi [26]

3.3. Sızıntı Suyunun Toplanması ve Drenajı

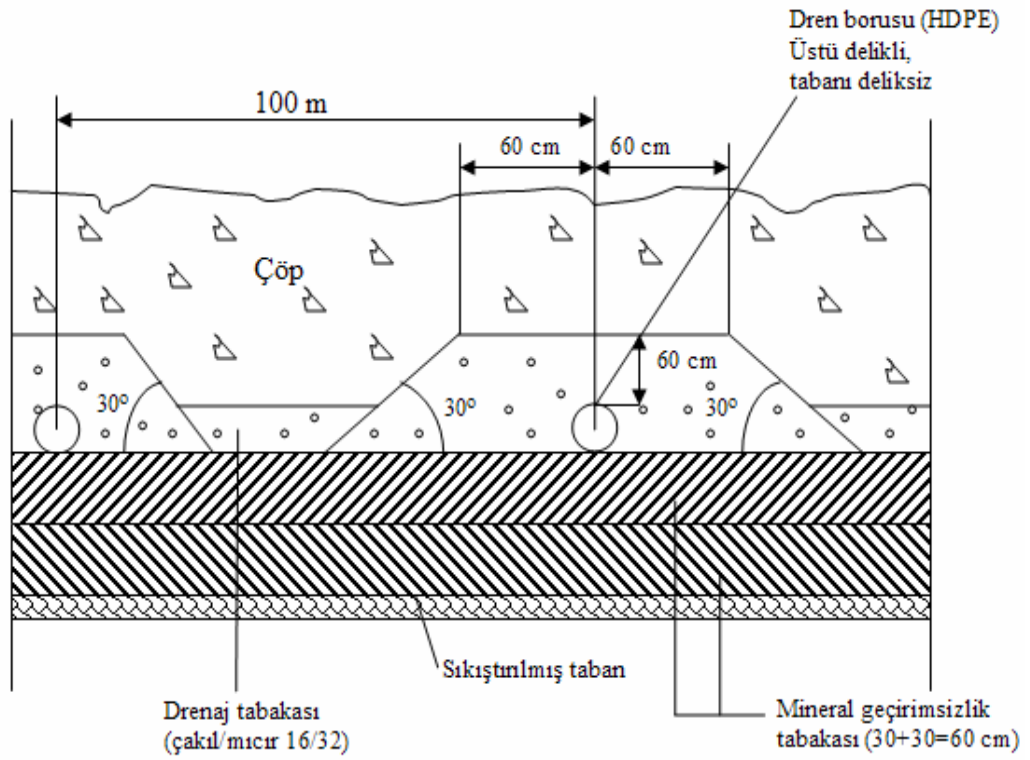
Sızıntı suyu deponi alanlarının önemli bir sorunudur. Sızıntı suyu, yağış sebebiyle katı atık kümelerinin yüzeyinden çeşitli kaynaklardan veya atığın kendisinden gelen sular tarafından fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerle oluşturulur. Sızıntı suyu miktarı, atıkların kompozisyonu, miktarı, türü ve yağışlara göre değişir.

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 eğimi %1 olmalıdır. Dren boruları, münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkar. Depo tesisi çıkışında kontrol bacaları bulunur. Ayrıca dren boruları çevresine kum, çakıl filtre yerleştirilir. Bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm olmalıdır [10]. ABD uygulamalarında drenaj tabakasının en az %2 eğimle ve minimum drenaj tabakası kalınlığı 30 cm olarak alınmaktadır. Drenaj sisteminde kullanılan çakıl veya mıcırın çapı 16/32 veya 8/16 ve kireç oranında %30'dan az olmamalıdır [24].

Toplanan sızıntı suyu, 4.9.1988 tarih ve 19919 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde öngörülen deşarj limitlerini sağlayacak şekilde artırılır. Sızıntı suyu toplama en kesiti Şekil 3.3'de verilmiştir.

3.4. Gaz Drenajı

Depo kütlesinde havasız kalan organik maddenin, mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu çevreye yayılarak, patlamalara, zehirlenmelere sebep olabilecek metan gazı ağırlıklı olmak üzere karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşikleri yatay ve düşey gaz toplama sistemi ile toplanır ve kontrollü olarak atmosfere verilir veya enerji üretmek sureti ile değerlendirilir.



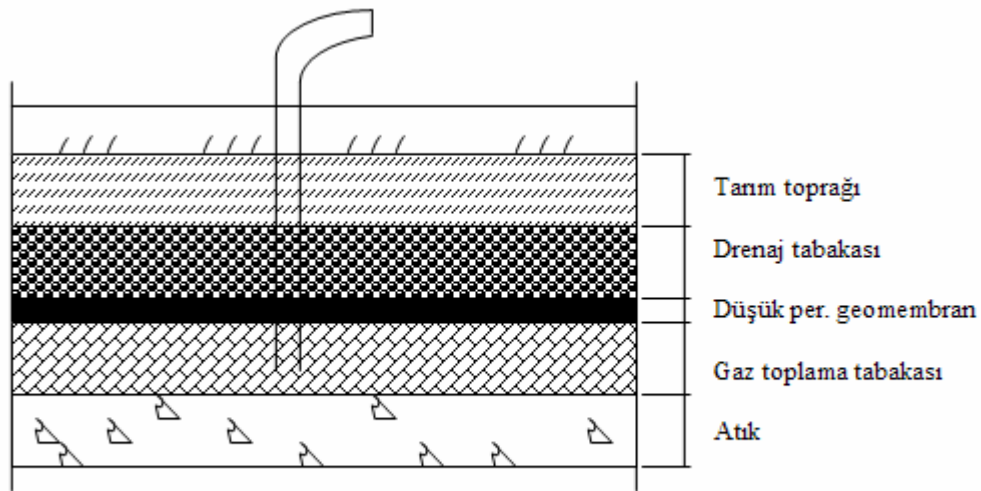
Şekil 3.3. Sızıntı suyu toplama en kesiti [19]

Deponi alanında %55-60 arasında metan gazı, %35-40 arasında karbondioksit, %2-3 arasında hidrojen gazı, %1 sülfür, karbonmonoksit azot oluşmaktadır. Düzenli depolama alanlarında çöp gazlarının çıkışı için delikli borular veya çakıl bacalar gibi basit yöntemler kullanılmaktadır. 3 m uzunluğunda seçilmesi uygun olan minimum 150-200 mm'lik delikli set PVC boruları tabanda 1x1 m ebadında açılmış kuru çukurun ortasına konularak, 50 mm'lik yıkanmış kireç taşı ile çakıl boru etrafına 1 m çapında desteklenir. Her 50 m de bir havalandırma bacası yerleştirilmelidir. Tipik bir deponi için gaz toplama sistemi a Şekil 3.4'de verilmiştir.

3.5. Depo Tesislerine Dolgu Yapılması

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği gereğince depo tesisleri aşağıda belirtilen özellikler taşımalıdır:

- Evsel ve evsel katı atık özelliğindeki endüstriyel atıklar ile, bunların atık su arıtma çamurlarını depolamak üzere inşa edilen depo tesislerinin asgari kapasiteleri; nüfusu 100.000'den küçük olan yerleşim bölgelerinde 10 yıllık depolama ihtiyacını karşılayacak şekilde, nüfusu 100.000'den büyük olan yerlerde ise 500.000 m³ olarak planlanmalıdır.



Şekil 3.4. Tipik bir deponi için gaz toplama sistemi (EPA,1991)[19]

- Depo tesisine ulaşım ve depo iç yollarında geçiş her türlü hava şartlarında mümkün olacak şekilde düzenlenmelidir.
- Planlanan depo tesisi bir çit ile çevrilmelidir.
- Depolama sahasında kirlenen araba tekerleklerinin yolları ve caddeleri kirletmemesi için, tekerlekleri temizleyecek teknik tedbirleri alınmalıdır.
- Depo tesisi girişinde, girişi kontrol altında tutmak, gelen katı atıkları muayene etmek, tartmak amacıyla bekçi kulübesi, işletme odası, kantar ve kantar binası bulunmalıdır.

Tehlikeli atıkların depo tesislerine dolgu yapılmasında ise ilgili yönetmelik gereğince aşağıda sıralanan hususlara uyulması zorunludur.

- Depo gövdesinde depolanacak atıkların ve çıkan sızıntı sularının birbiri ile çevreye ve ortama zarar verecek reaksiyon meydana getirmemesi ve dolguların bunu temin edecek şekilde yapılması esastır. Bunun için bazik ve asidik reaksiyon gösteren atıkların ayrı hücrelere depolanması ve sızıntı sularının ayrı ayrı toplanması zorunludur.
- Atık hücrelerinin üzeri bir çatı ile kaplanır, dolgu süresince girebilecek yağmur suyu miktarını azaltacak önlemler alınır ve depo sahasının yağmur suyu ile dolması önlenir. Hücre, atık ile ilk seferde dolmaz ise, ara örtü olarak kil ve plastik örtü ile örtülerek, benzer türden atıklarla depolanacak şekilde hazırlanır. Organik atıklar için gaz drenaj boruları yerleştirilir.
- Dolgu çalışmaları sırasında, şev stabilitesini ve araçlarla makinaların kolayca manevra yapabilmelerini sağlamak için atığın oluşturduğu eğim 1/3 olacak şekilde yapılır. Atığı getiren araçların geçişleri drenaj sistemine zarar vermeyecek şekilde planlanır.
- Atık kalınlığı en az 1 metreye ulaşana kadar dolgu sahasında sıkıştırma yapılmaz. Gövde, atıkların sıkıştırılmasıyla doldurulur ve boşluk bırakılmaz. Koku ve toz çıkaran atıkların çevreyi olumsuz yönde etkilemesini önleyecek şekilde önlemler alınır.

- Depo tesisi işletmecileri, depo tabanının işlevini yapıp yapmadığını, yüzey ve sızıntı suyunun miktar ve özelliklerindeki değişimleri, depo gövdesi içindeki sıcaklık değişimlerini ve gövdedeki oturmayı devamlı olarak ölçer. Bu konuda hangi kriterlerin hangi aralıkla ölçüleceği ve ölçüm yöntemleri belirlenerek Bakanlığa lisans başvurusu sırasında sunulur. Bakanlık lisans değerlendirmesi sırasında projede bu yönde değişiklik yapabilir, kabul edebilir veya kısmen kaldırabilir. Yıllık işletme raporlarında bu ölçümler ayrıntılı olarak bulundurulmak ve istendiğinde işletmeciler tarafından Bakanlığa sunulmak zorundadır.

Tıbbi atıkların depolama tesislerinde, depo sıkıştırılarak doldurulur ve boşluk bırakılmaz. Dolgu işlemleri sırasında, sızıntı suyu miktarını azaltmak için günlük olarak atıkların üstü örtülür ve dolgu işlemi gereğinde bir sundurma altında yapılır.

Literatürde 30 m'nin üzerinde yapılmış depolama alanları mevcuttur. İzmir Harmandalı katı atık düzenli depolama alanında ortalama dolgu yüksekliği 38 m, Raymond N. Yong'un Kanada için yaptığı çalışmada ise dolgu yüksekliği 20 m'dir [24].

3.6. Üst Örtü Tabakası

Depolama işleminin tamamlanmasından sonra veya şevlerde dolgu sırasında, depo sahasının görünüş olarak çevreyi rahatsız etmemesi ve arazinin tekrar kullanılabilir hale getirilmesi için yeşillendirilmesi, ağaçlandırılması, deponun en üstüne ve şevlere tarım toprağı serilmesi gerekir. Bu toprağın kalınlığı dikilmek istenen bitkinin kök derinliğine göre seçilir. Depo kütlesi üzerine düşen yağmurun kısa sürede sahayı terk etmesi için en üst toprak tabakasının eğiminin %3'den büyük olması gerekir [10]. Deponi alanı üst örtü tabakasındaki malzemeler ve işlevleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deponi alanı üst örtü tabakasındaki malzemeler ve işlevleri [19]

Tabaka	Birincil İşlevleri	Yaygın Maddeler	Genel Düşünceler
Yüzey Tabakası	Çoğu örtü tabakasında bitki büyümesini artırır, evapotranspirasyona yardımcıdır ve erozyonu önler.	Üst zemin (nemli kısım); kaba çakıllar (kurak kısım); geosentetik erozyon kontrol sistemleri.	Suyun kontrolü için ve erozyonu engellemede kullanılan tabaka.
Kontrol Tabakası	Suyu depolama, alt tabakaları insan, hayvan ve bitkiden korur. Stabilizasyonu sağlar, donma ve çözünmelere karşı koruyucudur.	Karışık zemin	Yüzey ve koruyucu tabaka genel adıyla örtü toprağı olarak anılabilir. Koruyucu tabaka daima gerekli.
Drenaj Tabakası	Bariyere ulaşan drenajı minimize eder ve sızıntı basıncını dağıtır.	Kum, çakıl, geotekstill, geonet, geokompozit.	Sızıntı ve yağmur sularını kontrol eden katman.
Bariyer Tabakası	Atıktan gaz kaçışını ve suyun dışarıdan içeri girişini engeller.	Sıkıştırılmış kil tabakası, geomembran, geosentetik kil tabakası.	Gerekli bir tabakadır. Kurak bölgelerde o kadar ihtiyaç olmaz.
Gaz Toplama Tabakası	Gazın kontrol altına alınması.	Kum, geotekstill,	Gaz çıkışı olası durumda şarttır.

Tehlikeli atıkların dolgu işlemi tamamlandıktan sonra, dolgu üst depo gövdesi yüzeysel su girmeyecek şekilde sızdırmaz hale getirilmelidir. Depo üst örtüsü tabakaların özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Atık üstündeki ilk örtü tabakası homojen ve kohezyonsuz zeminden teşkil edilir ve tabaka kalınlığı 0.5 m’den az olamaz,
- Depo gövdesinden gaz çıkışı söz konusu ise gaz dren sistemleri yerleştirilir,
- Sızdırmazlık temini için kullanılan mineral tabakanın kalınlığı 0.6 m’den küçük, geçirimsizlik katsayısı $k=1 \times 10^{-9}$ m/s’den büyük olamaz,
- Plastik tabakanın kalınlığının en az 0.25 cm olması zorunludur,
- Drenaj tabakası 0.30 m’den az ve geçirimsizlik katsayısı $k=1 \times 10^{-4}$ m/s’den küçük olamaz,
- Depo üst yüzeyinin nihai eğiminin en az % 5 ve eğer plastik tabaka üzerinde sürtünmeyi artırıcı ilave özellikte maddeler yoksa en fazla %15 olması zorunludur,
- Sızdırmaz tabaka üstüne serilen tarım toprağı bitki çeşidine bağlı olarak değişmekle birlikte, kalınlığı 1 m’den az olamaz,

- Tarım toprağında erozyonu önlemek için gerekli önlemler alınır,
- Kapatılan sahanın civarında yeterli sayıda açılan izleme kuyuları ile gaz ve sızıntı suyu ölçümleri periyodik olarak yapılır, kayıtlar muhafaza edilir.

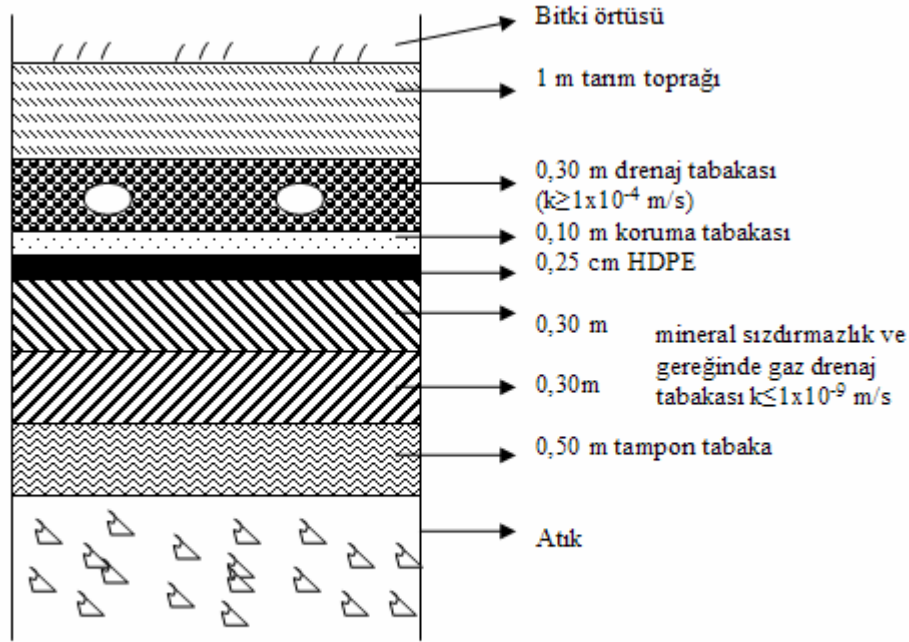
Tıbbi atıklarda ilgili yönetmelikte belirtildiği gibi, depo tesisine dolgu işlemi tamamlandıktan sonra, depo gövdesine yüzeysel su girmeyecek şekilde sızdırmaz hale getirilir. Bu tabakalar asgari şu özelliklere sahip olmalıdır.

- Atık üstündeki ilk örtü tabakası homojen ve kohezyonsuz zeminden teşkil edilir ve tabaka kalınlığı 0.5 m'den az olamaz.
- Depo gövdesinden gaz çıkışı söz konusu ise gaz dren sistemleri yerleştirilir.
- Sızdırmazlık temini için kullanılan mineral tabakanın kalınlığı 0.5 m'den az, permeabilite katsayısının (k) değeri 10^{-9} m/s'den küçük olamaz.
- Plastik tabakanın kalınlığı en az 2.5 mm olmalıdır.
- Depo üst düzeyinin nihai eğimi %5'den büyük olmalıdır.
- Sızdırmaz tabaka üzerinde serilen tarım toprağının kalınlığı 1 m'den az olamaz.

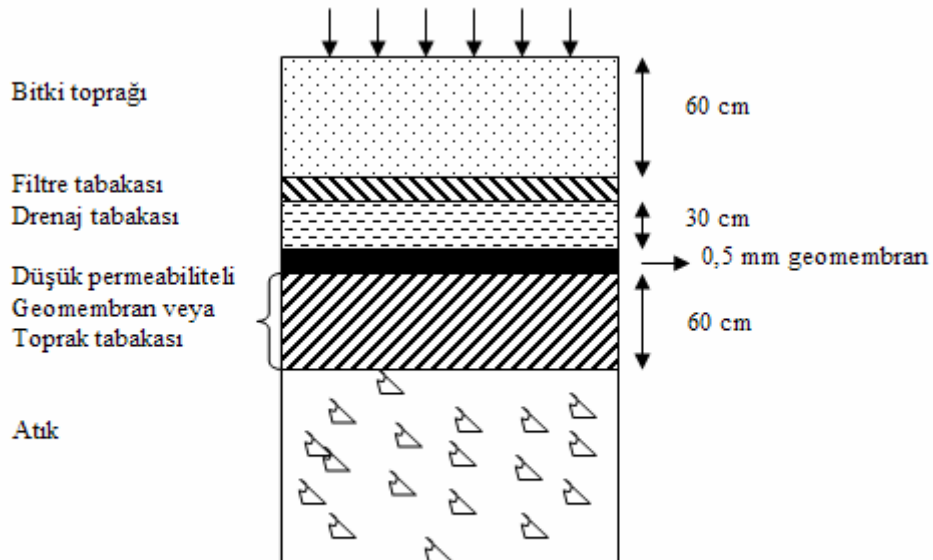
Üst geçirimsizlik tabakası için verilen permeabilite değerleri sırasıyla; İtalya'da 10^{-7} cm/sn ve Almanya'da 10^{-8} cm/sn olarak kullanılmaktadır [24]. USEPA'nın önerdiği tehlikeli atık deponisinde üst örtü tabakası kriterleri ise şunlardır [25]:

- Minimum 60 cm ve maksimum 1×10^{-7} cm/s permeabiliteli toprak tabakası,
- Minimum 0.5 mm geomembran tabakası,
- Drenaj tabakası yada minimum 1×10^{-2} cm/s olan yada aynı karakteristiklere sahip geosentetik drenaj materyali,
- Drenaj tabakası üzerinde bitkilerin köklenmesini engellemek için toprak veya geosentetik filtre tabakası,
- Minimum 60 cm kalınlığında %3-5'lik eğim ile bitki yetişen toprak.

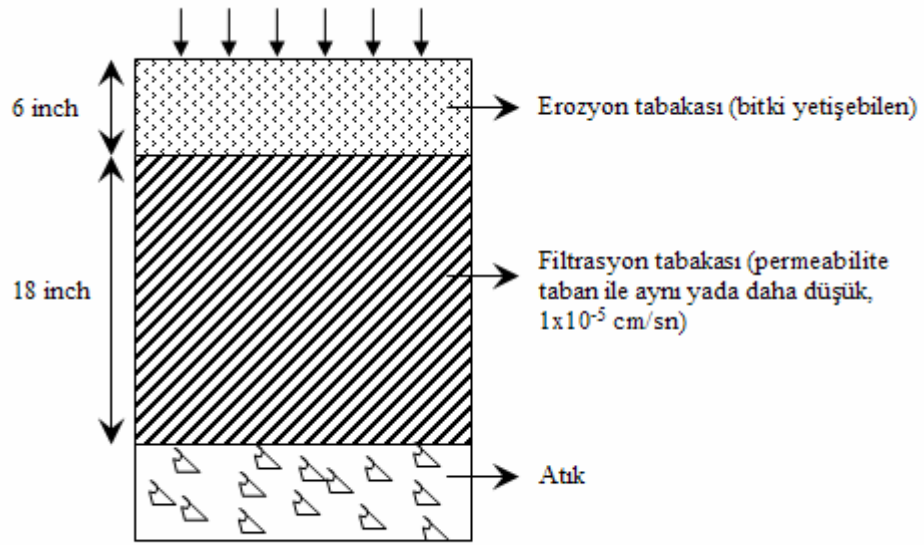
Literatürlerde yer alan, tehlikeli atık deponi alanı üst örtüsü sızdırmazlık sistemi Şekil 3.5’de, USEPA’nın önerdiği tehlikeli atık deponisinde üst örtü tabaka sistemi Şekil 3.6’de ve USEPA’nın önerdiği tehlikeli olmayan atıklar için üst örtü sistemi ise Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Tehlikeli atık deponi alanı üst örtüsü sızdırmazlık sistemi [26]



Şekil 3.6. USEPA’nın önerdiği tehlikeli atık deponisinde üst örtü tabaka sistemi [25]



Şekil 3.7. USEPA'nın önerdiği tehlikeli olmayan atıklar için üst örtü sistemi [27]

4. KULLANILAN MALZEMELER

4.1. Sepiyolit

Sepiyolit, fillosilikat (tabakalı silikat) grubuna dahil sulu magnezyum silikat bileşimli kil mineralidir. Nagy-Bradley'e göre kimyasal formülü $\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ile ifade edilir. Sepiyolit mineralinin dokusu, yüzey alanı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, bu mineralin teknolojik uygulamalarına baz teşkil eden fizikokimyasal özellikleri ile yakından ilişkilidir. Sepiyolit strüktürü, ısı muamelelere karşı hassastır. Zeolitik ve adsorbe su molekülleri, ısı derecesi yükseldikçe kaybedilir. Mineral ayrıca asitle muameleye karşı da duyarlı olup bu işlem sonucu kristal yapısı kısmen tahrip olabilir. Hem ısı hem de asit muameleleri, sepiyolitın yüzey özellikleri ve porozitesini değiştirebilir. Böylece mineralin en faydalı özelliklerinden (örneğin absorptif, kolloidal ve katalitik özellikler) bazılarını bu işlemlerle değiştirmek mümkün olabilmektedir.

Tabiatta sepiyolit zenginleşmeleri, kabaca iki farklı tipte bulunmaktadır. Bunlardan birinci tip sepiyolit oluşumu, ülkemizde özellikle Eskişehir yöresinde ve Konya-Yunak civarında bulunan "lületaşı (meerschauum)" dır. Bir diğer önemli sepiyolit oluşumu ise, "sanayi sepiyoliti" veya "tabakalı sepiyolit" olarak da adlandırılan "sedimanter sepiyolit" lerdir. Bunlara daha çok Eskişehir-Sivrihisar ve Mihalicçık-Yunusemre yörelerinde rastlanmaktadır. Bu çalışmada da sanayi sepiyoliti kullanılacaktır. Ayrıca volkanosedimanter kökenli malzemelerin (vitrik tuf-kül tufu) diyajenetik süreçler içerisinde, yeraltı ve yerüstü sularının da etkisi ile değişimi sonucu oluşmuş sepiyolit, özellikle Na-sepiyolit (loughlinit) yataklanmaları da önemli bir yer tutar (Eskişehir-Mihalicçık-Koyunağılı). Bunlardan başka ekonomik yataklanmalar oluşturmamasına rağmen, dünyada ve ülkemizde tanımlanmış pek çok farklı oluşum şekillerine sahip sepiyolit türleri mevcuttur. Bunlardan bazıları; Fe-sepiyolit, ksilitil, Ni-sepiyolit, Mn-sepiyolit, Al-sepiyolit ve volkanosedimanter malzemelerin hidrotermal alterasyon ürünü olan Al, Fe-sepiyolittir (Bolu-Kıbrısık, Çankırı-Orta) [28]. Ülkemizde bulunan

bazı lületaşı ve sedimanter sepiyolitler ile dünyadaki bazı sepiyolitlerin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1’de görülmektedir (İrkeç, 1995; Jones ve Galan, 1988).

4.1.1. Dünyada mevcut durum

4.1.1.2. Rezervler

Dünya sedimanter sepiyolit üretiminin hemen hemen tamamı İspanya tarafından karşılanmaktadır. Bu ülkede pek çok sepiyolit yatağı bulunmakla birlikte, rezervleri konusunda bilgi edinilememiştir. Değişik havzalarda, genellikle Pliyosen yaşlı karbonat istifleri, diğer alüminyumlu killer ve detritikler içinde değişken oranlarda bulunmaktadır. Alkalın gölsel ortam ürünleridir. Lebrija havzasında 9 milyon ton civarında sepiyolit+paligorskit rezervi bulunduğu (Galan ve Ferrero, 1982) de belirtilmektedir. Tüm havzalarda (Tajo, Torrejon, Benfica-San Martin de Pusa ve Lebrija) birkaç on milyon ton rezerv olması muhtemeldir. İspanya dışında Çin Halk Cumhuriyeti’nde bazı ekonomik sepiyolit yataklarının varlığı bilinmektedir.

Çizelge 4.1. Eskişehir - Sepetçi (Sarıkaya ve ark., 1985); 2. Konya-Yunak (Yeniyol ve Öztunalı, 1985); 3. Eskişehir - Sivrihisar (ITIT, 1993); 4. Vallecas Sepiyoliti-İspanya (Singer ve Galan, 1984); 5. Bolu - Kıbrısık (İrkeç, 1992) [28]

Bileşim	Lületaşı	Lületaşı	Sedimanter sepiyolit (Sanayi sepiyoliti)	Sedimanter sepiyolit (Sanayi sepiyoliti)	Hidrotermal sepiyolit
(%)	1	2	3	4	5
SiO ₂	52,9	53,02	55,97	60,6	57
MgO	25,89	23,13	22,81	22,45	10,1
Al ₂ O ₃	0,27	0,19	1,56	1,73	8,5
Na ₂ O	-	0,02	0,12	0,16	3,7
K ₂ O	-	0,02	0,27	0,58	1,2
Fe ₂ O ₃	0,36	0,51	0,77	0,62	2,5
MnO	-	-	0,02	-	0,2
TiO ₂	-	-	0,12	-	0,3
CaO	0,01	0,06	0,57	0,4	2
A.Z.	20,55	21,63	17,75	13,22	13,35

İspanya'nın ardından en büyük sedimanter sepiyolit rezervlerine Türkiye sahiptir [28]. Sepiyolit, dünyadaki kaynakları oldukça az olan bir hammaddedir. Buna karşılık başka minerallerin sağlayamadığı kendine özgü fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle sanai kullanımı gittikçe artmaktadır.

4.1.1.3. Sepiyolit özellikleri

Aşağıda, sepiyolit mineralinin en belirgin özelliklerinden ve bunlara bağlı teknolojik uygulama alanlarından kısaca söz edilecektir.

▪ **Absorpsiyon Özelliği:** Zincir yapısına sahip minerallerin kristal strüktürlerinde üç tür aktif absorpsiyon merkezi mevcuttur. Bunlar; (1) tetrahedral tabakalardaki oksijen iyonları, (2) yapısal zincirlerin kenarlarındaki magnezyum iyonlarına koordine olmuş su molekülleri, (3) lif eksenleri boyunca uzanan SiOH gruplarıdır (Serratos, 1979). Sepiyolitte ortalama mikropor çapı 15 Å, mezoporların yarıçapı ise 15 ile 45 Å arasındadır. Teorik olarak sepiyolit için 400 m²/g dış yüzey ve 500 m²/g iç yüzey alanı saptanmıştır (Serna ve Van Scoyoc, 1979). Ancak yüzey alanı hesaplamalarında kristal içi kanallara gönderilen gaz moleküllerinin çap, şekil ve polaritesi önemli olduğundan, bunlar mutlaka refere edilmelidir. Örneğin, setilpiridinyum bromür kullanılarak elde edilen yüzey alanı 60 m²/g iken, aynı örnekte en yaygın metod olan ve nitrojen absorpsiyonuna dayanan BET metodu ile yapılan ölçümde 276 m²/g değeri elde edilebilmektedir (Ruiz-Hitzky ve Fripiat, 1976) [28]. Sepiyolit değişik absorbatlar ile belirlenmiş yüzey alanı değerleri Çizelge 4.2'de, absorptif özellikleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Genellikle su ve amonyum gibi polar moleküller ile nispeten daha az miktarda metil ve etil alkoller sepiyolit kanallarına girebilmesine karşın, polar olmayan gazlar ve organik bileşikler kanallara giremez. Isıtma işlemi mineralin absorpsiyon özelliğini azaltır, çünkü yapısal değişime bağlı olarak mikroporlar yıkılır. Sepiyolit genişleme özelliği yoktur [28].

Çizelge 4.2. Sepiyolitin değişik absorbantlar ile belirlenmiş yüzey alanı değerleri [1]

YÜZEY ALANI	ABSORBANT
(m ² /g)	(gaz veya sıvı)
60	Setilpiridinyum bromür
275	Piridin
276	BET
330	Hegzan
470	Etilen glikol

Çizelge 4.3. ASTM standartlarına göre granüle edilmiş sepiyolitin absorpsiyon özellikleri (Singer ve Galan, 1984) [28]

Granülometri (Mesh)	(mm)	6/15	6/30	15/30	30/60
Yığın yoğunluğu	(gr/l)	450-500	450-570	530-570	550-600
Su absorpsiyonu	(Ford testi)	80-90	95-105	105-115	110-120
Yağ absorpsiyonu	(Ford testi)	65-70	75-80	80-90	90-100
SAE 10 Yağ absorpsiyonu	(Westinghouse testi)	60-65	70-75	75-85	85-95
SAE 20 Yağ absorpsiyonu	(Westinghouse testi)	55-60	65-70	70-80	80-90
Shell index	(kg/cm ²)	-	3,5-4,0	-	-
Nem içeriği	(%)	12±3	12±3	12±3	12±3

Yukarıda özetlenen özgül yüzey alanı ve buna bağlı yüksek absorpsiyon özelliğinden dolayı sepiyolitin başlıca kullanım alanları şunlardır:

- Koku giderici olarak çiftlik ve ahırlarda; evcil hayvanlar ve ahır hayvanlarının atıklarının emilmesi ve koku giderilmesi için zeminlerde (pet-litter),
- Tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak,
- Madeni esaslı yağlar, nebati yağlar ve parafinlerin rafinasyonunda,
- Atık su arıtma sistemlerinde,
- Karbonsuz kopya kağıtları ve sigara filtrelerinde,
- Gastrointestinal sistemle ilgili ilaçlarda toksin ve bakteri emici formülasyonlarda,
- Deterjan ve temizlik maddelerinde.

• **Katalitik Özellik** : Büyük yüzey alanı, mekanik dayanım ve termal duyarlılığından dolayı son zamanlarda sepiyolit granülleri, katalizör taşıyıcı olarak smektit ve kaolin grubu minerallere tercih edilmektedir. Hidrojenasyon, desülfürizasyon, denitrojenasyon, demetilizasyon, etanolden butadien ve metanolden hidrokarbon eldesi gibi birçok katalitik proseste Co,Ni,Fe,Cu,Mo,W,Al,Mg'un katalitik destekleyicisi olarak sepiyolit kullanılmaktadır. Kil minerallerinin katalitik aktivitesi, bunların yüzey aktivitelerinin bir fonksiyonudur. Sepiyolit partiküllerinin yüzeyindeki Silanol (Si-OH) grupları, belli derecede asit özelliğe sahiptir ve katalizör ya da reaksiyon merkezi olarak davranabilir. Bu gruplar, mineralin lif eksenine boyunca 5 Å aralıklarla sıralanmışlardır. Sepiyolit asitle muamelesi, adsorbe katyonların uzaklaştırılması ve yüzey alanında artışa yol açar; gözenek dağılımı ve kristallik derecesini etkiler [28]. Sepiyolit katalitik uygulamaları şunlardır :

- Olefinlerde doygun olmayan C=C bağlarının hidrojenasyonu,
- Otomobil egzozları ve fabrika bacaları için katalitik seramik filtre imali,
- Etanolden butadien üretimi,
- Metanolden hidrokarbon üretimi,
- Sıvı yakıtların hidrojenasyonu.

Sepiyolit katyon değişim kapasitesi (KDK)'nin belirlenmesi ile ilgili olarak yapılan bazı çalışmalarda elde edilen değerler Çizelge 4.4'de verilmektedir (Sabah ve Çelik, 1998). Sepiyolit ve diğer kil minerallerinin nötr ortamda belirlenen KDK değerleri de Çizelge 4.5'de görülmektedir (Çokça, 1993; Breck, 1974).

Çizelge 4.4. Sepiyolite ait bazı katyon değişim kapasitesi değerleri (Sabah ve Çelik, 1998)[1]

Araştırmacı	KDK (meq / 100g)
Grim (1968)	3 - 1
Weaver ve Pollard (1973)	20 - 45
Otsuka (1973)	31,6
Galan (1979)	26
Caillere (1982)	20 - 30

Çizelge 4.5. Tipik kil minerallerinin pH=7'deki KDK değerleri (Çokça, 1993; Breck, 1974) [1]

Kil Mineralleri	Kasyon Değişim Kapasitesi Sınırları (meq/100g)
Montmorillonit (Smektit)	80-150
Vermikülit	100-150
Zeolit	170-260
Sepiyolit-Atapulgit	20-30
Haloyisit.2H ₂ O	5-10
Haloyisit.4H ₂ O	10-40
Illit	10-40
Klorit	10-40
Kaolinit	3-15

• **Reolojik Özellikler** : Sepiyolit, su veya diğer sıvılarla, nispeten düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli (1000-40.000 cps/5 rpm, Brookfield viskozimetresi) ve duraylı süspansiyonlar oluşturur. Sepiyolitten yapılan süspansiyonlar tiksotropik özellik gösterdiğinden, kozmetik, yapıştırıcı ve gübre süspansiyonlarında kalınlaştırıcı (thickener) olarak kullanılır. Sepiyolit ayrıca, diğer killere göre tuzlu ortamlarda daha duyarlıdır ve bu nedenle özellikle petrol sondajlarında çamur malzemesi olarak kullanılır. pH=8'e kadar faydalı özelliklerini muhafaza eder, ancak pH>9 olduğu koşullarda peptizasyon viskozitede ani bir düşüşe neden olur [28]. Reolojik özelliklerinden dolayı kullanıldığı alanlar şunlardır :

- Çözelti kalınlaştırıcı ve tiksotropik özellikleri nedeniyle boya, asfalt kaplamaları, gres yağı ve kozmetik ürünlerde (Çizelge 4.6),
- Yüksek elektrolit konsantrasyonu ve sıcaklığa sahip derin sondajlarda çamur malzemesi olarak,
- Tarımda toprak düzenleyicisi olarak; tohum kaplama ve gübre süspansiyonlarında, haşere ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak,
- Bağlayıcı özelliğinden dolayı eczacılıkta ve katalizör taşıyıcı pelet ve tablet olarak,

- Kağıt, mukavva, filtre ve duvar kağıdı ve kauçuk sanayiilerinde dolgu maddesi olarak,
- Tuğla ve seramik ürünlerde (özellikle high-tech uygulamaları bulunan honeycomb seramikler),
- Deterjan sanayiinde.

Halen dünyadaki en büyük üretici konumunda olan TOLSA'nın (İspanya) çeşitli ürün standartları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Belirtilen PANGEL ticari markalı bu ürünler, sondaj çamuru katkı maddesi, gübre süspansiyonları, su bazlı boyalar, özel harçlarda, solvent bazlı boyalar, bitümlü levhalar ve diğer bitümlü ürünlerde, tavan kaplamalarında, kauçuk, FRC ve fren bloklarında kalınlaştırıcı, çökmeyi önleyici ve absorban dolgu malzemesi olarak uygulama alanları bulmaktadır.

Çizelge 4.6. İşlenmiş sepiyolitın viskozite ve tiksotropi indeksi değerleri [28]

İşlenmiş sepiyolit (%)	Brookfield (rpm)	Brookfield viskozitesi (cps)	Tiksotropi indeksi (2.5 rpm/20 rpm)
0.5	2.5 20	1.600 1.300	1.23
1.0	2.5 20	2.400 1.525	1.57
2.0	2.5 20	9.400 3.275	2.87
3.0	2.5 20	16.000 5.450	2.94

Çizelge 4.7. TOLSA ürün standartları [28]

Tipik Özellikler	PANGEL HV	PANGEL S-9	PANGEL S-15	PANGEL C
Renk	Açık krem	Açık krem	Açık krem	Açık krem
Görünüm	Kurtçuklar şek.	Serbest akış. toz	Serbest akış. toz	Serbest akış. toz
Nem (%)	8 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	10 ± 3
Yığın yoğ. (g/l)	500 ± 50	600 ± 20	300 ± 50	470 ± 50
Sinerezis (%)	0	0	0	<30
PH	8.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5
Brookfield visko. (5 rpm, 25°C)cps	Min. 40.000	Min. 30.000	Min. 40.000	Min. 8.000
Yaş Elek Analizi				
44 µm üstü (%)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	20 ± 5
10 µm üstü (%)	< 7.0	< 5.0	< 5.0	
5 µm altı (%)	> 90.0	> 95.0	> 90.0	

4.1.2. Türkiye’de durum

4.1.2.1. Rezervler

Ülkemizde lületaşı oluşumları, Eskişehir ve Konya illerinde bulunmakla birlikte, en fazla ekonomik öneme sahip olan ve uzun yıllardan beri işletilenler, Eskişehir ilinin yakın çevresinde yer almaktadır. Eskişehir doğusunda Sepetçi, Margı, Sarısu, Kayı, Gökçeoğlu ve Türkmentokat bölgesi ile batısında Nemli-Dutluca bölgeleri lületaşı açısından en önemli bölgelerdir.

Sedimanter sepiyolit yataklarının aranması ve değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar, MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1990 yılında başlatılmış ve İç Anadolu Neojen Havzasının Yukarı Sakarya Kesiminde (Eskişehir-Sivrihisar güneyi) jeolojik etütler, havza etütleri bazında hemen hemen tamamlanmıştır. Sedimanter sepiyolit oluşumları karbonat istifleri içinde yer almakta ve cevher kalitesi, sedimantasyon şartlarına bağlı olarak değişimler göstermektedir. Sepiyolitli dolomitler ile saf sepiyolit oluşumları arasında keskin veya geçişler gösteren cevherleşme, Türktaciri, İlyaspaşa, Tatar (Yenidoğan) Kurtşeyh ve Oğlakçı köyleri civarlarında ekonomik zenginleşmeler şeklindedir. Çalışmalarda 1., 2. ve 3. kalite sepiyolit ayırımları gerçekleştirilmiş olup bu sınıfların sepiyolit minerali içerikleri sırasıyla (% olarak) >90, 70-89 ve 50-69 arasındadır. Bunların dışında, sepiyolit içeriği %50'nin altında olan ve dokusal özellikleri itibariyle pet-litter (hayvan toprağı) malzemesi olarak kullanılabileceği saptanan oluşumlar tespit edilmiştir. %50'nin üzerinde sepiyolitli cevher rezervi, görünür rezerv bazında 1,5 milyon ton civarındadır. Pet-litter rezervi ise birkaç milyon ton mertebesindedir [28].

4.1.2.2 Tüketim

Lületaşı tüketimi, daha çok pipo ve sanat eserleri yapımı şeklindedir. Bu alanda iyi kaliteli taşlar kullanılmakta, artık ve düşük kaliteli taşlar ise, pipo astarı ve pres malzemesi olarak tüketilmektedir. Son yıllarda, sigara filtresi ve absorban olarak çeşitli alanlarda kullanımı üzerine de araştırmalar yürütülmüş ve olumlu

sonuçlar alınmıştır. Sedimanter sepiyolit oluşumlarından, beyaz renkli dolomitli sepiyolitlerin de daha düşük kaliteli süs eşyası yapımında kullanıldığı bilinmektedir.

Sanayi sepiyoliti olarak da adlandırılan sedimanter tipteki sepiyolitın yurtiçi tüketimi henüz olmamakla birlikte pet-litter (hayvan toprağı) kullanımı için yurt içi piyasa oluşmaya başlamıştır. Bu piyasada önemli bir yer tutacağı muhakkaktır. Ayrıca endüstriyel baca gazlarının absorpsiyonu ve petrokimya sanayiinde atık tutulması ve proseslerde deneysel uygulamalarında başarılı sonuçlar vermiştir. Avrupa Topluluğına girme çalışmalarının yürütüldüğü bugünlerde, otomotiv endüstrisine yönelik olarak, çevre problemleri nedeniyle katalitik ekzost kullanımının bir zorunluluk olarak ortaya çıkacağı düşünüldüğünde, bu uygulama için sepiyolitten mamul kordiyerit seramik kullanımının gerekeceğı açıktır. Bu konuda MTA-GIRIN (Japon Araştırma Enstitüsü) arasında yürütölen ve 1993 yılında tamamlanan bir ortak araştırma projesinde (ITIT, 1993) olumlu sonuç alınmıştır [28].

4.1.2.3. Sepiyolit sektöründe üretim yapan önemli kuruluşlar

Ölkemizde lületaşı ve sedimanter sepiyolit üretimi özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir. Sepiyolit sektöründe üretim yapan kuruluşlar ve kapasiteleri Çizelge 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Sepiyolit sektöründe önemli kuruluşlar [28]

Sıra No	Kuruluşun Adı	Yeri	Mülkiyeti	Üretim Konusu	Kapasitesi	İşçi Sayısı
1	Anadolu Endüstri Mineralleri San.Tic. Ltd.Şti	Sivrihisar-Eskişehir	Şirket	Sepiyolit (muhtelif kalitede)	40.000 ton (1998)	12
2	Sakarya Madencilik San.Tic.Ltd.Şti.	Mihalıççık-Eskişehir	Şirket	Sepiyolit (muhtelif kalitede)	60.000 ton (1999)	15

- Her iki firma da kendine ait sepiyolit sahalarından tuvenan cevher üretimi ve yine kendi işleme tesislerinde mamul ve yarı-mamul üretimi yapmaktadır.

Çizelge 4.9. Sepiyolit sektöründe kurulu kapasite durumu (tesis kapasitesi) [28]

Sıra No (1)	Ana Mallar (2)	Kapasite K.K.O. (3)	Kapasite Birimi (4)	Yıl				Yıllık Artış (%)		
				1995 (5)	1996 (6)	1997 (7)	1998 (8)	1996 (9)	1997 (10)	1998 (11)
1	Absorban *		Ton	20.000	20.000	20.000	60.000	0	0	300

* Absorban tanımı : Ticari anlamda daha çok kedi kumu amaçlı kullanılan, daha az miktarlarda dolgu ve endüstriyel katkılarda (genel) yararlanılan, sepiyolit minerali içeriği genellikle % 30 ile 60 arasında olan ve impürite olarak en fazla sedimanter dolomit ve diğer karbonatları içeren killi materyaldir.

4.1.3. Fiyatlar

Firmalara göre değişken olan kedi kumu kalitesinde ve yüksek kalitedeki sepiyolit ürün ihracat fiyatları aşağıda verilmiştir [28]:

-Kedi kumu kalitesi (%40-60 sepiyolit içeren, granüle): 60-75 dolar/ton FOB

-Yüksek kalite (%80 den fazla sepiyolit içeren, granüle): 115-150 dolar/ton FOB

4.1.4. Sepiyolit'in insan sağlığı üzerine etkileri

Sedimanter kökenli sepiyolitlerin kanserojen etkisi olmamasına karşın, diğer oluşum türlerine sahip uzun lifli sepiyolitler kanserojen etkilidir. MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen Sepiyolit Projesi kapsamında yapılan SEM ve TEM çalışmalarında Türk sepiyolitlerinin (Eskişehir-Sivrihisar ve Ankara-Polatlı yöreleri, Türktaciri, Kurtşeyh, Oğlakçı sepiyolit oluşumları) lif boyu 2-5 µ arasında bulunmaktadır [28]. Dolayısıyla kanserojen olmadıkları belirtilebilir.

4.2. Zeolit

İlk zeolit minerali 1756 yılında İsveç’li mineralog Baron Cronstedt tarafından bulunmuştur. Bu kristaller ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyun

köpürmesinden dolayı Yunanca “Kaynayan Taş” anlamına gelen zeolit adını almıştır. Alkali ve toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip sulu alümina silikatları olup çerçeve silikatlar grubundadır. Genel yapısal formülleri; $M_{x/n}.Al_2O_3.xSiO_2.yH_2O$ şeklindedir. Burada M, n değerlikli bir katyon (Na^+, K^+, Ca^{++} , vb.)’dur. Mol sayılarını gösteren x ve y ise zeolit türüne göre değişmektedir [24].

Zeolitleri benzer yapıdaki diğer mineral gruplarından ayıran en önemli özelliği yapı içerisindeki kanallarda su moleküllerinin bulunmasıdır. Yapıda bu su moleküllerinin yer alabileceği birkaç boşluk vardır. Bu boşluklarda Na^+, K^+ ve Ca^{++} su molekülleri ile çevrilir ve su molekülleri zayıf bağlarla hem artı yüklü katyonlara hem de silikat yapıya bağlıdır. Genellikle kalsiyumlu zeolitler diğerlerinden daha fazla su içerirler. Şabazit, höylandit ve stilbit yapısı içindeki su molekülleri potasyumdan daha çok kalsiyum katyonu ile bağlıdır [24].

4.2.1 Kullanım alanları

Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme adsorbsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur. Son yıllarda önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerin bu özelliklerinden dolayı kullanım alanları: kirlilik kontrolü, enerji, tarım-hayvancılık, maden-metalürji ve diğer alanlar olmak üzere beş ana bölümde toplanabilir [28].

4.2.1.1. Kirlilik kontrolü

Zeolit mineralleri iyon değiştirme ve adsorbsiyon özellikleri nedeniyle aşağıdaki kirlilik kontrollerinde gittikçe artarak kullanılmaktadır [28].

▪ **Radyoaktif Atıkların Temizlenmesi:** Nükleer santral atıklarında bulunan ve çevre sağlığı açısından tehlikeli olan Sr^{90} , Cs^{137} , Co^{60} , Ca^{45} gibi izotoplar, zeolitlerle tutulabilmektedirler. Böylece atık sudan alınan radyoaktif atıklar,

zeolitle birlikte gömülerek zararsız hale getirilmektedir. Bu alanda asitlere dayanıklılıkları nedeniyle klinoptilolit ve mordenit kullanılmaktadır.

▪ **Atık Suların Temizlenmesi:** Şehir ve endüstri tesislerin atık sularında bulunan azot bileşikleri (özellikle amonyum), metal iyonları (Pb, Cd, Fe, Cu, vb.) atıldıkları ortamlarda yer altı ve yerüstü sularını kirletmekte ve bu ortamların gerek temiz su gerekse de kullanma suyu olma özelliklerini yok etmektedirler. Ayrıca bu sularda yaşayan balık ve diğer su faunasına toksik etki yapmakta ve bu faunanın beslenmesi için gerekli alglerin üremesini de engellemektedir. Bu nedenle atık sularda bulunan azot ve istenmeyen bazı ağır metal katyonları (örneğin Pb^{++}) zeolitler tarafından kolaylıkla tutulmaktadır. ABD ve Japonya'da pek çok şehir ve endüstriyel atık suları klinoptilolit kullanılarak temizlenmektedir.

▪ **Baca Gazlarının Temizlenmesi:** Petrol ve kömür kullanan tesislerin bacalarından çıkan CO_2 , SO_2 ve diğer kirletici gazlar zeolitlerin adsorblayıcı özelliği ile ayrılabilir. Mordenit ve klinoptilolit bu alanda çok iyi sonuçlar verdiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur.

▪ **Petrol Sızıntılarının Temizlenmesi:** Kirlilik kontrolü uygulamalarında yeni gelişen bu alanda aktifleştirilmiş zeolit, geliştirilmiş perlit, sodyum karbonat, tartarik asit ve %20 metilsiloksan içeren bir bağlayıcıyla peletlenmiş halde kullanılmaktadır. Özgül ağırlığı 0.5 gr/cm^3 ve yağ adsorblama kapasitesi 0.97 gr olan bu malzeme, 200 saat suda yüzebilmekte ve yüzeydeki petrolü adsorblamaktadır.

▪ **Oksijen Üretimi:** Yaşam için gerekli olan oksijenin azalmasına yüzyılımızın sorunlarından olan su ve hava kirliliği neden olmaktadır. Akarsu ve göllerdeki oksijen eksikliği, bu ortamlarda yaşayan balık ve bitkilerin yok olmasına neden olurken kapalı bir mekandaki oksijen azlığı insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu durumlarda zeolitlerin azotu seçimli adsorblama özelliklerinden yararlanarak bu ortalamalara oksijen zenginleştirilmiş hava sağlanabilmektedir. Oksijen üretiminde, daha çok sentetik zeolitlerden yararlanılmakla birlikte, doğal zeolitlerden özellikle mordenit ve bazı klinoptilolitlerle şabazit de kullanılabilir görülmektedir.

▪ **Çöp Deponi Alanları:** Düzenli çöp deponi alanlarının en önemli kesimleri zemin ve zemin stabilizasyonudur. Zeminde kullanılacak astar malzemenin

zemini sağlamlaştırıcı geçirgen olmayan bir yapı göstermesi istenir. Bunun için genelde geçirgenliği az olan killeri kullanılmaktadır. Killeri zamanla şişerek jelleşmeleri ve asit ortamlardan etkilenmeleri nedeniyle problemler yaşanabilmektedir. Yapılan araştırmalar bentonit türü killeri ile klinoptilolit türü zeolitlerin birlikte kullanılmalarının hem zemin kararlılığına olumlu etki yaptığı hem de daha ince astar malzemesi ile zemin oluşturulabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda zeolit sızabilecek sulardaki zararlı iyonları tutarak ayrıca filtre görevi görmektedir.

4.2.1.2. Enerji

Dünyanın gittikçe büyüyen enerji ihtiyacı; kömür ve petrol yanında nükleer ve güneş enerjisi gibi kullanılan ve aynı zamanda da geliştirilmekte olan değişik kaynaklardan karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu kaynakların enerjiye dönüştürülmesi esnasında sentetik ve doğal zeolitlerden faydalanmaktadır [28]. Aşağıda sıralanan aktivitelerde zeolit kullanılmaktadır.

▪ **Kömür Çıkarılmasında:** Kömür ihtiyacının gün geçtikçe artması kaliteli ve kolay işletilebilir rezervlerin azalması, çok derinde bulunan veya kükürtçe zengin kömür yataklarının işletilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu tür yataklarda, kömür yer altında yakılarak gazlaştırılır ve elektrik enerjisine çevrilir. Bu alanda zeolitler kömürün yer altında yakılabilmesi için gerekli oksijenin üretilmesinde ve yanma sırasında oluşan SO_2 'nin yanında patlayıcı özellikteki azotoksit ve hidrokarbonların temizlenmesinde kullanılabilir. Ancak yaygın değildir.

▪ **Doğal Gazların Saflaştırılması:** Zeolitler, 1969 yılından beri kirli veya saf olmayan doğal gazlarından CO_2 'in uzaklaştırılmasında kullanılır.

▪ **Güneş Enerjisinden Faydalanma:** Zeolitlerin sıcaklığa bağlı olarak su verip alma özelliklerinden yararlanarak, klinoptilolit ve şabazit üzerinde yapılan uygulamalarda, küçük yapıların ısıtılması ve klimatize edilmesi, diğer bir deyişle, zeolitlerin güneş enerjisinin transferinde ısı değiştirici olarak kullanılması mümkün görülmektedir.

▪ **Petrol Ürünleri Üretimi:** Burada genellikle, adsorbsiyon kapasiteleri ve etkin gözenek çapları doğal zeolitlere göre daha yüksek olan sentetik zeolitler

kullanılmakla birlikte petrol ve gaz içeren alanların aranması ve paleoortam koşullarının belirlenmesinde önemli bilgiler veren doğal zeolitler, petrol ve gaz üretimi ile bunların rafinasyonunda bazı özel uygulamalarda kullanılabilir. Tabii gazlardan su ve CO₂ mordenit, şabazit ve klinoptilolit kullanılarak ayrılmaktadır. Ayrıca doğal zeolitlerden petrol rafinasyonunda yararlanılabilecek nitelikte katalizörler üretilmiştir.

4.2.1.3. Tarım ve hayvancılık

Zeolitli tüfler, gübrelerin kötü kokusunu gidermek içeriğine kontrol etmek ve asit volkanik toprakların pH'nın yükseltilmesi amacıyla uzun yıllardan beri kullanılmaktadır [28].

▪ **Gübreleme ve Toprak Hazırlanması:** Doğal zeolitler, yüksek iyon değiştirme ve su tutma özellikleri nedeniyle toprağın tarım için hazırlanmasında, çoğunlukla kil bakımından fakir topraklarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek amonyum seçiciliği nedeniyle gübre hazırlanmasında taşıyıcı olarak klinoptilolit kullanılmasıyla amonyumun bitkiler tarafından daha etkin biçimde kullanılması ve gübre tasarrufu sağlanmaktadır. Klinoptilolit nem fazlasını adsorpladığı için gübrelerde depolama sırasında oluşan pişme ve sertleşmeyi de önlenmektedir. Ayrıca fazla sulama nedeniyle oluşan mantari hastalıklarının da önüne geçtiği belirlenmiştir.

▪ **Tarımsal Mücadele:** Doğal zeolitlerden iyon değiştirme ve absorplama kapasitelerinin yüksekliğinden dolayı tarımsal mücadele ilaç taşıyıcı olarak yararlanılmaktadır.

▪ **Toprak Kirliliğinin Kontrolü:** Doğal zeolitlerin katyon seçme ve değiştirme özelliklerinden sadece besleyici iyonların bitkiye aktarılmasında faydalanılmayıp aynı zamanda beslenme zincirlerinde Pb-Cd-Zn-Cu gibi istenmeyen bazı ağır metal katyonlarının tutulmasında da yararlanılabilir. Bu alanda kullanılan klinoptilolit radyoaktif kirlenmenin söz konusu olduğu topraklara ilave edilmesi ile bitki tarafından alınan S⁹⁰ miktarının büyük ölçüde azaltıldığı da saptanmıştır.

▪ **Besicilik:** Yemlerine zeolit ilave edilen tavuk, domuz ve geviş getiren hayvanların normal yemlerle beslenenlere oranla sağlıkları bozulmaksızın ağırlıklarının artışı belirlenmiştir. Bu alanda kullanılan zeolitlerin başlıcaları klinoptilolit ve modernittir.

▪ **Organik Atıkların Muamelesi:** Bu alanda kullanılan doğal zeolitler dışkıların kötü kokusunun giderilmesini, nem içeriklerinin kontrolünü ve dışkılarının oksijensiz ortamda çürümesiyle oluşan metan gazının diğer gazlardan ayrılmasını sağlamaktadır. Koku giderimi ve nem içeriğinin kontrolü ile hayvan barınaklarında daha sağlıklı koşul yaratılmaktadır. Özellikle klinoptilolit ile muamele edilen gübreler (özellikle tavuk gübresi) çok daha kısa zamanda kullanılabilir ve daha zengin içerikli olmaktadır.

▪ **Su Kültürü:** Göl ve göletlerde biyolojik artıkların neden olduğu kirliliğin temizlenmesinde doğal zeolitler özellikle klinoptilolit etkin olarak kullanılmaktadır. Ayrıca doğal zeolitlerden, canlı balık taşımacılığı ve su kültür ortamlarında ihtiyaç duyulan oksijence zengin hava akımının temininde de yararlanılmaktadır.

4.2.1.4. Madencilik ve metalürji

▪ **Maden Yataklarının Aranması:** Volkanik malzemenin hidrolizi sonucu oluşan zeolitler cevher yataklarının oluşumlarının açıklanması yanında, aramalarında da kullanılabilir. Japonya'da tüflü kumtaşlarındaki uranyum cevherleşmesinin klinoptilolit-hölanditli seviyelere bağımlı olduğu belirlenmiştir. Ülkemizde ise zeolitli tüflerin borat oluşumları ile ilişkileri dikkat çekmektedir.

▪ **Metalürji:** Çevre sağlığı açısından tehlike oluşturan bazı ağır metal katyonları içeren madencilik ve metalurjik faaliyetlerinden ortaya çıkan atık sular, doğal zeolitlerin katyon değiştirme özelliklerinden faydalanılarak arıtılabilmektedir. Ayrıca pirometalurji sanayinde CaCO_3 ve doğal zeolit karışımı Cu-Pb alaşımlarının eritilmesinde ortaya çıkan zararlı dumanları %90 oranında yok edebilmektedir [28].

4.2.1.5. Diğer kullanım alanları

▪ **Kağıt Endüstrisi:** Yüksek parlaklığı olan zeolit cevherleri, kağıt endüstrisinde dolgu maddesi olarak gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Klinoptilolit katkılı kağıt, normal kil katkılı kağıtlara göre daha tok olup, kolay kesilebilmekte ve mürekkebi daha az dağıtmaktadır. Klinoptilolit -10 mikrona kadar öğütüldüğünde aşındırma endeksi %3'den az, parlaklığı 80 civarında bir malzeme özelliği kazanır. %28 zeolit tozu katılmış bir karışımdan klasik kağıda göre çok daha hafif kağıt üretimi mümkündür.

▪ **İnşaat Sektörü:** Puzzolan çimento ve beton: Zeolitik tüf yatakları, birçok ülkede puzzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzzolanlar, son beton ürününün daima yer altı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılaşma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir. Perlit ve diğer volkanik camlar gibi doğal zeolitler de genişlemeye uygundur. Genleştirilmiş zeolitlerin sıkışma ve aşınmaya karşı dayanımı daha yüksek olup, genleştirilmiş hafif agregat üretilmektedir. Zeolitik tüfler, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen, sıkı –sağlam yapıdadırlar. Kolayca kesilip işlenebilmeleri ve hafiflikleri ile yapı taşı olarak kullanılırlar. Birçok ülkede uzun yıllar bu amaçla kullanılan devitrifiye volkanik küller ve değişime uğramış tüflerin zeolit içerikli olduğu son yıllarda anlaşılmıştır.

▪ **Sağlık Sektörü:** Doğal zeolitler bu alanda çeşitli şekillerde kullanılmakla birlikte, bunlar arasında en önemlisi klinoptilolit flörürlü diş macunlarında parlaticı katkı maddesi olarak kullanılmasıdır. Klinoptilolitler Küba'da ülser ve ishal tedavisinde ilaç olarak kullanılmaktadır. Bu konuda alınmış patentleri bulunmaktadır. Ayrıca kesik türü yaralanmış hayvanların tedavisinde yaranın enfeksiyon kapmaması için toz olarak kullanılmaktadır.

▪ **Deterjan Sektörü:** Çevre kirlenmesi nedeniyle deterjanlarda fosfat kullanımı bazı ülkelerde kısıtlanmaktadır. Bu yüzden deterjan katkı maddesi olarak sentetik zeolitler fosfatlarının yerine kullanılmaktadır. Son yıllarda doğal

zeolitlerin de bu alanda kullanılmasına yönelik bazı çalışmalar devam etmektedir [28].

4.2.2 Sektördeki kuruluşlar

Zeolit sektörü kapsamında bu bölümde doğal zeolitler ele alınacaktır. Sektörde bir kamu ve dört özel şirket zeolit üretimi ile uğraşmaktadır. Bu şirketlerden kamu sektör temsilcisi ETİ Holding zeoliti, bor üretimi sırasında örtü olarak kaldırdığı malzeme içinden üretmektedir. Özel sektör temsilcilerinden ikisi doğrudan zeolit üretimi ve pazarlaması ile uğraşmaktadır. Diğer iki şirket ise üretime yeni başlamak üzeredir. Sektördeki kuruluşların mülkiyeti (kamu-özel) itibariyle sayıları, kapasiteleri, işçi sayıları, sermayeleri ve coğrafi dağılımları Çizelge 4.10' da verilmiştir.

4.2.3 Ürün standartları

Sektörde üretilen önemli ürünler için halen uygulanmakta olan TSE ve DIN, SAE, ANFOR gibi standartlar yoktur. Şu an için zeolitlerden yalnızca klinoptilolit minerali için hayvan yemi katkısı olarak kullanımı için Tarım ve Köy İşleri Bakanlığınca verilmiş bir izin vardır. Aynı konuda klino için A.B.D ve AB standartları vardır ve uygulanmaktadır. A.B.D, Avrupa ve ülkemizde zeolitlerin kullanıldığı sektörlerle göre standart hale gelmiş özellikleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

4.2.4. Fiyatlar

Zeolit sektörü çok yeni bir sektör olduğundan fiyatlar 1995 yılından itibaren oldukça değişken seyretmektedir. Üretilen klino/zeolit ürünleri 1995 yılından buyana pazarda yer alma savaşı vermektedir. Şu an için ülkemizde yalnızca klino üretimi yapıldığından bu kalem üzerinde durulacaktır. Klino tüketimi istenilen rakamlara ulaşmadığından üretim maliyetleri yüksek olarak çıkmaktadır. Üretici şirketlerin verdiği bilgiler ışığında 1999 yılı sonu itibarıyla ortalama maliyet ton

başına 25-30 USD arasında değişmektedir. Klinonun satış fiyatları ülke bazında aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.12). Ayrıca yurtiçinde üretim yapan iki firmanın yıllara göre değişen fiyatları da Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Zeolit Sektöründe Önemli Kuruluşlar [28]

Sıra No:	Kuruluşun Adı	Yeri	Mülkiyeti	Üretim Konusu	1999 Yılı Kapasitesi (Ton)	İşçi Sayısı
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	ETİ HOLDİNG	Balıkesir	Kamu	Bor madeni üretimi	-	-
2	ENLİ MADENCİLİK A.Ş.	Manisa-Gördes	Özel	Zeolit üretimi	20.000	30
3	İNCAL A.Ş.	Manisa-Gördes	Özel	Zeolit üretimi	20.000	-
4	AGRONAT Ltd.	Manisa-Gördes	Özel	Zeolit üretimi	Üretime başlamadı	-
5	Orhan Özyüncü	Manisa-Gördes	Özel	Zeolit üretimi	Üretime başlamadı	-

Çizelge 4.11. A.B.D. Avrupa ve Türkiye’de zeolitlerin kullanıldığı sektörler göre standart hale gelmiş özellikleri [28]

Ürün cinsi	Mineralojik içerikleri ve oranları	ürün boyutları	Özellikler
Yem katkı	Klinoptilolit 75-85 Diğerleri en fazla %25	0-0.7 mm	Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek
Toprak katkı Türkiye ve Avrupa	Klinoptilolit % 75-85 Diğerleri en fazla %25	0.7-1.8 mm	Potasyum -klino olacak, Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek
Toprak (Çim) katkı A.B.D	Klinoptilolit % 75-85 Diğerleri en fazla %25	0.25-1.00 mm	Potasyum -klino olacak, Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek
Hayvan altlığı	Klinoptilolit % 75-85 Diğerleri en fazla %25	1.8-3.5 mm	Klinoptilolit veya şabazit olacak
At altlığı	Klinoptilolit en az % 85 Diğerleri en fazla %15	0-1.0 mm	Klinoptilolit veya şabazit olacak
Balık havuzları	Klinoptilolit en az % 85 Diğerleri en fazla %15	16-30 mm	Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek
Su arıtma	Klinoptilolit en az % Diğerleri en fazla %15	1-2.5 mm, 2.5-5 mm, 2-3.5 mm	Potasyum veya sodyum klino olacak, Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek
Gaz arıtma	Klinoptilolit en az % 85 Diğerleri en fazla %15	3-5 mm, 5-7 mm, 9-15 mm,	Potasyum veya sodyum klino olacak, Bor içeriği 10 ppm den düşük olacak ve lifli mineral içermeyecek

Çizelge 4.12. Çeşitli ülkelerde zeolit satış fiyatları [28]

Ülke	Tane Boyu	Fiyat (USD)	Teslim yeri
A.B.D	< 40 mesh	30-70	Ocak teslimi
	+40-325 mesh	50-120	Ocak teslimi
Malezya	Tüvenan	65	FOB
	Ürün	80-95	FOB
Bulgaristan	Ürün	70-85	FOB
Türkiye	Ürün	75-85	FOB

Çizelge 4.13. Zeolit Fiyatları (Milyon TL/ton) [28]

Ürün bazında Klino fiyatları	Toprak Düzenleyici			Hayvan Yemi Katkısı			Hayvan Altlığı		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Üretici fiyatları	27-37	30-37	37-50	25-36	30-36	30-36	12-20	16-20	18-22
Toptan fiyatları	50-75	55-70	60-75	30-70	35-70	35-70	15-25	18-25	20-25
Tüketici fiyatları	65-85	70-90	80-95	40-93	45-93	45-93	20-30	24-30	28-30

Üretici fiyatları : Malın fabrika çıkış fiyatları (KDV dahil)

Toptan fiyatları : Toptancının satış fiyatı (KDV + nakliye dahil)

Tüketici fiyatları : Tüketicinin ödediği fiyat (KDV +nakliye dahil)

Australian East-West Minerals NL firması zeolitlerini -3/8 inç (-9 mm), -3/8 inç +4 mesh (-9 mm +4.76 mm), -4+8 mesh (-4.76 +2.38 mm), -4+35 mesh (-4.76 +0.50 mm), -4 mesh (-4.76 mm), -8+20 mesh (-2.38 +0.84 mm), -20 +35 mesh (-0.84 +0.50 mm), -35 mesh (-0.50 mm) lik boyut grupları halinde pazara sunmaktadır.

4.3. Kirleticiler

4.3.1. Ağır metaller

Yoğunluğu 5 g/cm³'den fazla olan metaller ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım ekolojik olarak yeterli bir tanım kabul edilmemekte ve bu tanımın yanısıra ağır metaller atom numarası 20 den büyük olan, toksisite ve kirlilik yaratan metaller olarak da tanımlanmaktadır (Phipps, 1981) [29]. Bu grup 70 adet elementi içermekte olup bunlardan 20 tanesi ekolojik açıdan öneme

sahiptir (Matthess, 1984). Önemli ağır metallerin ekolojik açıdan sınıflandırılması Çizelge 4.14’de verilmiştir.

ABD Çevre Koruma Kurumu (EPA) tarafından öncelikli kirletici olarak kabul edilen bazı elementler; Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Zn, Th, U, vb.’dir. Bu elementlerin değişik ortamlarda çözünürlükleri de farklıdır. Genel olarak pH’ı düştükçe çözünme oranı artar. Ağır metaller çevreye genellikle ticari ve endüstriyel aktivitelerden katılmaktadır. Türkiye Çevre Atlası (2003) verilerine göre değişik sanayi sektörü atık sularında bulunan ağır metaller Ek-8’de verilmiştir. Bu verilere göre krom ve çinko 21, kurşun 20, bakır 17 ve kadmiyum 16 sanayii sektörünün atık suyunda bulunmaktadır.

Çizelge 4.14. Önemli ağır metallerin ekolojik açıdan sınıflandırılması (B.E. Davies, 1980) [29]

Element	Yoğunluğu g/cm ³	Bitki ve hayvanlar için önemi	Kirleticilik özelliği
Ag (Gümüş)	10,5	-	K
Cd (Kadmiyum)	8,7	-	K
Cr (Krom)	7,2	Ö	K
Co (Kobalt)	8,9	Ö	K
Cu (Bakır)	8,9	Ö	K
Fe (Demir)	7,9	Ö	K
Hg (Civa)	13,6	-	K
Mn (Mangan)	7,4	Ö	-
Pb (Kurşun)	11,3	-	K
Mo (Molibden)	10,2	Ö	K
Ni (Nikel)	8,9	Ö	K
Pt (Platin)	21,5	-	-
Tl (Talyum)	11,9	-	K
Th (Toryum)	11,5	-	K
Sn (Kalay)	7,3	-	K
U (Uranyum)	19,1	Ö	K
V (Vanadyum)	6,1	Ö	-
W (Tungsten)	19,3	Ö	K
Zn (Çinko)	7,1	Ö	K
Zr (Zirkonyum)	6,5	-	-

Bu çalışmada da birçok sanayii atığında bulunmasından dolayı krom ve bakır çözeltileri kullanılmıştır. Çeşitli sanayilerdeki ağır metallerin kaynakları Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Bazı Ağır Metallerin Kaynakları (Tüfekçi, 1996) [30]

Kaynağı	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt, mukavva, sunta		+	+		+		+	+		+
Organik kimyasallar, Petrol atıkları	+	+		+	+		+		+	+
Alkali, klorürlü inorganik kimyasallar	+	+		+	+		+		+	+
Yapay gübreler	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Petrol arıtımı	+	+	+	+			+	+		+
Çelik fabrikaları	+	+	+	+	+		+	+	+	+
Fe(II) içermeyen metal işleme yerleri	+	+	+		+		+			+
Motorlu araçlar, Hava ulaşımı	+	+	+		+			+		
Cam ürünleri		+								
Tekstil fabrikaları		+								
Deri endüstrisi		+			+					
Buharla çalışan fabrikalar		+								+

Bu metallerden bazıları belirli miktarda olmak koşuluyla biyolojik yaşamın gelişmesi için gerekli olduğu halde, bunların bir veya birkaçının aşırı miktarda varlığı zararlıdır, özellikle Pb, Cu, Cd, Ag, Co, Zn, Cr, Ni gibi bazı katyonlar için müsaade edilebilir maksimum sınır 1 ppm’in altındadır (Lund, 1971; Besselièvre ve Schwartz, 1976) [2,9]. Toprak ve su kirleticilerinin sınır değerleri Ek-9 ve Ek-10’da verilmiştir [31] ve [32]. Toprakta ağır metallerin doğal miktarı Çizelge 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Toprakta ağır metallerin doğal miktarı [29]

Element	Normal değer (ppm)	Ağır metallerce zengin topraklarda değer (ppm)	Kaynak
Cd (Kadmiyum)	-0,5	800 'e kadar	(1) (3)
Cr (Krom)	5-100	4000'e kadar	(4)
Co (Kobalt)	0,05-300	1000'e kadar	(2)
Cu (Bakır)	2-60	2000'e kadar	(3)
Pb (Kurşun)	0,1-150	10000'e kadar	(3)
Mn (Mangan)	500-1000	10000'e kadar	(4)
Hg (Civa)	0,04-0,4	20'e kadar	(2) (5)
Mo (Molibden)	0,2-5	100'e kadar	(3)
Ni (Nikel)	2-100	8000'e kadar	(3)
Ag (Gümüş)	-1	30'e kadar	(5)
Sn (Kalay)	1-10	50'e kadar	(2)
Th (Toryum)	1000-1000	25000'e kadar	(4)
V (Vanadyum)	-300	400'e kadar	(4)
Zn (Çinko)	25-200	1'e kadar	(3)

(1) Schefer ve Schachtschabel (1989)

(2) Fiedler ve Rösler (1988)

(3) Thornton (1981)

(4) Aubert ve Pinta (1977)

(5) Kabata-Pendias ve Pendias (1984)

Ağır metaller ve bileşiklerinin insan sağlığına etkileri kısaca şöyle özetlenebilir: Üst solunum yolu ve nefes darlığı, zatürre ve bronşit gibi akciğer hastalıkları; mide bağırsak ve ishal gibi sindirim sistemi ve idrar yolları, böbrek ve hemorojik nefrit gibi boşaltım sistemi bozuklukları; yüksek tansiyon ve çarpıntı gibi kalp damar ve dolaşım sistemi ve sarılık gibi karaciğer hastalıkları ve çeşitli alerjilere neden olmaktadır. Ayrıca zehirlenmelere ve üst solunum yolları, akciğer, sindirim, karaciğer, kan ve mide kanserlerine de yol açabilmektedirler (Altay, 1988) [1].

3.3.1.1. Bakır (Cu)

Bitkiler ve hayvanlar için öldürücü özellik taşıyan bakır elementi, genellikle mangan ve demirin hidroksit oksitleri ile meydana gelir. Bakırın adsorpsiyonunda organik madde ve serbest mangan oksitleri önemlidir. Toprakta bakır ağır metalinin doğal miktarı 2-60 ppm, ağır metallerce zengin topraklarda ise bu değer 2000 ppm'e kadar çıkmaktadır [31]. Maksimum bakır miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nce 50-140 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 1-190 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 36 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 500 mg/kg'dir [1]. Bakır elementi sudaki canlılar için kuvvetli toksik nitelik taşıyan bir elementtir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nce sınıfları ile I'inci, II'inci, III'üncü ve IV su kalite sınıflarında bakır elementi miktarları (mg/l); 20, 50, 200 ve >200'dür.

Fazla organik madde içeren zeminlerde bakır miktarı azdır. Bakır fazlalığı, bitkilerin demir almasını güçleştirir. Toprakta bakır ile organik madde arasındaki ilişki önemlidir. Topraktaki bakırın önemli bölümü zor çözünebilen veya çözünmeyen organik ve inorganik bileşikler olarak bulunur.

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

Bakır birçok ürünün elde edilmesinde (bakır telleri, elektrik iletim telleri, elektronik endüstrisinde) kullanılmaktadır ve endüstrilerin atık sularında da yığılan sedimentler üzerindeki değerleri ortalama 530 mg/kg kuru ağırlık, aşırı durumlarda da 5300 mg/kg kuru ağırlığa kadar çıkabilir. Aynı şekilde arıtma çamurlarında bakır içeriği 10.000 mg/kg kuru ağırlık düzeyine kadar çıkabilmektedir. Çeşitli bitkilerde yaklaşık 20 mg/kg kuru ağırlık üzerine bakır zehirliliği saptanmıştır. Bazı bitkilerin besin çözeltisinde 0.1 mg/l konsantrasyonu aynı şekilde olabilmektedir. Bakır çözünürlüğü ve alınabilir duruma geçmesi, pH<5 olduğu durumlarda daha belirgin olarak yükselir. Eğer toprağın pH değeri 6'nın üzerine çıkarsa, bakırca zengin kuvvetli asit topraklarda Cu toksitesisi azalmaktadır. Aynı zamanda yüksek fosfat da bakır alımını etkilemektedir.

İçerisinde 100 mg/kg'dan fazla bakır içeren atık suların ve arıtma çamurların toprağa verilmesi sınırlandırılmıştır. İçinde 100 mg/kg bulunması halinde bile, mera otlarında bakır içeriği çok yüksek olur (15 mg/kg kuru madde) ve koyunlarda zehirleyici etkide bulunur (Conner, 1990) [1].

Genel olarak algler, deniz bitkileri ve omurgasızlar için aşırı bakır oldukça toksik, fakat memeliler için daha az toksiktir. Normal bir erişkinin vücudunda 100-150 mg bakır vardır. Sıradan bir diyetin içerdiği günlük bakır miktarı 2-5 mg kadardır. Herhangi bir şekilde aşırı bakır alınması halinde görülen akut bakır zehirlenmesinin belirtileri yanma hissi, metalik tat, bulantı, kusma karın ağrısı, ishal ve yaygın kas ağrılarıdır. Bazı vakalarda koma ve ölüm görülebilir (Berkov, 1982) [1].

Tarımda kullanılan sularda 0.1 ppm kadar bakır derişimlerinde toksisite gözlenmektedir. 0.5 ppm kadar bakır derişimi ile bitkilerin %35'inin öldüğü belirlenmiştir, isticidyeler için toksik olabilecek derişim 0.1 ppm'in üstündeki değerlerdir. Alüminyum, paslanmaz çelik ve demir tanklarda iki ay sürelerle yaşadktan sonra bakır kaplı tanklara aktarılan İstakozlar bir gün içinde ölmüştür (Lund, 1971) [1].

3.3.1.2. Krom (Cr)

Toksisite ve kirlilik yaratan, bitkiler ve hayvanlar için öldürücü bir ağır metal olan krom elementi, birçok sanayi sektörü atıklarında bulunmaktadır. Bu sanayii sektörlerinden bazıları: maden , petrol , deri, kimya , metal , taşıt fabrikaları, tersaneler ve gemi söküm tesisleri, karışık endüstriyel nitelikli diğer sanayiilerdir. Krom zehirlenmesi deri bozukluklarına yol açmaktadır. Krom inorganik bir kimyasaldır. Zemin içinde taşınabilen ve en fazla çözünebilen metaldir. Kromun zararlı şekli kromat (CrO_4^{2-}) gibi kromun hexavalent veya dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) durumudur.

Kromun toprak içindeki kil minerallerine adsorbe edildiği ve çözünürlüğünün $\text{pH} > 4$ olduğu koşullarda gerçekleştiği ve $\text{pH} = 5.5$ civarında ise çökeldiği bilinmektedir. Toprakta krom ağır metalinin doğal miktarı 5-100 ppm, ağır metallerce zengin topraklarda ise bu değer 4000 ppm'e kadar çıkmaktadır

[31]. Maksimum krom miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nce 100 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 0.5-110 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 100 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 800 mg/kg, EPA değerlerine göre sızıntı suyu içerisinde 5 mg/l, EPA'ya göre içme suyunda 0.05 mg/l'dir [1]. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nce sırası ile I'inci, II'inci, III'üncü ve IV su kalite sınıflarında Cr ve Cr⁺⁶ elementleri miktarı (mg/l); 20, 50, 200 ve >200, ölçülemeyecek kadar az, 20, 50 ve >50'dir .

Endüstride paslanmaz çelik üretiminde, lehim ve pas önleme üretimlerinde, yapı malzemelerinden boya, cila cam ve seramik malzemelerinde ve deri endüstrisinde kullanılır. Almanya'da 100.000 ton krom üretilmekte ve bunun 25.000 tonu çevrede hava, su ve toprağa verilerek kirlilik meydana getirilmektedir [1].

5. DENEY YÖNTEMLERİ

Kullanılacak geçirimsizlik malzemesinin seçimi ve bu malzemenin kirletici ile etkileşiminin belirlenmesi için deneyler yapılır. Bu deneylerin bir kısmı malzemelerin indeks, mekanik, fiziko-kimyasal ve mikro yapısal özelliklerini belirleyen laboratuvar deneyleri, bir kısmı da geçirimsiz malzeme ile atık arasındaki ilişkiyi zamana bağlı olarak tespit etmek için yapılan arazi uygulamalarıdır.

5.1. İndeks Deneyleri

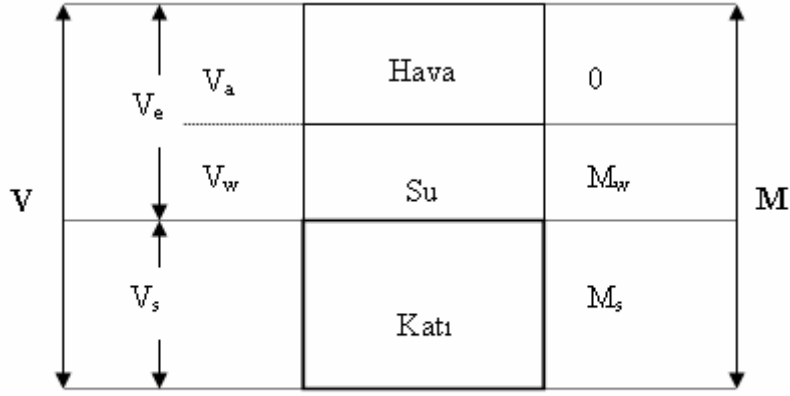
5.1.1. Su muhtevası

Bir zeminin su muhtevası, içerdiği suyun, dane kütesine oranı olarak tarif edilmektedir. Numunenin doğal durumunda, 105 °C etüvde 24 saat kurutulduktan sonra yapılan ölçümlerden, su miktarının kuru dane ağırlığına oranı olarak, yüzde (%) cinsinden ifade edilir. Laboratuvarda su muhtevası deneyi, ASTM D2216-80 (1985) belirtilen, "Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil, Rock, and Soil Aggregate Mixtures", ASTM D 2216-80 (1985) metoduna göre yapılmıştır.

5.1.2. Özgül ağırlık

Şekil 5.1 'de katılar olarak gösterilen bölüm, zemin iskeletini oluşturan danelerin net toplam kütle hacmidir. Mineral içeriği farklı olduğundan, bu değerler değişebilir. Minerallerin 20 °C sıcaklıkta 1 cm³ hacme karşılık gelen net kütesine dane birim hacim ağırlığı (γ_s) denmektedir [33].

Özgül ağırlık (G_s), dane birim hacim ağırlığının, suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak tarif edilir ve boyutsuzdur. Özgül ağırlık deneyi ASTM D854-83 (1985) belirtilen "Test Method for Specific Gravity of Soil" standardına göre yapılmıştır.



Şekil 5.1. İki boyutlu blok diyagram [33]

5.1.3. Dane çapı dağılımı

Bir malzemenin dane boyutu dağılımı, elek analizi ve hidrometre deneyleri ile saptanır. Elek analizi ile, 0,075 mm'den daha büyük danelerin dane boyutu dağılımı bulunur. 0,075 mm 'den daha küçük danelerin dane boyutu dağılımı ise, hidrometre metoduyla saptanır. Dane çapı dağılımının belirlenebilmesi amacıyla yapılan elek analizi için ASTM D421-58 (1978) belirtilen "Method for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants" metodu ve hidrometre analizi için ASTM D422-63 (1972) belirtilen "Method for Particle-Size Analysis of Soil" metodu kullanılmıştır.

5.1.4. Atterberg kıvam limitleri

Killer ve kil içeren kuru karışımlar, suyla yoğrulduklarında toz görünümünden çamura, su miktarı daha da artırılırsa, sıvıya dönüşürler. Bu özellik değişimine kıvam denmektedir. Bu kıvamların su muhtevası limitlerini belirlemek amacıyla kıvam limiti deneyleri yapılır. Atterberg limitleri malzemenin plastiklik ve likitlik kıvamları arasındaki su muhtevalarını belirleyen deneylerdir. Kıvam limitleri, ince daneli malzeme içeriğinin sınıflandırılmasında, mukavemet ve şişme karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır. Laboratuarda yapılan likit ve plastik limit deneyleri için ASTM D-4318-84 standardı uygulanmıştır [33].

5.2. Mekanik özellikler

5.2.1. Standart kompaksiyon deneyi

Kompaksiyon deneyi, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının bulunması için yapılan deneydir. Bu deneyde değişik su muhtevalarında hazırlanan zemin numuneleri, 944 cm³ hacminde bir kalıp içinde, üç tabaka halinde ve her tabakaya 25 vuruş gelecek şekilde 590 kJ/m³ enerji uygulanarak sıkıştırılmıştır. Standart kompaksiyon deneyi, ASTM D698-78 (1985) belirtilen "Test Methods for Moisture-Density Relations of Soils and Soil Aggregate Mixtures, Using 5.5-lb (2.49-kg) Rammer and 12 - in. (305-mm) Drop" metoduna göre yapılmıştır.

5.2.2. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyinde, silindir numune üzerine yanal bir destek olmaksızın sadece düşey yönde yük uygulanmaktadır. Desteksiz olarak kendini tutabilen zeminlerde uygulandığından dolayı killi zeminler için uygundur. Numune kırılıncaya kadar basınçla yüklenir. Kırılma esnasında yanal şişme ve kayma meydana gelir. Deney sırasında numunenin drenajı kontrol edilemediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilmektedir. Numunelerin serbest basınç deneyleri ASTM D2166-66 (1979) belirtilen "Test Methods for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil" metoduna göre yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Serbest basınç deney aleti

5.2.3. Üç eksenli basınç deneyi

Zeminin kayma mukavemeti karakteristiklerini saptamak için kullanılan laboratuvar deney yöntemleri arasında üç eksenli basınç deneyi en gelişmiş deney yöntemlerinden birisidir. Bu deney ile, zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemetini gerçeğe en yakın olarak belirlemek mümkündür. Her çeşit zemin ve drenaj şartları için uygundur.

Deneyde, silindirik bir zemin numunesi bir hücre içine yerleştirilmekte ve hücreye uygulanan basınç (hava veya su basıncı) vasıtası ile zemin numunesi üzerinde hidrostatik bir basınç uygulanabilmektedir. Deney düzeneği Şekil 5.3’de verilmiştir. Numune etrafına geçirilen bir lastik kılıf zeminin hücreyi dolduran su ile temas etmesini önlemekte ve numune içine ve dışına ayrı ayrı basınçlar uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Numune üst başlığına temas eden bir piston

vasıtası ile eksenel gerilme uygulanmakta, numune alt ve üst başlıklarına bağlı ince kanallar vasıtası ile de deney sırasında drenaj durumu kontrol edilebilmektedir.

5.2.4. Düşen seviyeli permeabilite deneyi

Permeabilite deneyi ile suyun zemin kütleleri içerisindeki boşluklarda hareketi belirlenir. Permeabilite katsayısı kirliliğin fiziksel olarak izole edilme kapasitesini gösterir. Atık veya zemin içerisindeki asit ve bazlar zemin kütlelerindeki mineraller ve diğer katı maddelerin erimesine sebep olur, boşluklar ve dolayısıyla permeabilite artar.

Permeabilite katsayısının belirlenmesi için laboratuarda kil ve silt gibi ince daneli zeminlere uygulanan düşen seviyeli permeabilite deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler USEPA Method 9100 (1986)'da belirtilen "Saturated Hydraulic Conductivity, Saturated Leachate Conductivity and Intrinsic Permeability" deney yöntemine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Üç eksenli basınç deney aleti



Şekil 5.4. Esnek-duvarlı permeabilite hücreleri ve kontrol panelleri

5.2.5. Konsolidasyon deneyi

Sabit yük altında, zeminin boşluklarındaki suyun dışarı çıkması sonucu meydana gelen hacimsel şekil değiştirmeye konsolidasyon adı verilmektedir. Deneylerde kullanan numuneler, optimum su muhtevasında standart proktorda sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler ödometre haznesine yerleştirildikten sonra ASTM D2435'e uygun olarak konsolide edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Üç eksenli basınç deney aleti

5.2.6. Serbest şişme deneyi

Serbest şişme deneyi, şişen bir zeminde meydana gelebilecek maksimum hacim değişiminin düşey yöndeki şişme ile ifade edilmesine dayanır. Genellikle düşey yöndeki şişme miktarı, yüksüz veya çok küçük sürsarj yükleri altında belirlenmektedir. Serbest şişme deneyleri ASTM D4546-85'ya göre ve 0.07 kg / cm^2 (1 PSI) yüklemeyle konsolidasyon aletinde yapılmıştır.

5.3. Fiziko-Kimyasal Özellikler

5.3.1. PH

Sepiyolit/zeolit= %30 karışımına ait pH değerleri belirlenmiştir. Laboratuarda oda sıcaklığında ($18-21^{\circ}\text{C}$) 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 alındı ve 50 ml ASTM Type

H'ye uygun saf su ile bir beher içinde 30 dakika karıştırıldı. Karıştırılan karışımların üzeri kapatılarak 1 saat sonra pH değerleri ölçüldü. PH deneyi için U.S. EPA Method 9045 (1986)'da belirtilen "Soil pH" metodu kullanıldı.. Ölçümlerde zemin çözeltilisinin üzerindeki berrak kısmın içerisine cam elektrotlu pH metre (Orion Model 420A) daldırıldı ve numunelerin pH değerleri belirlendi.

5.3.2. Elektriksel iletkenlik

Sepiyolit/zeolit= %30 karışımına ait elektriksel iletkenlik (EC) değerleri belirlenmiştir. Laboratuarda oda sıcaklığında (18-21°C) üzeri açık olarak kurumaya bırakılan numuneler tamamen hava kurusu normuna (yani %3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 16 nolu (1.31 mm) elekten elendi. Daha sonra bu numunelerden 150-250 gr arasında alınarak saf su ile bir beher içinde doymun hale getirildi. Doymunluk, zeminin su ile doymun hale gelmesi durumunda çamurun yüzeyinin ışığı yansıttığı için parıldaması ve kap eğilince çamurun yavaşça akması gözlenerek ayarlandı. Karıştırma işi bitince doymun hale getirilmiş çamurun üzeri kapatılarak 1 gün bekletildi. Elektriksel iletkenliği ölçülecek çözeltilerin içerisine Omega CDB-70 Conductivity Meter cihazının cam elektrotu daldırılarak numunenin elektriksel iletkenliği belirlendi (Wilcox,1946; Karakouzian et al., 1996).

5.3.3. Ateşte kayıp miktarı (Organik madde miktarı)

Ateşte kayıp (veya organik madde miktarı) kuru yakma yöntemi ile belirlenmiştir. Bu metot organik maddenin kaba bir ölçüsünü vermektedir. Metotta numuneler önce 105°C'de 24 saat kurutuldu. Bu numuneler daha sonra 550°C'de 2 saat fırında yakıldı (Standard Methods, 1993, Horaeck et al., 1989).

5.3.4. Toplam metal miktarı

Sızıntı deneyleri sonrası toplanan sızıntı sularının ağır metal içeriklerini belirlemek amacıyla bakır (Cu) ve krom (Cr) miktarları tespit edilmiştir. Metal

miktarları Atomik Absorpsiyon (AA), Perkin Elmer Atomic Absorbtion Spectrometer 3110 cihazı ile yapılmıştır. Uygulanan metod U.S. EPA Method 3050, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils, 1986 metoduna uygun bir yöntemdir.

5.3.5. Katyon değişim kapasitesinin tayini

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

Zeminin tane boyutu küçüldükçe, organik ve inorganik kirleticilerin tutulabilmeleri kolaylaşmaktadır. Kil gibi katyon değişim kapasitesi yüksek zemin türleri ağır metalleri adsorblayabilmektedir. PH değeri, zemindeki katyon değişim kapasitesini doğrudan etkilemektedir Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , Na^{+} , Al^{+3} ve H^{+} gibi katyonlar, zemin içinde yüksek katyon değişimine sahiptirler. Katyon değişim kapasitesi, zeminin birim ağırlığı ve birim kütleindeki değişebilen toplam katyon miktarını gösterir. Zeminin katyon miktarı, kil ve organik madde miktarı ile artar.

Katyon değişim kapasitesi sodyum doyurma (saturasyon) metodu ile belirlendi. Numuneler öncelikle, 24 saat 105 °C de kurutuldu, 100 nolu elekten elenen numuneler sodyum asetat ile santrifüj kullanılarak doygun hale getirildi. Böylece numune içerisindeki kil yüzeyindeki ve tabakalar arasındaki katyonlar ile sodyum yer değiştirmiş oldu. Daha sonra, numuneler isopropyl alkol ile tuzları atmak için yıkandı. Son olarak, numuneler amonyum asetat ile zemin içerisindeki kil yüzeyine adsorbe edilen sodyumun ortama çıkartılması için yıkandı. Buradan sodyum miktarı atomik adsorpsiyon cihazı ile belirlendi.

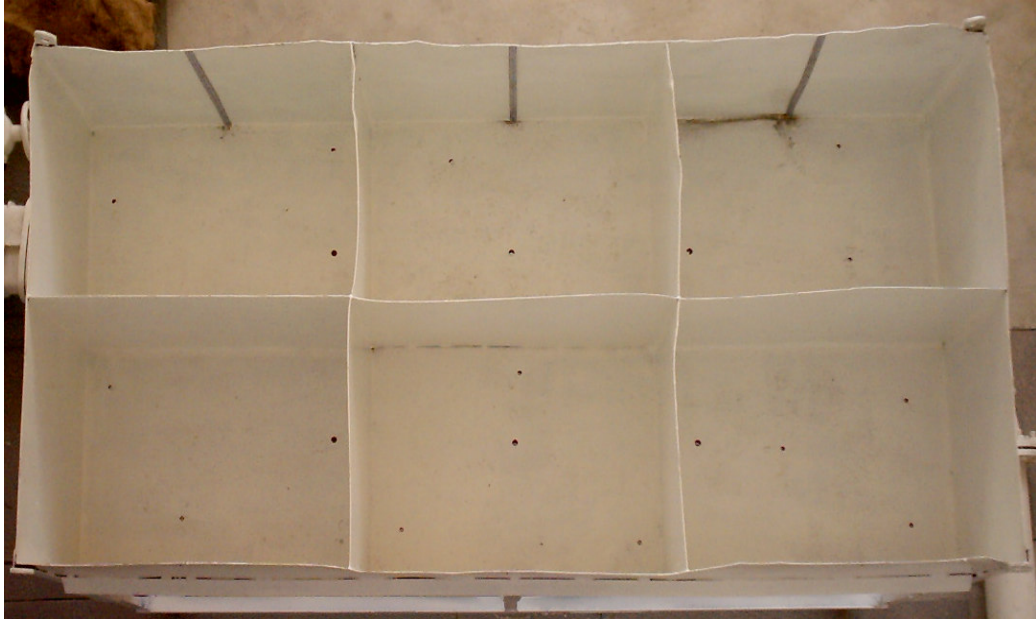
5.4. Arazi Uygulamaları

Atık deponi alanında, geçirimsizliğin oluşturulduğu malzeme ve atık arasındaki etkileşimi zamana bağlı olarak incelemek için arazi uygulamaları

yapılmıştır. Bu çalışmada, 6 farklı arazi uygulaması yapılmış ve 16 haftalık süre içerisinde ortam koşulları sabit tutulmuştur (17-20 °C).

5.4.1. Arazi uygulamaları için kullanılan minyatür deponi

Arazi uygulamalarında, daha önce dizayn edilen (Sarıkavaklı, 2003) 6 bölümlü minyatür deponi tankı kullanılmıştır. Bu deponi çelik sac kullanılarak ve her bir bölmesi 60-80 cm boyutlarında yapılmıştır. Malzeme yerleştirilmesi esnasında, kompaksiyondan meydana gelebilecek titreşimlerin etkisini yok etmek için tankın altında ve yanlarında köşebent ve profiller bulunmaktadır. Her bir bölümün altına dörder delik açılmış ve delik altlarına numune kabını tutacak şekilde kafesler yapılmıştır. Numune kabı olarak temizlenen pet şişeler kullanılmıştır. Tankın kullanımı uzun süreli olacağından, korozyona karşı korumak için epoksi ve gemi boyası ile boyanmıştır. Tank içerisine seviyeleri takip etmek için şerit metre perçinlenmiştir. Tankın üstten görünüşü Şekil 5.6’da, önden görünüşü ise Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.6. Minyatür deponinin üstten görünüşü



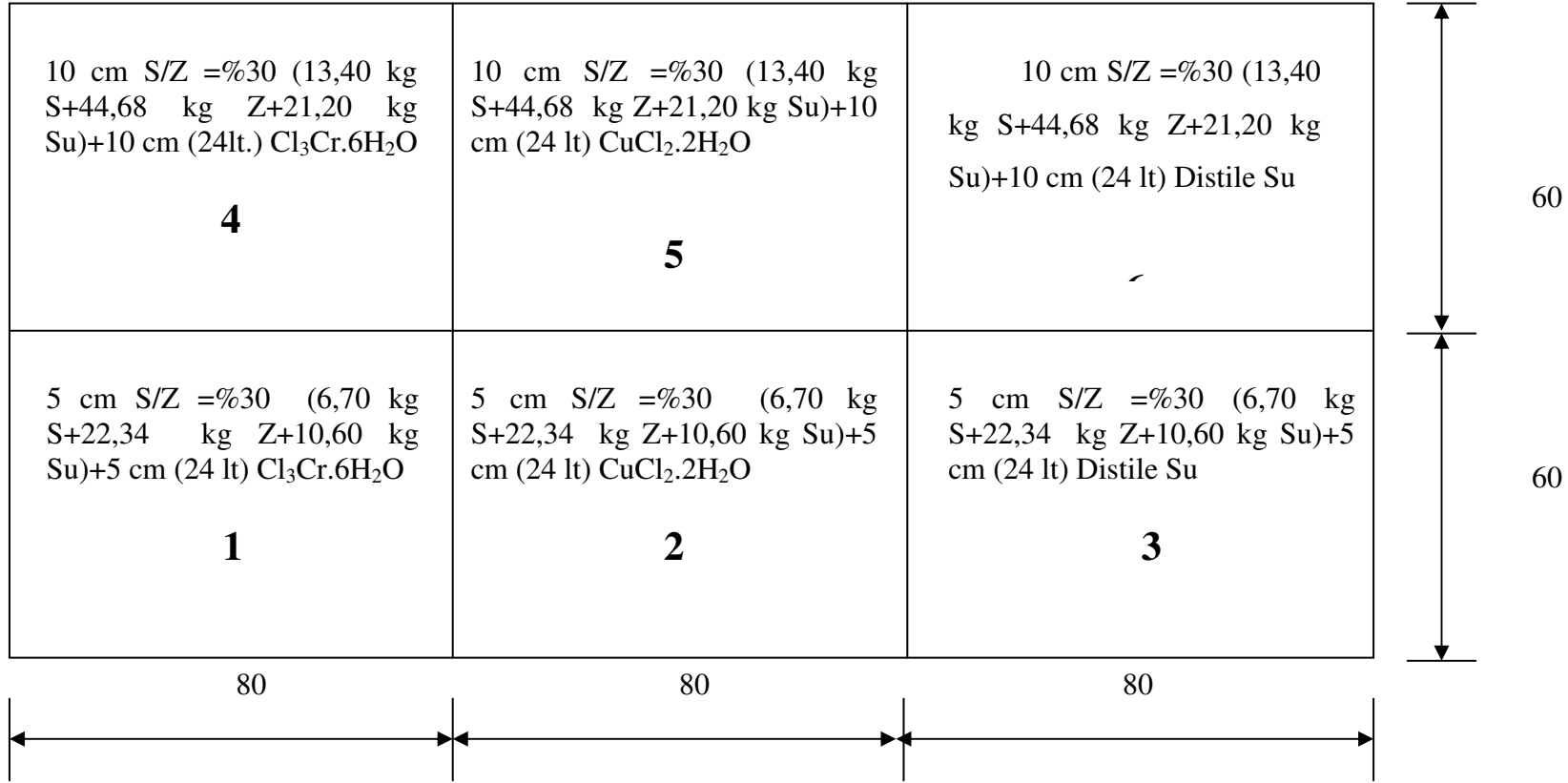
Şekil 5.7. Minyatür deponinin önden görünüşü

5.4.2. Geçirimsizlik malzemesinin hazırlanması

Karışımları hazırlamak için gerekli olan optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlıkları önceden laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Bu bilgiler sayesinde her bir bölüme yerleştirilecek malzemenin, geçirimsizlik tabaka kalınlıkları ve bu kalınlığa tekabül eden ağırlıkları belirlenmiştir. Bölümlere konacak malzeme, Şekil 5.8’de verilen beton mikserinde homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Beton mikserinde önce sepiyolit ve zeolit karıştırılmış, daha sonra miktarı belirlenen distile su üç aşamada karışıma ilave edilmiştir. Karıştırma esnasında malzemenin kırılmamasına dikkat edilmiştir. Minyatür deponiye malzemelerin yerleşim planı Şekil 5.9’da, kullanılan malzeme karışım miktarları ise Çizelge 5.1’de verilmiştir. Mikserde karıştırılmış numunenin son hali Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.8. Geçirimsizlik malzemelerinin karıştırıldığı mikser



Şekil 5.9. Minyatür deponi malzeme yerleşim çizelgesi

Çizelge 5.1. Arazi uygulamalarında kullanılan malzeme miktarları

ÖZELLİKLER	5cm S/Z=%30 + Cl₃Cr.6H₂O NO=1	5 cm S/Z=%30 + CuCl₂.2H₂O NO=2	5 cm S/Z =%30 +Distile Su NO=3	10 cm S/Z =%30 + Cl₃Cr.6H₂O NO=4	10 cm S/Z =%30 + CuCl₂.2H₂O NO=5	10 cm S/Z =%30 +Distile Su NO=6
Max. Kuru Bir. Hac. Ağır. (gr/cm³)	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
Optimum Su Muhtevası (%)	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5
Tabaka Hacmi (m³)	0,024	0,024	0,024	0,048	0,048	0,048
Kuru Malzeme Miktarı (kg)	29,04	29,04	29,04	58,08	58,08	58,08
Toplam Malzeme Miktarı (kg)	39,64	39,64	39,64	79,28	79,28	79,28
Kirletici Miktarları (lt)	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024



Şekil 5.10. Mikserde karıştırılmış numunenin son hali

5.4.3 Hazırlanan geçirimsizlik malzemesinin bölümlere yerleştirilmesi

Bölümlere geçirimsizlik malzemesini yerleştirmeden önce, sızan sıvıların toplanması ve deliklere ulaştırılması için bölümlerin içerisine iki kat poroz kağıt serilmiştir. İki kat poroz kağıt yerleştirilen deponi bölümü Şekil 5.11’de verilmiştir. Bölümlere konacak malzeme miktarları belli olduğundan her biri tartılarak düzenek içerisine yerleştirilmiş, elle yayılarak üzerleri teraziye getirilmiştir. Her bir bölüm, dizayn edilen tokmakla hesaplanan seviyelere indirilmiştir. Sıkıştırma esnasında bölümlerdeki geçirimsizlik tabaka yüzeylerinin eşit enerjilerle sıkıştırılmasına ve yüzeylerin düzgün olmasına özen gösterilmiştir. Geçirimsizlik malzemesinin bölümlere boşaltılıp, sıkıştırma aşamaları Şekil 5.12-5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.11. İki kat poroz kağıt yerleştirilen deponi bölmeleri

1, 2 ve 3'nolu bölümlerde 5 cm kalınlığında geçirimsizlik tabakası kullanılmış ve tek tabaka halinde sıkıştırılmıştır. 4, 5 ve 6'nolu bölümlerde ise 10 cm kalınlığında geçirimsizlik malzemesi kullanılmış ve 5'er cm kalınlığında 2 ayrı tabaka halinde sıkıştırma yapılmıştır.



Şekil 5.12. Geçirimsizlik malzemesinin sıkıştırılmamış hali



Şekil 5.13. Geçirimsizlik malzemesinin sıkıştırılmadan önce bölme içerisinde yayılması

Sıkıştırma işlemleri tamamlandıktan sonra her bölümün üzerine 2 kat poroz kağıt, onun üzerine de ıslak beton kür çuvalları serilmiştir. Uygun kür ortamının sağlanması için ıslak çuvallar üzerine de naylon serilmiş ve 28 gün beklenilmiştir. Uygun kür koşullarının sağlanması için yapılan işlemler Şekil 15 ve Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 5.14. Geçirimsizlik malzemesinin sıkıştırılması



Şekil 5.15. Geçirimsizlik tabakasının sıkıştırılmış ve üzeri poroz kağıt kaplanmış hali



Şekil 5.16. Geçirimsizlik tabakasının üzerine nemli çuval ve naylon örtülmesi

5.4.4. Kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılması

Malzeme alanındaki zeminin doğal su içeriği malzemenin optimumundan farklı ise, bunu optimum değere getirmek büyük çaba gerektirir. Doğal su içeriği ve zemindeki ince malzeme yüzdesi arttıkça bu zorluk artar. Bazı durumlarda malzeme alanındaki zeminin olduğu gibi kullanılması zorunluluğu doğabilir. Alandan kazı makineleri ile alınan kil malzeme topak halindedir. Bu bireysel kil topakları arasındaki boşluklar titreşim ve kısa süreli basınçlar ile azaltılamaz. Buna karşın keçi ayağı silindirlerin kullanılması, boşlukların azaltılmasında etkindir ve sıkışmanın niteliği de buna bağlıdır. En iyi sonuçlar eğer doğal su içeriği değeri plastik limit (PL) yakınlarında ise elde edilir. Eğer su içeriği plastik limitten oldukça büyükse, kil sıkıştırma aracına yapışır yada araç zemine gömülme eğilimi gösterir. Su içeriği plastik limitten oldukça küçük ise kil topakları parçalanamaz ve aralarındaki boşluklar açık kalır .

Kohezyonlu zeminler için, en iyi sıkışma optimum su içeriğinde sağlanır. Bu durumda sıkışmış zeminin hava etkilerine karşı en iyi korunmayı yaptığı söylenebilir. Ancak her ülkenin iklim koşullarına göre optimum su içeriğinin, belirli bir ölçüde altında ve üstünde sıkıştırma yapılabilir. Örneğin ülkemizde genellikle standart proktor deneyi ile elde edilen optimumun %90-95'i değerinde sıkıştırma yapılmaktadır. Amerika'da bu optimumun üstünde, İngiltere'de ise optimumdan düşük bir su içeriği değerinde sıkıştırma yapılır. Zeminin sıkıştırıldığı anda ki su içeriği sıkıştırıldığı durumdaki zeminin özellikleri üzerinde etkilidir. Araştırmalar göstermiştir ki, optimumun altında bir su içeriği değerinde sıkıştırılan zeminin geçirgenlik katsayısında, bu başlangıç sıkıştırma su içeriği değeri optimumun üstündeki bir değere doğru artırıldıkça, büyük ölçüde azalma olmaktadır [34].

Zeminlerde gerek kohezyon gerekse içsel sürtünme açısı su içeriğinin artmasıyla azalır. Bu nedenle en büyük kuru birim ağırlık değerine en büyük c (kohezyon) ve en büyük ϕ (içsel sürtünme açısı) karşı gelmez. Optimumdan çok düşük su içeriğinde sıkıştırılmış bir zeminin kayma mukavemeti oldukça artar, ancak ne var ki bu yanıltıcıdır. Zamanla ve dolgu, su içeriğinin artması ile kayma mukavemetinde büyük ölçüde azalma olur. Optimumun üstünde bir su içeriğinde

sıkıştırılmış zemin ise, kohezyon ve içsel sürtünme açısı, su içeriği ile ters orantılı olduğundan istenen kayma mukavemeti sağlanamaz. Kompaksiyon geçirimsiz tabakanın stabilitesi için genel bir uygulamadır. Atık depolama yerinin tam olarak stabilize olduğunun söylenebilmesi için, depolama alanının sıkışmasının tamamlanmış olması gerekmektedir. Deponi alanı geçirimsizlik tabakasının nasıl sıkıştırılacağı, kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası değerleri kullanılarak sıkıştırıcıların, geçiş sayılarının ve hızlarının belirlenmesi gerekmektedir.

5.4.5. Atık suların minyatür deponi düzeneğine yerleştirilmesi

Optimum su muhtevasında bölümlere yerleştirilen malzemelerin, 28 günlük kürünün sonunda üzerinde bulunan örtü malzemeleri alınmıştır. Bölümlerin yanlarından sıvı kaçışını önlemek için bölme kenarlarına silikon çekilmiştir. Silikon çekilmesi Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. Geçirimsizlik tabakasının kenarlarına silikon çekilmesi

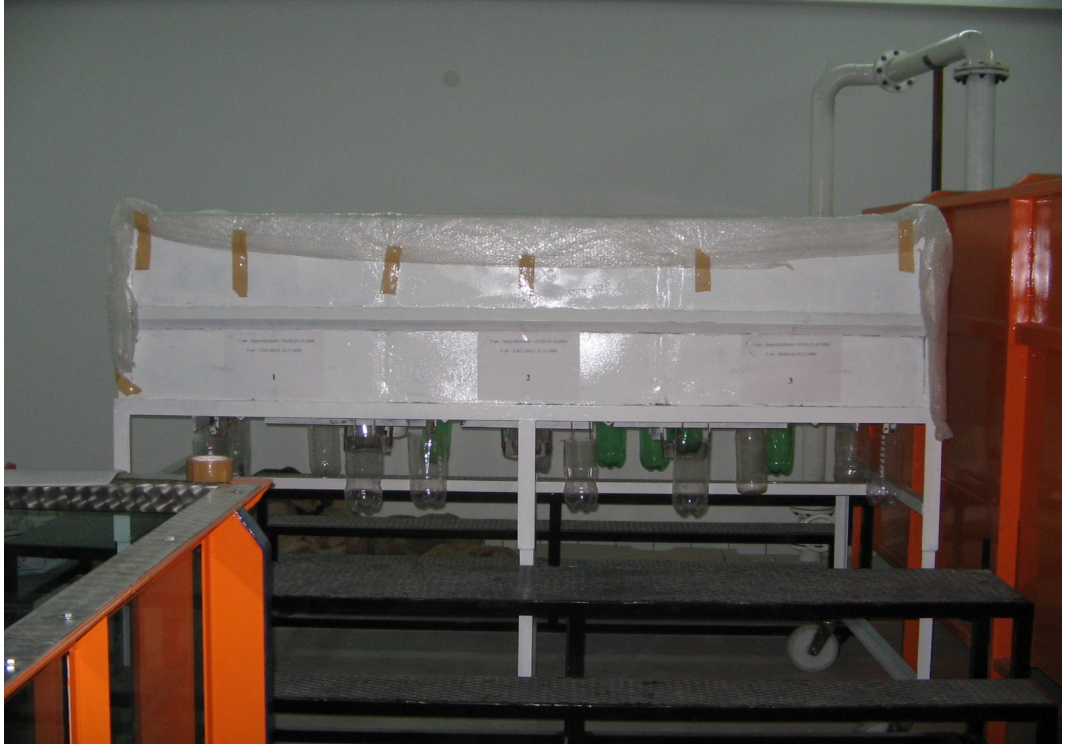
Kirleticiler Şekil 5.18’de verilen mikserlerde 1 lt’lik çözeltiler halinde hazırlanmıştır. 1 ve 4’nolu bölmelere 24 lt 1000 ppm’lik $\text{Cr}_3\text{Clx6H}_2\text{O}$ çözeltisi, 2 ve 5’nolu bölümlere de 24 lt 1000 ppm’lik $\text{CuCl}_2\text{x2H}_2\text{O}$ çözeltisi ve 3 ve 6’nolu bölümlere ise 24 lt distile su boşaltılmıştır. Sıvılar Şekil 5.19’da gösterildiği gibi bölümlere boşaltılırken zemini örselememesine dikkat edilmiştir. Dolum işlemlerinden sonra bölümlerin üzeri naylon branda ile kapatılarak sıvıların buharlaşması engellenmiştir. Deponinin naylon branda ile kapatılması Şekil 5.20’de verilmiştir. Daha sonra gözlemlere başlanmıştır.



Şekil 5.18. Kirleticilerin hazırlanması



Şekil 5.19. Kirleticilerin bölümlere boşaltılması



Şekil 5.20. Minyatür deponinin naylon branda ile kaplanması

6. DENEY SONUÇLARI

6.1. Karışımlar

Deneylerde sepiyolit ve zeolit malzemesi birlikte kullanılmıştır. Bu malzemelerin karışım oranları ve deponi alanı tabanlarında kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği daha önceden belirlenmiştir (Kabakçı, 2004). Hazırlanan geçirimsizlik malzemesinin geosentetiklere ve diğer geçirimsizlik malzemelerine alternatif olup olamayacağı ve uygulamada nasıl sonuçlar vereceğini belirlemek üzere laboratuvar deneyleri ve pilot arazi uygulaması yapılmıştır. Pilot arazi uygulaması, daha önce Sarıkavaklı (2003) tarafından dizayn edilen ve kullanılan mini deponi tankında gerçekleştirilmiştir. Karışımlar sepiyolit ve zeolit malzemesi etüvde 24 saat süreyle 105°C de bekletildikten sonra hazırlanmıştır. Deneylerde sepiyolit/zeolit= %30 karışımı kullanılmıştır. Bu karışım oranı en iyi karışım oranı olarak Kabakçı (2004) verilmiştir. Karışım oranları ağırlık esas alınarak kullanılmıştır.

6.2. Geoteknik Özellikler

Geoteknik özellikler olarak, dane özgül ağırlı, dane çapı dağılımı ve Atterberg kıvam limitleri gibi fiziksel özellikler, kompaksiyon deneyi, serbest basınç deneyi, permeabilite deneyi, üç eksenli basınç deneyi, konsolidasyon deneyi ve serbest şişme deneyi gibi mekanik özellikler belirlenmiştir.

6.2.1. Fiziksel (indeks) özellikler

Fiziksel özellikler olarak, dane özgül ağırlı, dane çapı dağılımı ve Atterberg kıvam limitleri belirlenmiştir.

6.2.1.1. Dane özgül ağırlığı

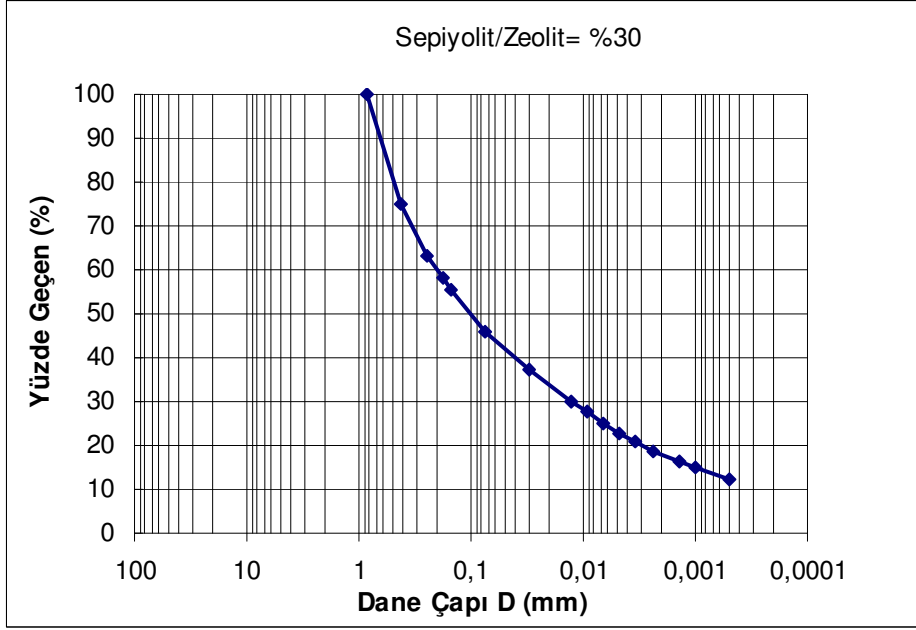
Sepiyolit, zeolit ve karışımların kirletilmemiş ve kirletilmiş numunelerine ait dane özgül ağırlık değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Sonuçlarından elde edilen değerlerin literatürle uyum içinde olduğu görülmüştür.

6.2.1.2. Dane çapı dağılımı

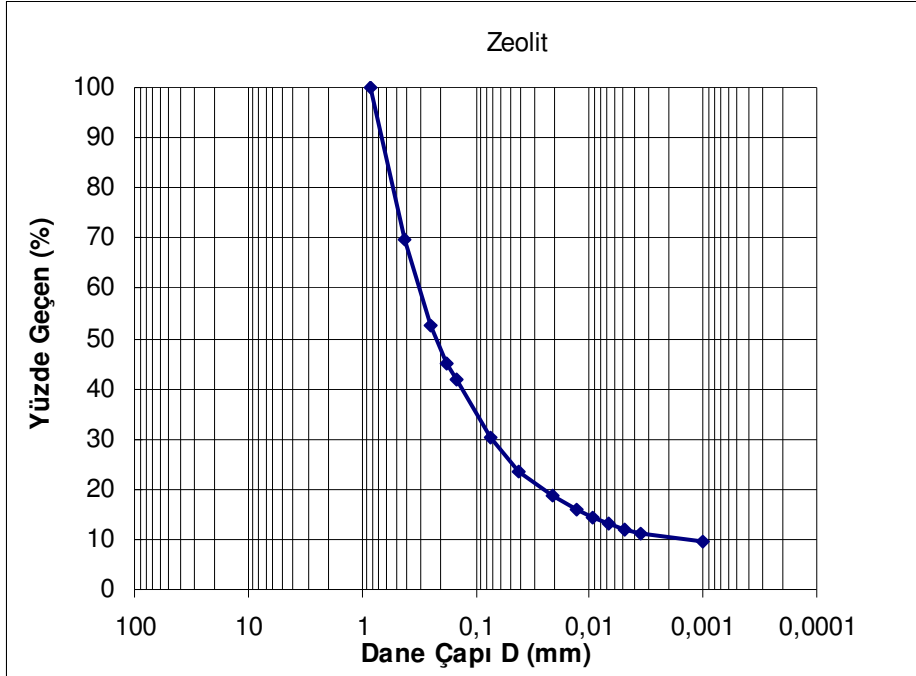
Üretici tarafından satışa sunulan granüle hale getirilmiş sepiyolit 200’nolu (0,074 mm) elekten geçecek şekilde öğütülmüştür. Zeolit ve karışımların dane çapı dağılımı ıslak metotla belirlenmiştir. Sepiyolit/zeolit= %30, zeolit, sepiyolit, 5 cm geçirimsizlik tabakalı krom çözeltisi, 5 cm geçirimsizlik tabakalı bakır çözeltisi ve 5 cm geçirimsizlik tabakalı distile sulu karışımların malzemelerine ait dane çapı dağılımı sırası ile Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6’da verilmiştir. Tüm sonuçlar ise Çizelge 6.2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, karışımların bekleme süresi arttıkça içerisindeki silt oranı azalmış, kil oranı ise artmıştır.

Çizelge 6.1. Sepiyolit ve zeolit karışımlara ait dane özgül ağırlıkları

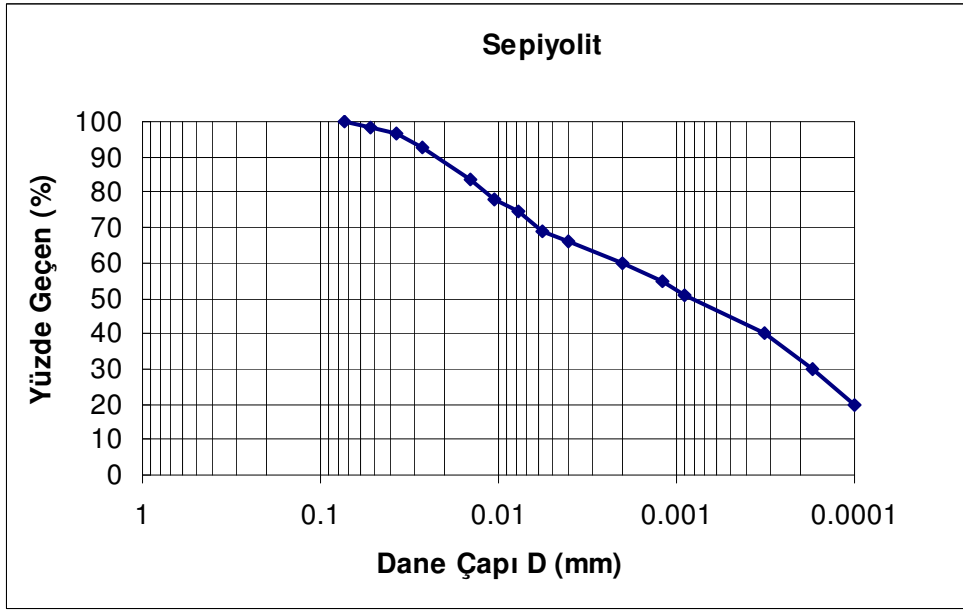
Malzeme	Dane Özgül Ağırlığı
Sepiyolit	2,68
Zeolit	2,37
Sepiyolit/Zeolit= %30	2,39
5 cm geçirimsizlik tabakalı krom çözeltisi karışım	2,40
5 cm geçirimsizlik tabakalı bakır çözeltisi karışım	2,40
5 cm geçirimsizlik tabakalı distile sulu karışım	2,40



Şekil 6.1. Sepiyolit/Zeolit (%30) Karışımının Dane Çapı Dağılım Eğrisi
(Çakıl (%):0, Kum (%):54, Silt (%): 28, Kil(%):18, SM (Siltli Kum))

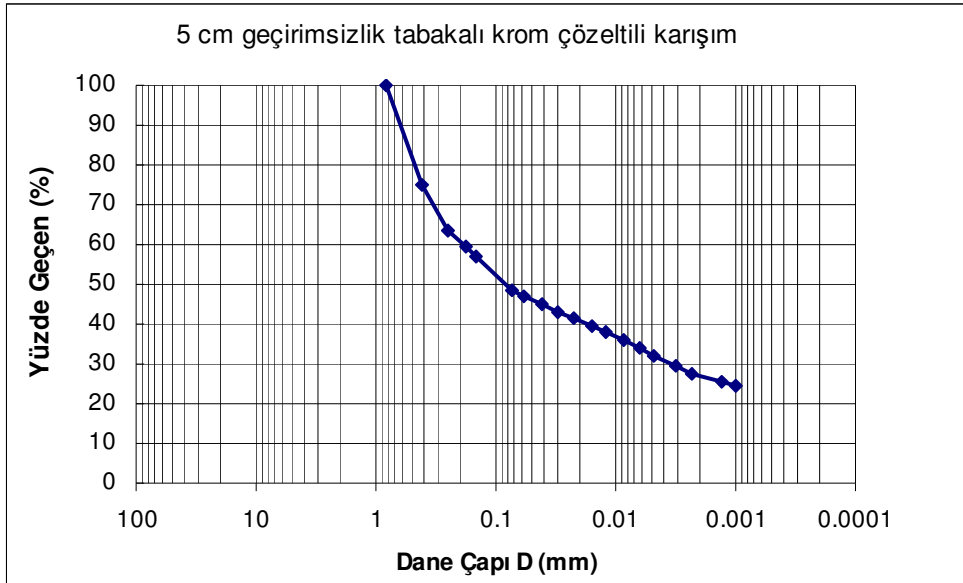


Şekil 6.2. Zeolit'in Dane Çapı Dağılım Eğrisi
(Çakıl (%):0, Kum (%):70, Silt (%): 20, Kil(%):10, SM (Siltli Kum))



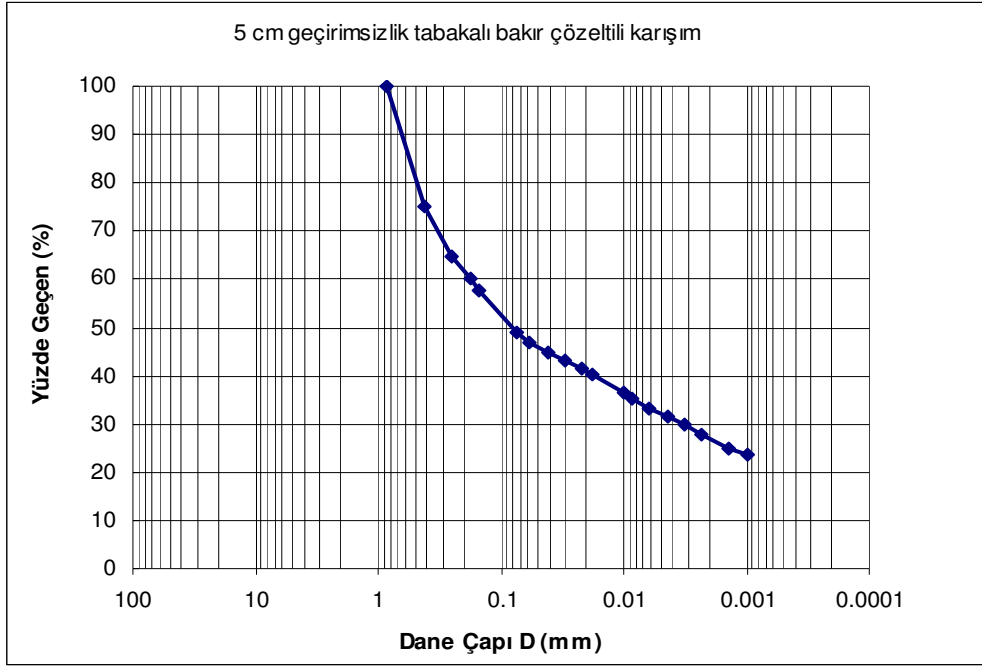
Şekil 6.3. NO=1(Cr)'in Dane Çapı Dağılım Eğrisi

(Çakıl (%):0, Kum (%):0, Silt (%): 40, Kil(%):60, CH (Siltli Kil))

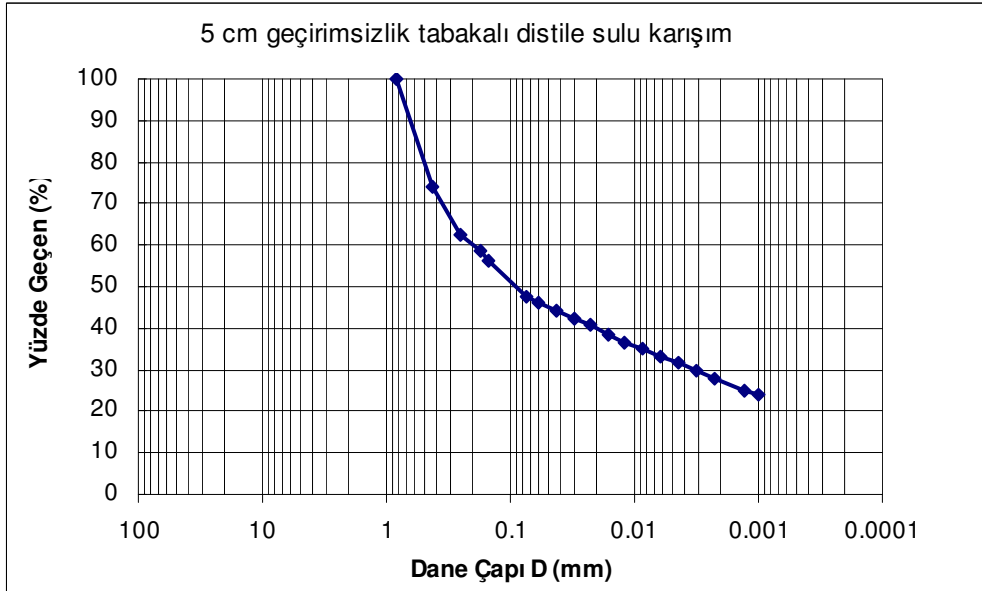


Şekil 6.4. 5 cm geçirimsizlik tabakalı krom çözeltili karışımın dane çapı dağılım eğrisi

(Çakıl (%):0, Kum (%):52, Silt (%): 20, Kil(%):28, SC (Killi Kum))



Şekil 6.5. 5 cm geçirimsizlik tabakalı bakır çözeltili karışımın dane çapı dağılım eğrisi
(Çakıl (%):0, Kum (%):51, Silt (%): 21, Kil(%): 28, SC (Killi Kum))



Şekil 6.6. 5 cm geçirimsizlik tabakalı distile sulu karışımın dane çapı dağılım eğrisi
(Çakıl (%):0, Kum (%):52, Silt (%): 20, Kil(%): 28, SC (Killi Kum))

Çizelge 6.2. Dane çapı dağılımı sonuçları

Malzeme	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
Zeolit	0	70	20	10
Sepiyolit	0	0	40	60
Zeolit+(0,30)Sepiyolit	0	54	28	18
Cr çözeltili numune (tank)	0	52	20	28
Cu çözeltili numune (tank)	0	51	21	28
Distile sulu çözeltili numune (tank)	0	52	20	28

6.2.1.3. Atterberg Kıvam Limitleri

Sepiyolit, zeolit ve karışımlara ait Atterberg kıvam limitleri belirlenerek Çizelge 6.3’de verilmiştir. Sepiyolit, kaolinit ve karışımların kıvam limitleri belirlenmiştir. Plastisite indisi krom çözeltisi bulunan minyatür deponi tankında en düşük çıkmıştır. Bunun nedeni kromun numuneyi dispers bir yapıya sokmasıdır.

6.2.2. Mekanik özellikler

Mekanik özellikler olarak, kompaksiyon deneyi, serbest basınç deneyi, permeabilite deneyi, üç eksenli basınç deneyi, konsolidasyon deneyi ve serbest şişme deneyi yapılmıştır.

6.2.2.1. Kompaksiyon deneyi

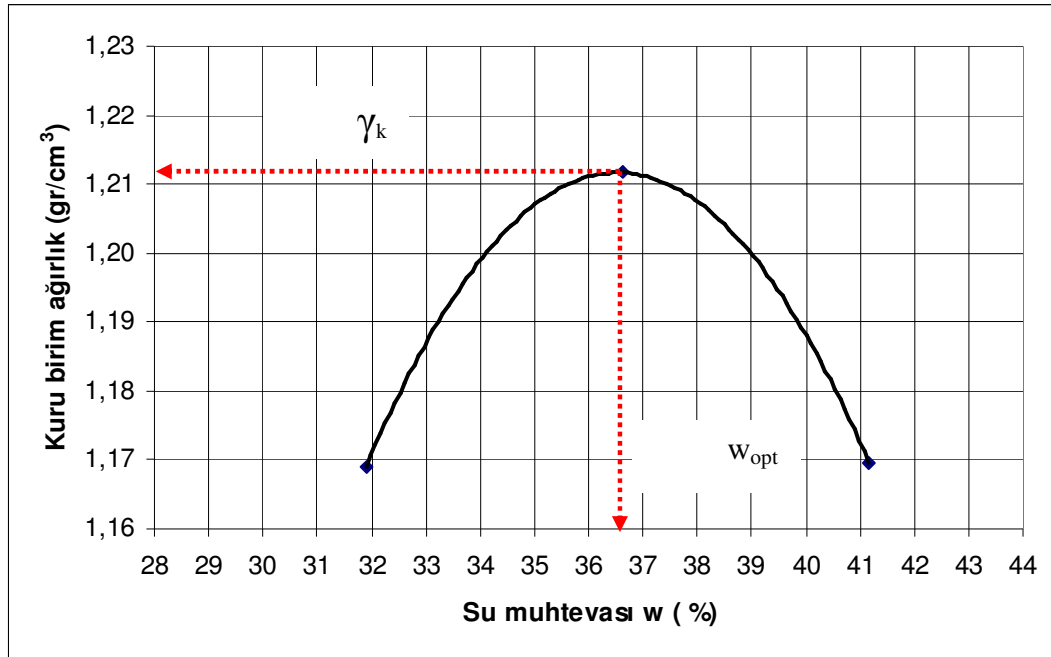
Deponi alanı sıkıştırılmış kil tabakalarının arazide istenilen kompaksiyon enerjisini elde edebilmek için, laboratuarda standart proktor (ASTM D698) deneyi yapılarak kuru birim hacim ağırlık – su muhtevası ilişkileri belirlenmiştir. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımına ait standart proktor ile sıkıştırılan numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası Çizelge 6.4’de, kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası ilişkisi de Şekil 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Sepiyolit, zeolit ve karışımlara ait Atterberg kıvam limitleri değerleri

Malzeme	LL (%)	PL (%)	RL (%)	PI (%)	Sınıfı	Sınıflandırma Sistemi
S/Z = %30	68	45	41	23	MH	USCS
Krom çözültüli karışım (tank)	73	65	-	8	MH	USCS
Bakır çözültüli karışım (tank)	75	59	-	16	MH	USCS
Distile sulu karışım (tank)	76	63	-	13	MH	USCS

Çizelge 6.4. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımına ait kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası

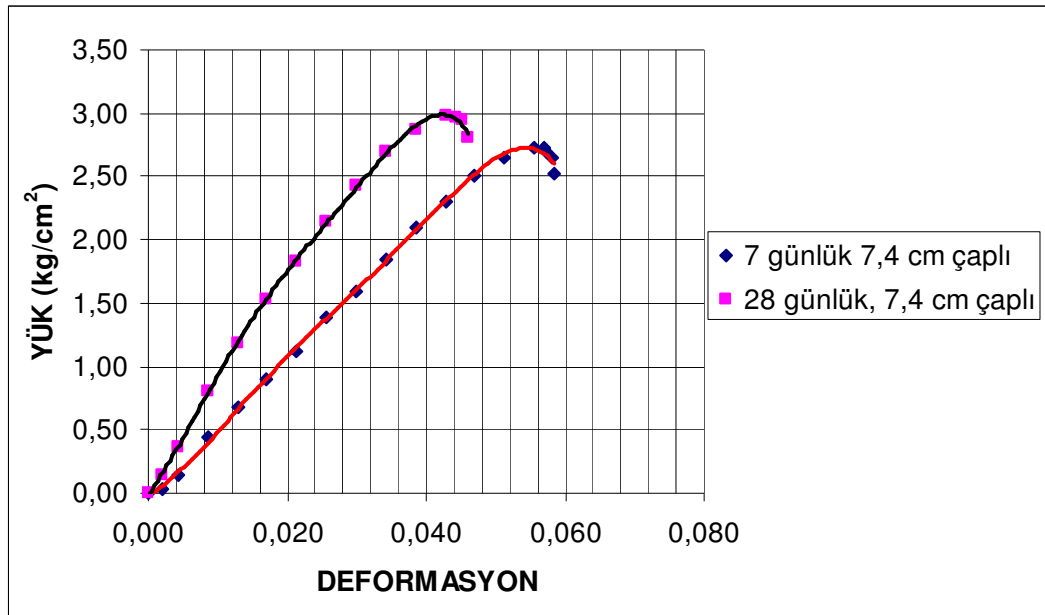
Numune	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Optimum Su Muhtevası (%)
S/Z = %30	1,21	36,5



Şekil 6.7. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımına ait kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası ilişkisi

6.2.2.2. Serbest basınç deneyi

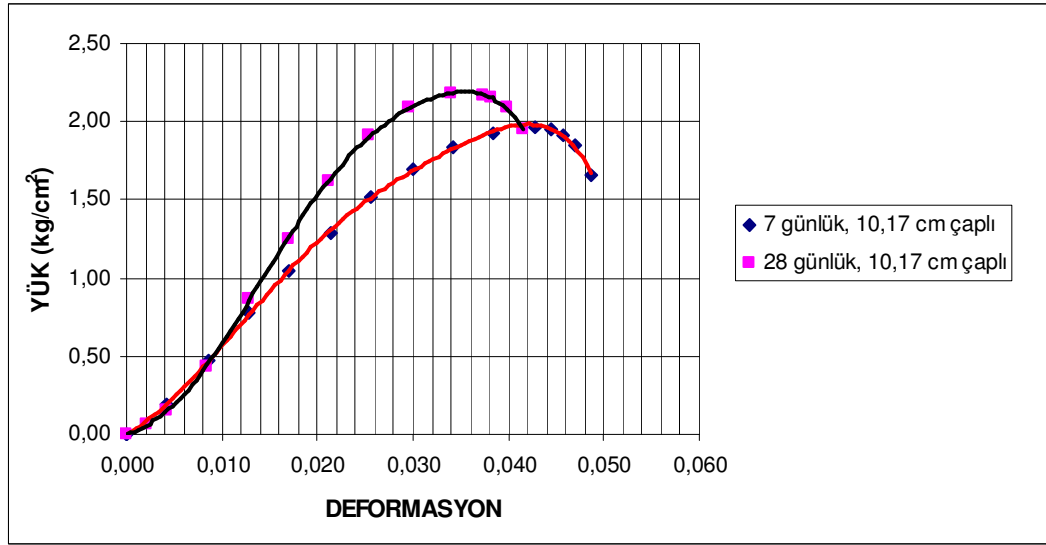
Belirlenen optimum su muhtevasında standart proktor ile sıkıştırılarak hazırlanan sepiyolit ve zeolit karışımlarına ASTM (D2166) 'ya göre deneyler yapılmıştır. Deneyler 7 ve 28 günlük kürlerde çapı 7,4 ve 10,17 cm seçilerek gerçekleştirilmiştir. Karışımlara ait serbest basınç mukavemeti – su muhtevası grafikleri, 7 ve 28 günlük kür ve 7,4 cm çap için Şekil 6.8'de, 7 ve 28 günlük kür ve 10,17 cm çap için Şekil 6.9'da verilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması Çizelge 6.5'de verilmiştir. Minyatür deponiden bekleme süresi sonunda numuneler alınmış ve serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçları Şekil 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 ve 6.18'de verilmiştir. Sonuçların tümü Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.8. Sepiyolit/zeolit= %30 7 ve 28 günlük kür serbest basınç grafiği

(W= 821,20 gr H= 11,7 cm D= 7,4 cm $q_u = 2,73 \text{ kg/cm}^2 = 268 \text{ kPa}$ (7 günlük))

(W= 807,78 gr H= 11,7 cm D= 7,4 cm $q_u = 2,98 \text{ kg/cm}^2 = 292 \text{ kPa}$ (28 günlük))



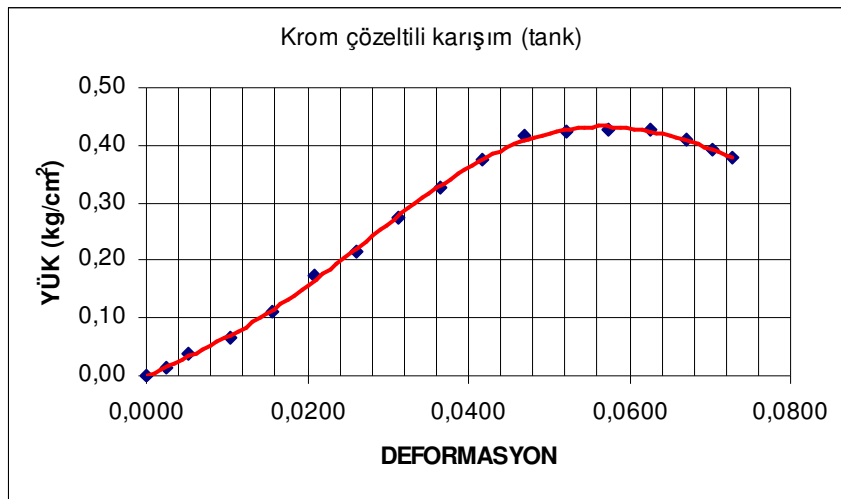
Şekil 6.9. Sepiyolit/zeolit= %30 7 ve 28 günlük kür serbest basınç grafiği

(W= 1518 gr H= 11,7 cm D= 10,17 cm $q_u = 1,96 \text{ kg/cm}^2 = 192 \text{ kPa}$ (7 günlük))

(W= 1509 gr H= 11,7 cm D= 10,17 cm $q_u = 2,18 \text{ kg/cm}^2 = 214 \text{ kPa}$ (28 günlük))

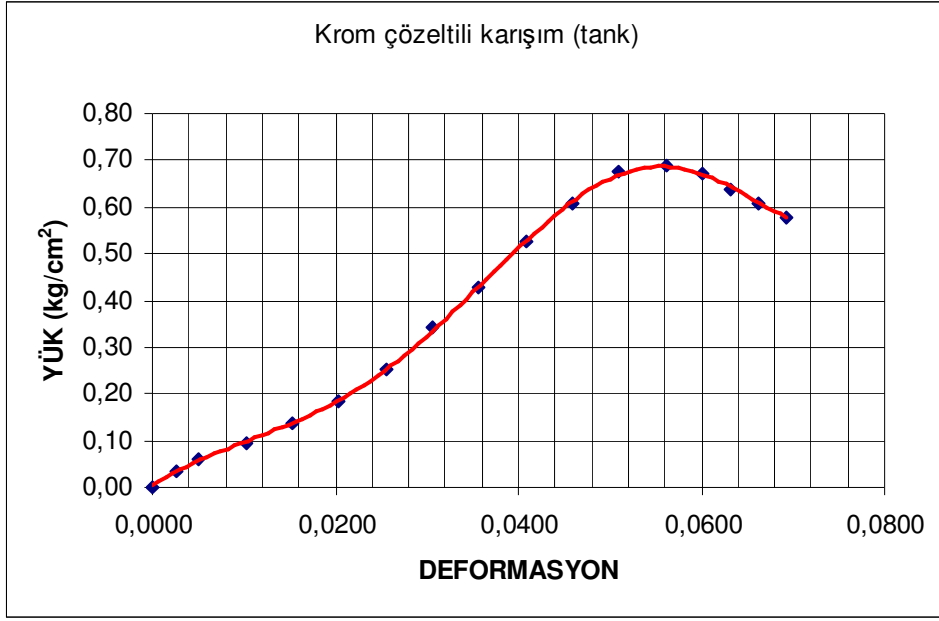
Çizelge 6.5. Serbest basınç deney sonuçlarının kıyaslanması

Numune	P (kPa) (7 günlük)	P (kPa) (28 günlük)
S/Z= %30 H= 11,7 cm, D= 7,4 cm	268	292
S/Z= %30 H= 11,7 cm, D= 10,17 cm	192	214

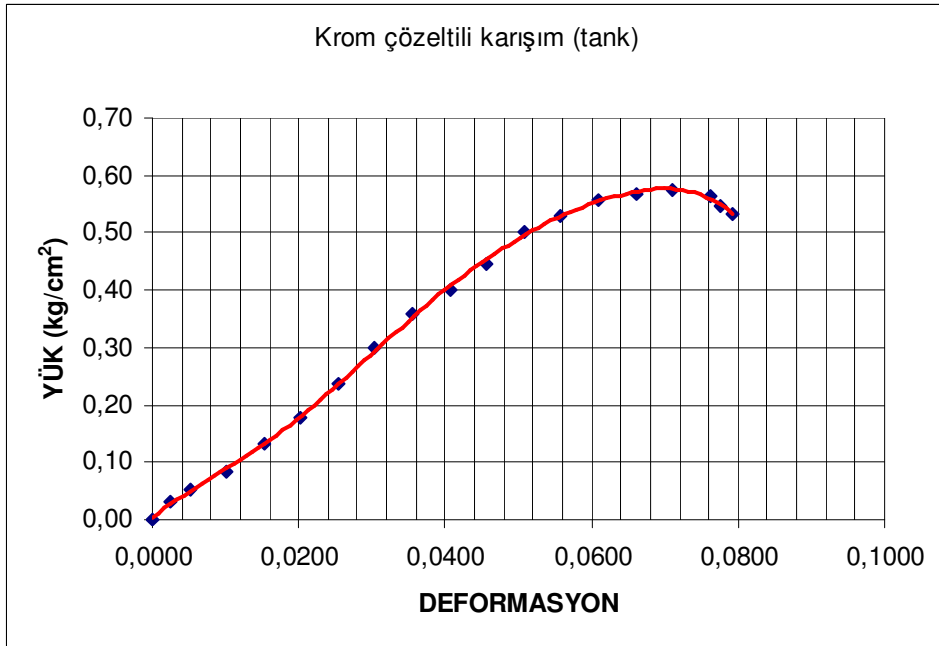


Şekil 6.10. Krom çözeltili karışımın (tank) 16 haftalık kür serbest basınç grafiği (1)

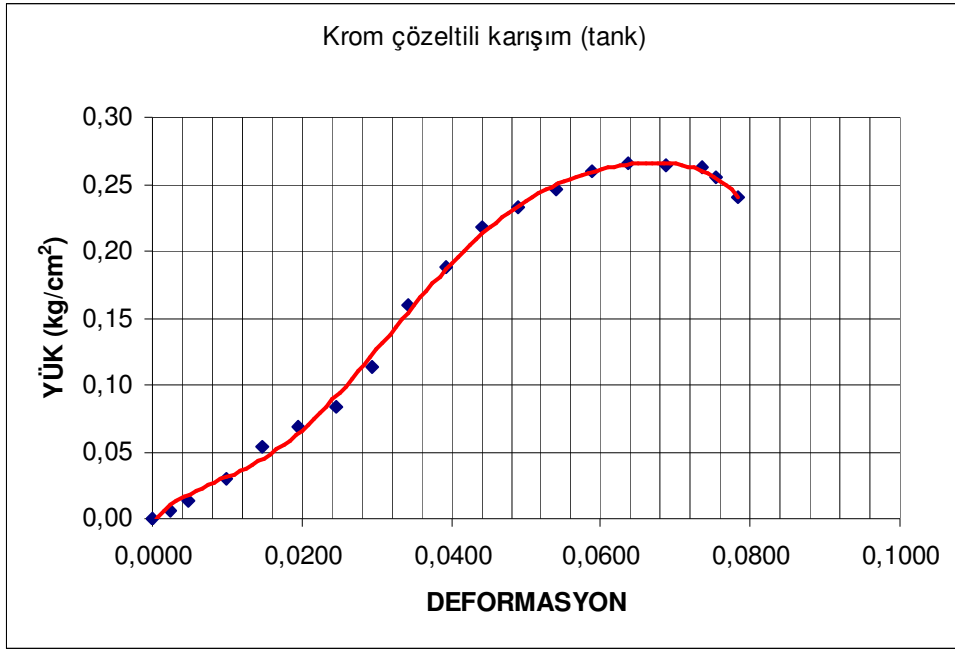
(W= 642 gr H= 9,6 cm D= 7,4 cm $q_u = 0,43 \text{ kg/cm}^2 = 42 \text{ kPa}$)



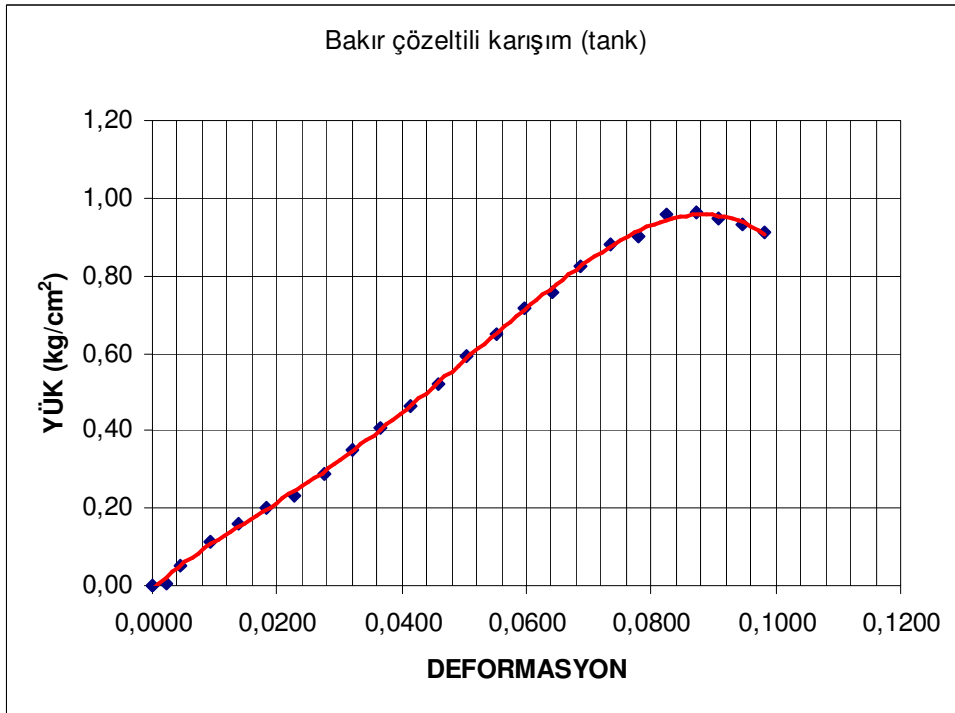
Şekil 6.11. Krom çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (2)
(W= 653 gr H= 9,8 cm D= 7,4 cm $q_u = 0,69 \text{ kg/cm}^2 = 68 \text{ kPa}$)



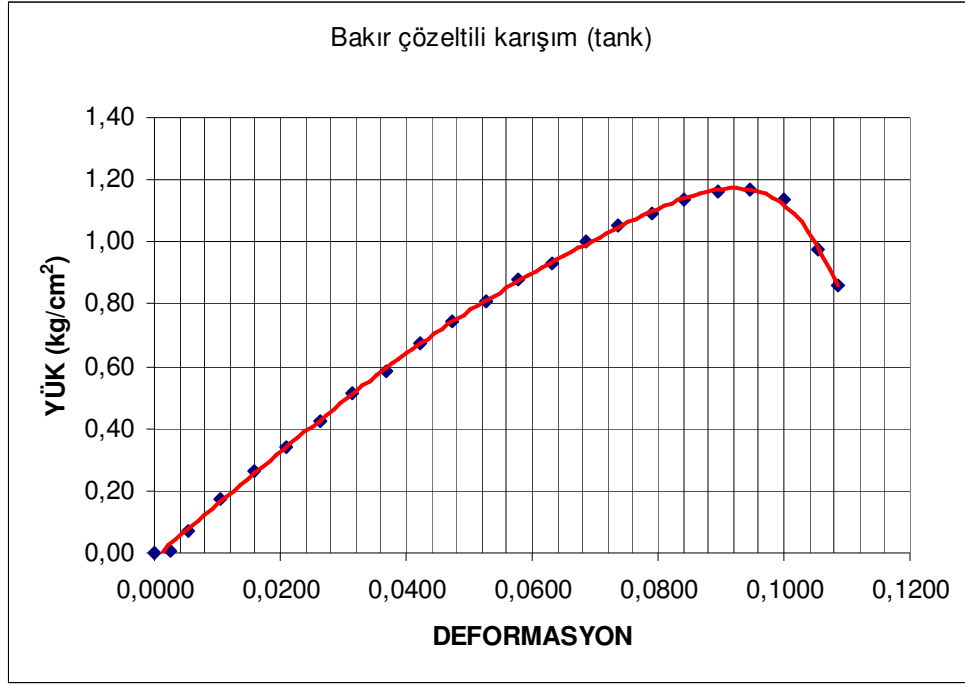
Şekil 6.12. Krom çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (3)
(W= 670 gr H= 9,85 cm D= 7,4 cm $q_u = 0,57 \text{ kg/cm}^2 = 56 \text{ kPa}$)



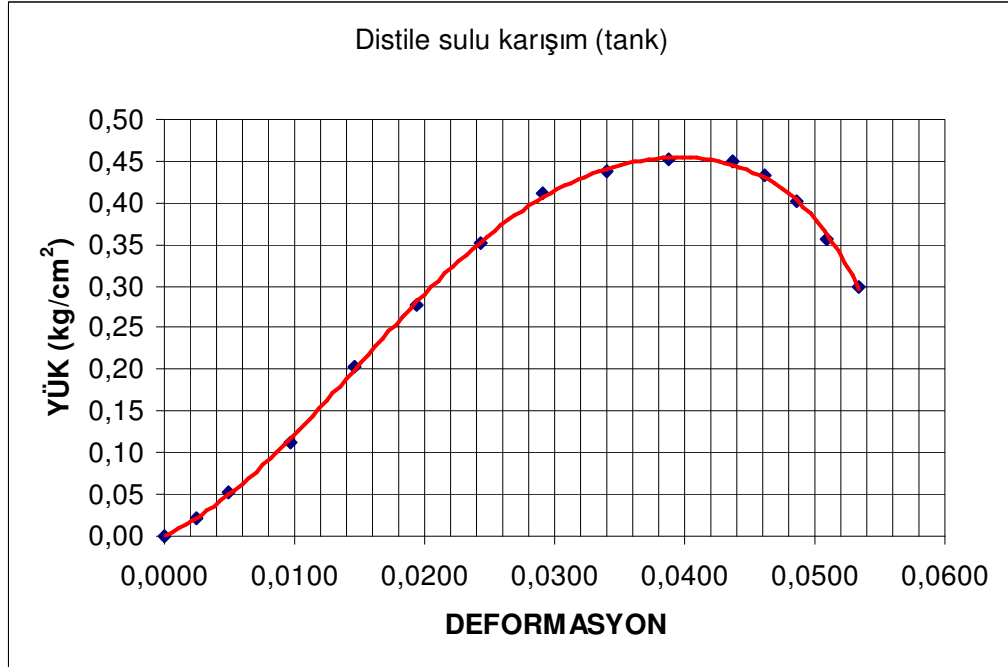
Şekil 6.13. Krom çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (4)
(W= 655 gr H= 10,2 cm D= 7,4 cm $q_u = 0,27 \text{ kg/cm}^2 = 26 \text{ kPa}$)



Şekil 6.14. Bakır çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (1)
(W= 748 gr H= 10,9 cm D= 7,4 cm $q_u = 0,97 \text{ kg/cm}^2 = 95 \text{ kPa}$)



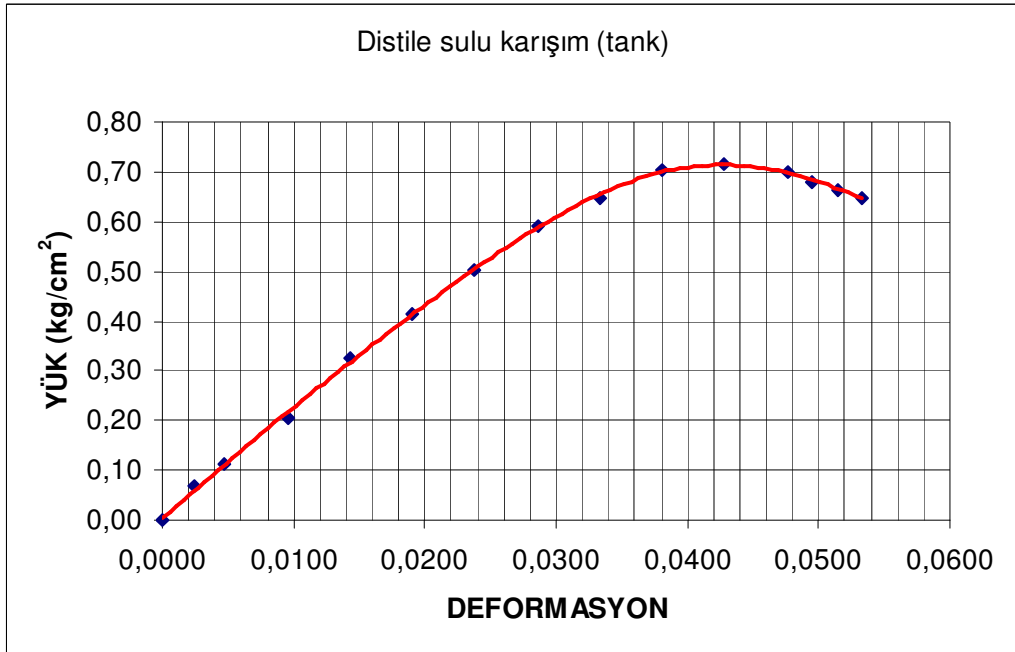
Şekil 6.15. Bakır çözeltili karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (2)
(W= 663 gr H= 9,5 cm D= 7,4 cm qu= 1,17 kg/cm²= 115 kPa)



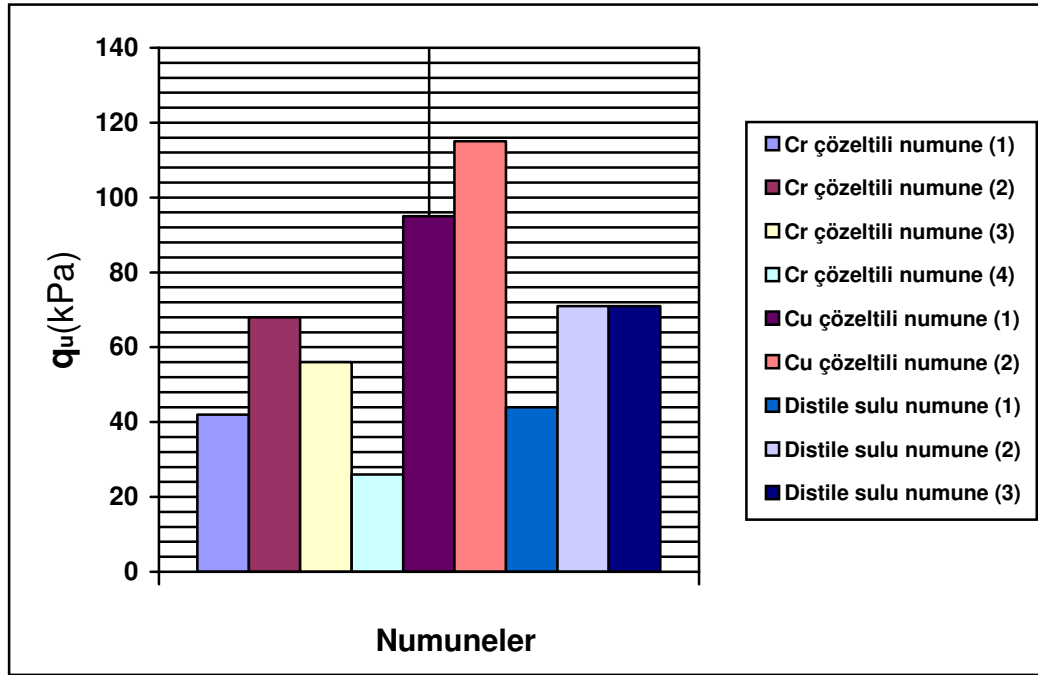
Şekil 6.16. Distile sulu karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (1)
(W= 697 gr H= 10,3 cm D= 7,4 cm qu= 0,45 kg/cm²= 44 kPa)



Şekil 6.17. Distile sulu karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (2)
(W= 746 gr H= 11,3 cm D= 7,4 cm $q_u= 0,72 \text{ kg/cm}^2= 71 \text{ kPa}$)



Şekil 6.18. Distile sulu karışımın (tank)16 haftalık kür serbest basınç grafiği (3)
(W= 773 gr H= 10,5 cm D= 7,4 cm $q_u= 0,72 \text{ kg/cm}^2= 71 \text{ kPa}$)



Şekil 6.19. Minyatür deponi tankı numunelerinin serbest basınç deneyi sonuçları

Minyatür deponi tankından alınan numunelerden en yüksek serbest basınç değerini bakır çözeltili numuneler vermiştir. En düşük değer ise kromlu çözeltilerde elde edilmiştir. Bunun nedeni; krom bulunan numunelerde dispers bir yapı oluşması, bakır bulunan numunelerde ise aglomera (yumaksı yapı) meydana gelmesidir.

Serbest basınç deneyinde numunelerin yükseklik/çap (H/D) ile dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemek için çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde numunelerin boyu sabit tutularak ($H=11,7$) çapları 5,4, 7,4 ve 10,17 cm seçilmiş ve 28 günlük kürlerde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 6.6'da verilmiştir. Deney sonuçlarına göre çizilen q_u ile D 'nin değişimi Şekil 6.20'de, q_u ile H/D 'nin değişimi ise Şekil 6.21'de verilmiştir. Bu deneyin amacı, numunenin H/D oranı 2'nin altında ve yukarısında olan dayanımlarından $H/D=2$ için proje dayanımını bulmaktır. Deney sonucunda aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir. Serbest basınç değeri biriminin kg/cm^2 olması durumunda Bağıntı (1), birimin kPa olması durumunda ise Bağıntı (2) kullanılmalıdır.

H/D-1-2,5 aralığında değişmektedir

$$q_{u2} = q_{u1} + 1,05 \times ((H/D)_2 - (H/D)_1) \quad (q_u - \text{kg/cm}^2) \quad (1)$$

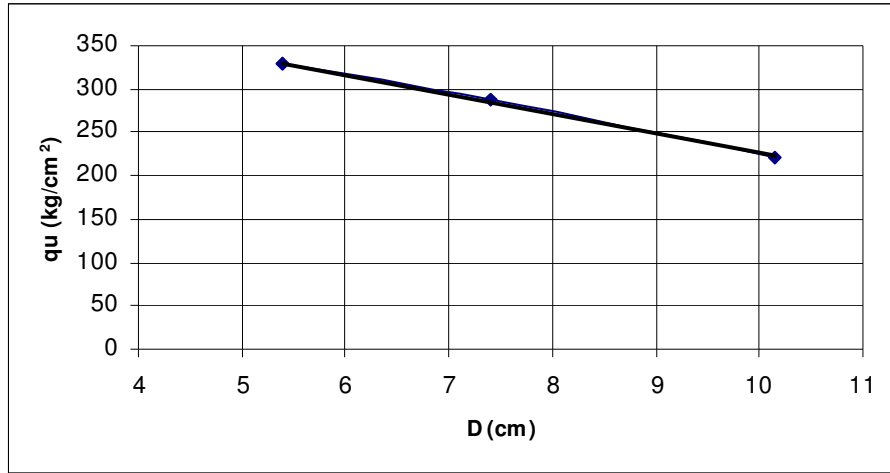
$$q_{u2} = q_{u1} + 103 \times ((H/D)_2 - (H/D)_1) \quad (q_u - \text{kPa}) \quad (2)$$

q_{u2} : proje dayanımı veya istenen $(H/D)_2$ oranı için dayanım.

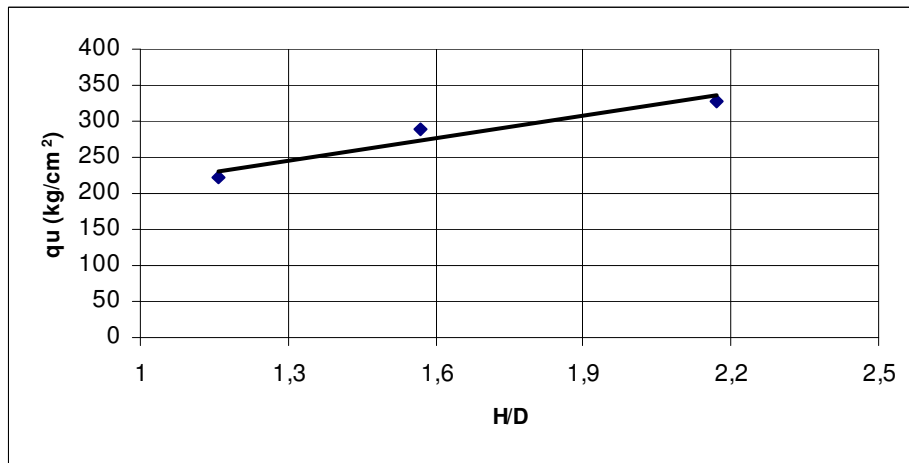
q_{u1} : önceden hesaplanan dayanım

Çizelge 6.6. Çap ile serbest basınç dayanımlarının değişimi

Çap D (cm)	Kür (gün)	q_u (kg/cm ² - kPa)
5,4	28	3,35-329
7,4	28	2,96-290
10,15	28	2,26-222



Şekil 6.20. q_u ile D'nin değişimi



Şekil 6.21. q_u ile H/D'nin değişimi

Numunelerin serbest basınç değeri, numune boyu sabit kaldığında çapla ters orantılı olarak değişmektedir. Şekil 6.21'den de görüldüğü gibi numunelerin H/D oranı arttıkça serbest basınç dayanımı artmaktadır. Yapılan deneylerde H/D oranının 2'den farklı çıktığı durumlarda elde edilen değerlerin ilgili numunelerin serbest basınç dayanımı olduğu söylenemez. Serbest basınç dayanımı numunenin H/D oranının 2 olduğu durumdaki dayanımıdır. Bu yüzden Şekil 6.21'den elde edilen Bağntı (1) ve (2) kullanılarak istenilen H/D oranı için dayanım bulunabilir.

6.2.2.3. Permeabilite deneyi

Sepiyolit/zeolit (%30) karışımları standart proktor (ASTM D698) aleti ile optimum su muhtevasında sıkıştırılarak numuneler elde edilmiş ve esnek duvarlı permeabilite (ASTM D5084) deney setlerine yerleştirilip permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca minyatür deponi tankından bakır çözelti numunenin de permeabilite deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 6.7'de verilmiştir. Değerler arasındaki fark ise tüm karışımlar için ihmal edilecek düzeydedir. Sonuçlar incelendiğinde sepiyolit ve karışımlar için literatürde geçirgenlik için geçerli olan 1×10^{-7} cm/s koşulunun sağlandığı görülmüştür.

6.2.2.4. Üç eksenli basınç deneyi

Üç eksenli basınç deneyi yapmak için standart proktor aleti ile optimum su muhtevasında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 günlük kür sonunda 10, 20 ve 30 psi hücre basını altında kırılmıştır. Ayrıca minyatür deponi tankı içerisinde alınan numunelere de üç eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Minyatür deponi tankı içerisindeki zeminlerin dayanımı düşük olduğundan bu numunelere 10, 15 ve 20 psi hücre basıncı uygulanmıştır. Deney sonucu Çizelge 6.8'de verilmiştir. Serbest basınç ve üç eksenli basınç deneyi sonuçlarının kıyaslanması Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.7. Permeabilite Katsayıları

Numune	Permeabilite Katsayısı $k \text{ (cm/sn)} 10^{-8}$	Hücre Basıncı $\sigma_3 \text{ (Psi)}$
S/Z (%30)	0,75	Düşen seviyeli (0)
S/Z (%30)	1,17	Sabit seviyeli (10)
Bakır çözeltili numune (tank)	3,5	Sabit seviyeli (6)

Çizelge 6.8. Üç eksenli basınç deneyi sonuçları

Deponi bölmesi	Kohezyon (C) (kg/cm^2)	İçsel sürtünme açısı (Φ) (°)
Sepiyolit/zeolit = %30	0,83	25
Krom çözeltili numune (tank)	0,24	9
Bakır çözeltili numune (tank)	0,32	16
Distile sulu numune (tank)	0,29	14

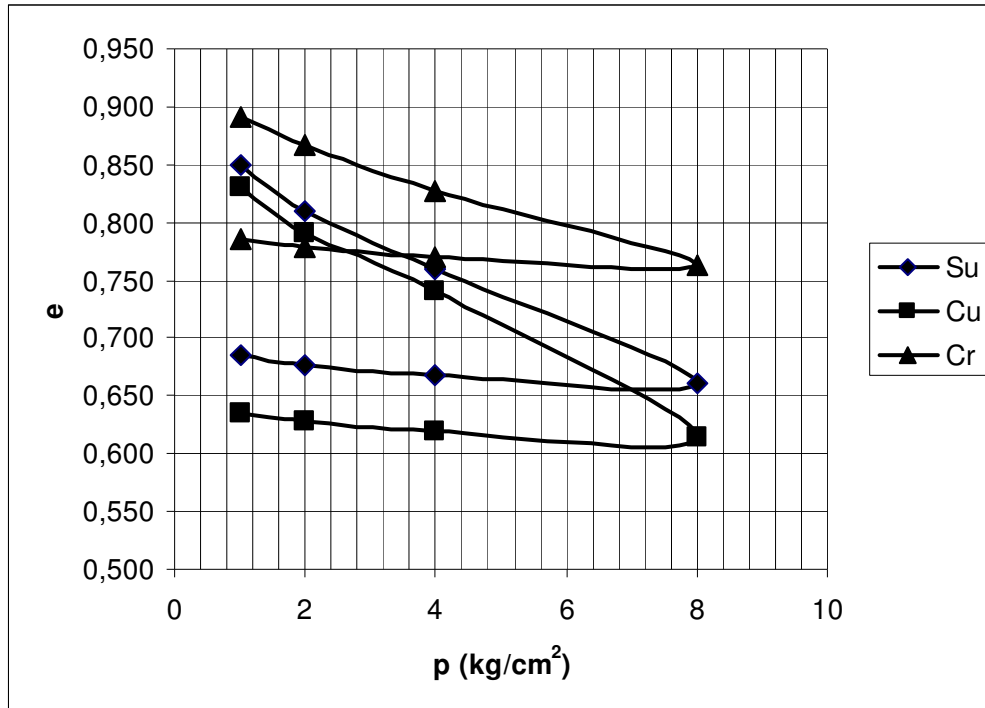
Çizelge 6.9. Serbest basınç ve üç eksenli basınç deneyi sonuçlarının kıyaslanması

Numune	q_u (kPa) (Serbest basınç)	q_u (kPa) (Üç eksenli)
Esas numune	292	340
Cr çözeltili (1)	68	80
Cr çözeltili (2)	56	-
Cr çözeltili (3)	42	-
Cr çözeltili (4)	26	-
Cu çözeltili (1)	115	120
Cu çözeltili (2)	95	-
Distile sulu (1)	71	85
Distile sulu (2)	71	-
Distile sulu (3)	44	-

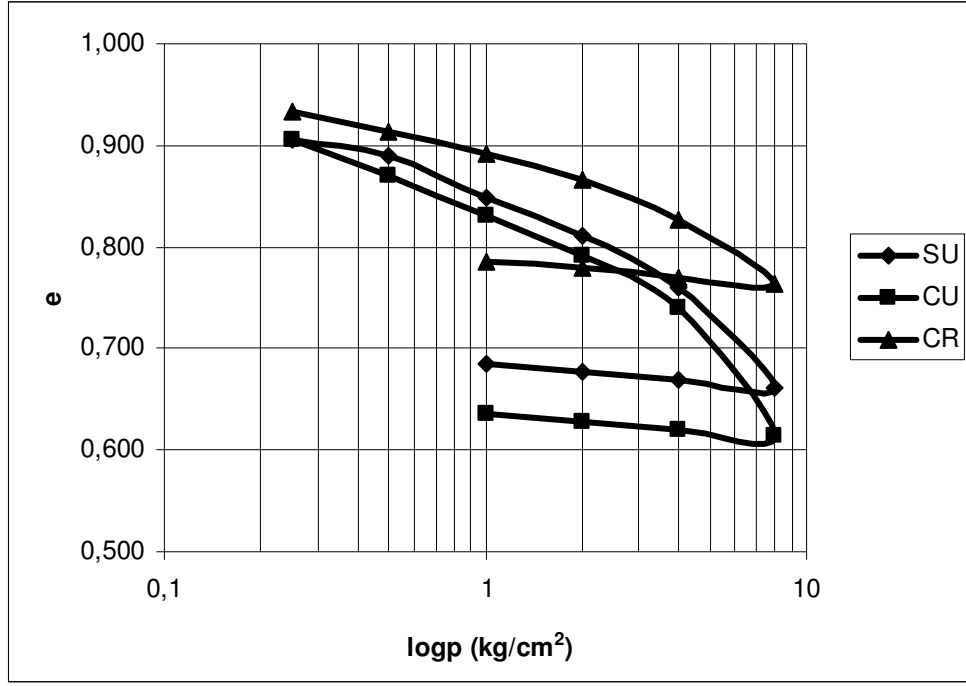
Üç eksenli basınç deneyinde hücresel basınç uygulandığından, üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen q_u değerleri serbest basınç deneyi sonuçlarından elde edilen q_u değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Hesaplamalarda emniyetli tarafta kalmak için serbest basınç deneyi sonuçlarının kullanılması önerilmektedir.

6.2.2.5. Konsolidasyon deneyi

Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına konsolidasyon deneyi yapmak için standart proktor aleti ile optimum su muhtevasında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 günlük kürlerden sonra konsolidasyon ringlerine yerleştirilerek deney düzenekleri kurulmuştur. Numuneler öncelikle doygun hale getirilmiştir. Bunun için ringlerin üzerlerine kirleticileri ilave edilerek 2 gün beklenilmiştir. Kirletici olarak krom ve bakır çözeltisi ile birlikte distile su kullanılmıştır. Her bir kirletici için 2 adet numune kullanılmıştır. Doygun hale getirilen numunelere 0,25-8 kg/cm²'lik yük uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen e-p grafiği Şekil 6.22'de, e-logp grafiği de Şekil 6.23'de verilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 6.10'de verilmiştir. Minyatür deponi tankından alınan numunelere de aynı işlemler uygulanmıştır. Minyatür deponi tankı içerisindeki numunelere uygulanan konsolidasyon deneyinin sonuçları Çizelge 6.11'de verilmiştir. Minyatür deponi tankı içerisindeki numunelere ait e-p ve e-logp grafikleri Şekil 6.24, 6.25, 6.26, 6.27, 6.28 ve 6.29'da verilmiştir.



Şekil 6.22. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e-p' grafikleri



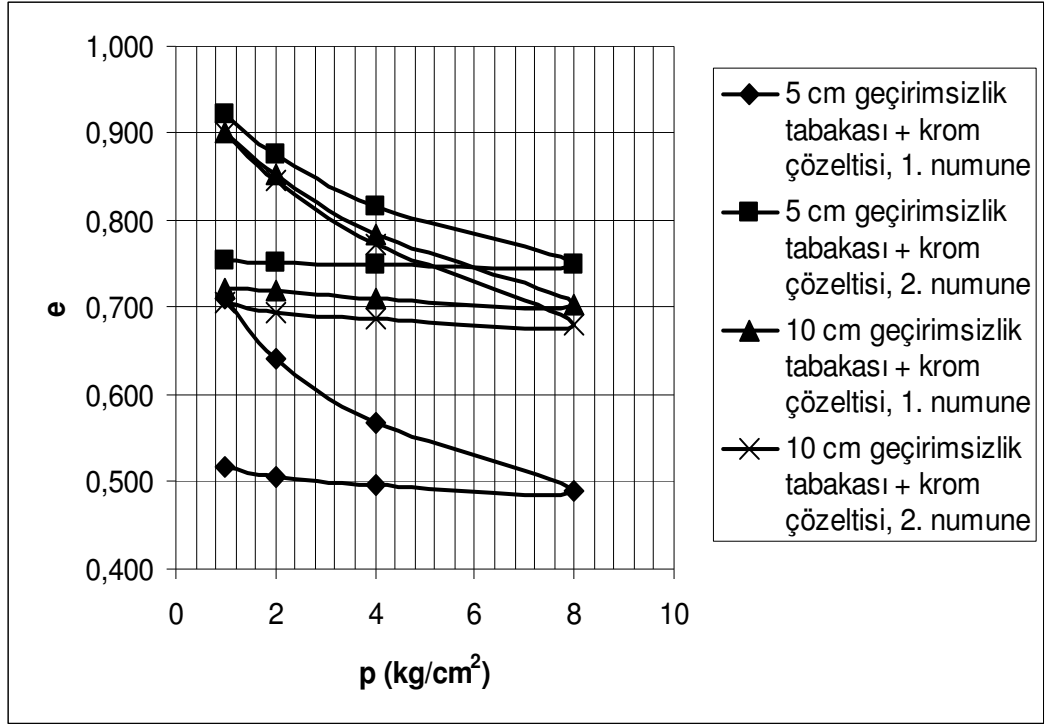
Şekil 6.23. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e-logp' grafikleri

Çizelge 6.10. Konsolidasyon Deneyi Sonuçları

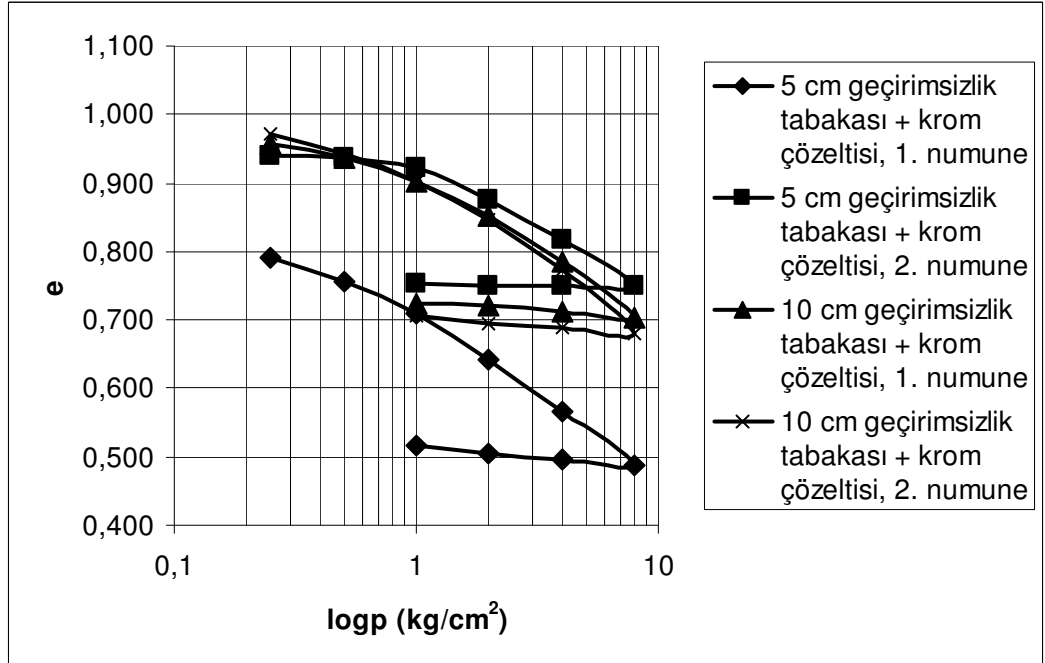
Numuneler (28 Günlük kür sonucu)	Cc	Cs	Cv (cm²/sn)	Mv (cm²/kg)	av
S/Z (%30) Cu Çözeltili	0,300	0,0500	0,00203	0,0180	0,032
S/Z (%30) Cr Çözeltili	0,240	0,0330	0,00129	0,0151	0,027
S/Z (%30) Distile sulu	0,240	0,0670	0,00094	0,0142	0,026

- Cv 4 kg/cm² yüklemede hesaplanmıştır.
- mv ve av değerleri 4 kg/cm²'lik basınç yükleme sonunda hesaplanmıştır.

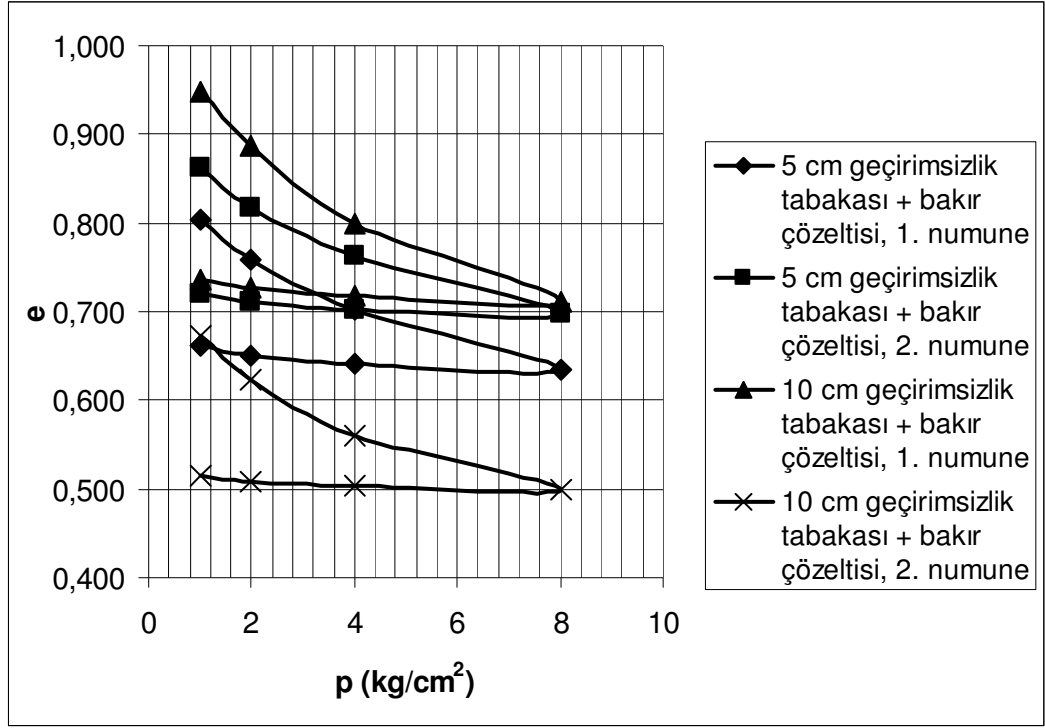
Konsolidasyon katsayısı bakır çözelti numunelerde en yüksek değeri vermiştir. Bunun nedeni, bakır çözeltisinin numunelerde yumaksı yapı meydana getirmesidir. Hesaplamalarda krom çözelti numunelerin değerleri kullanılabilir.



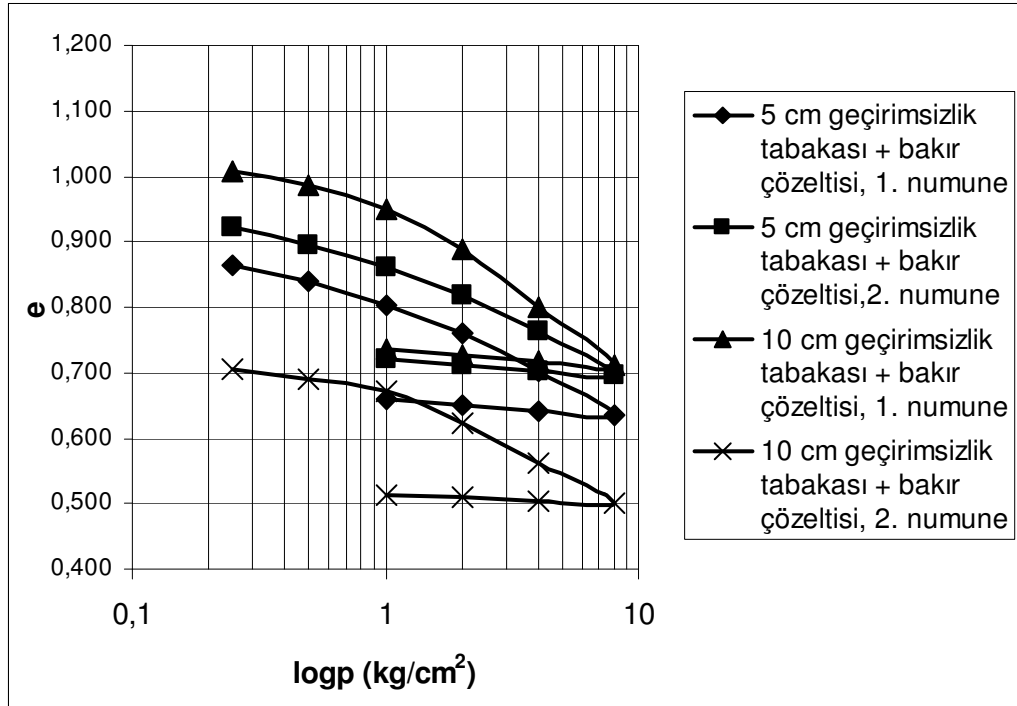
Şekil 6.24. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e - p' grafikleri



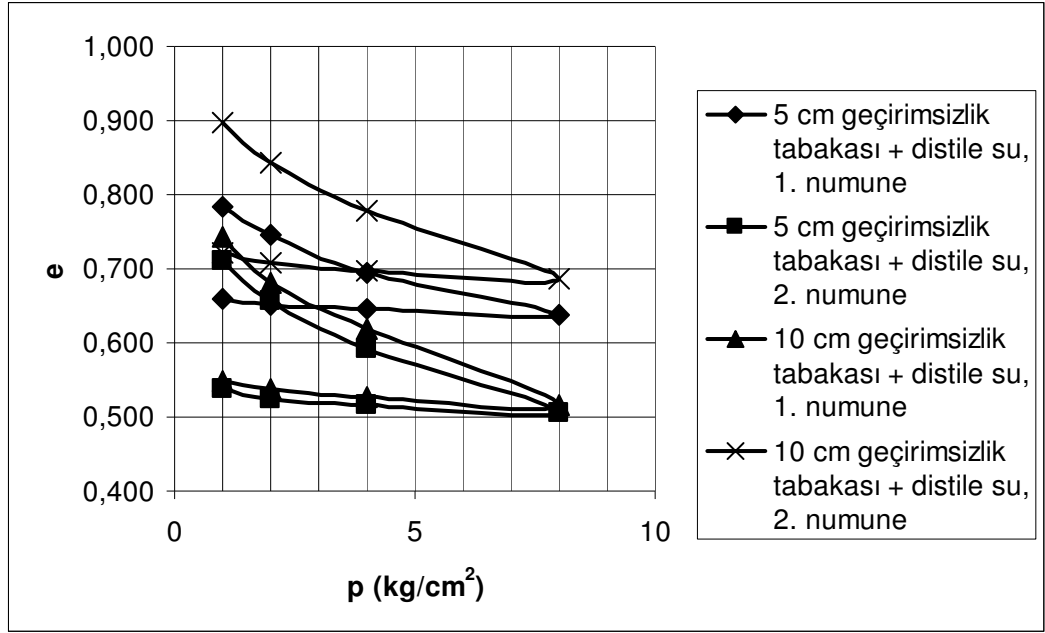
Şekil 6.25. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e - $\log p'$ grafikleri



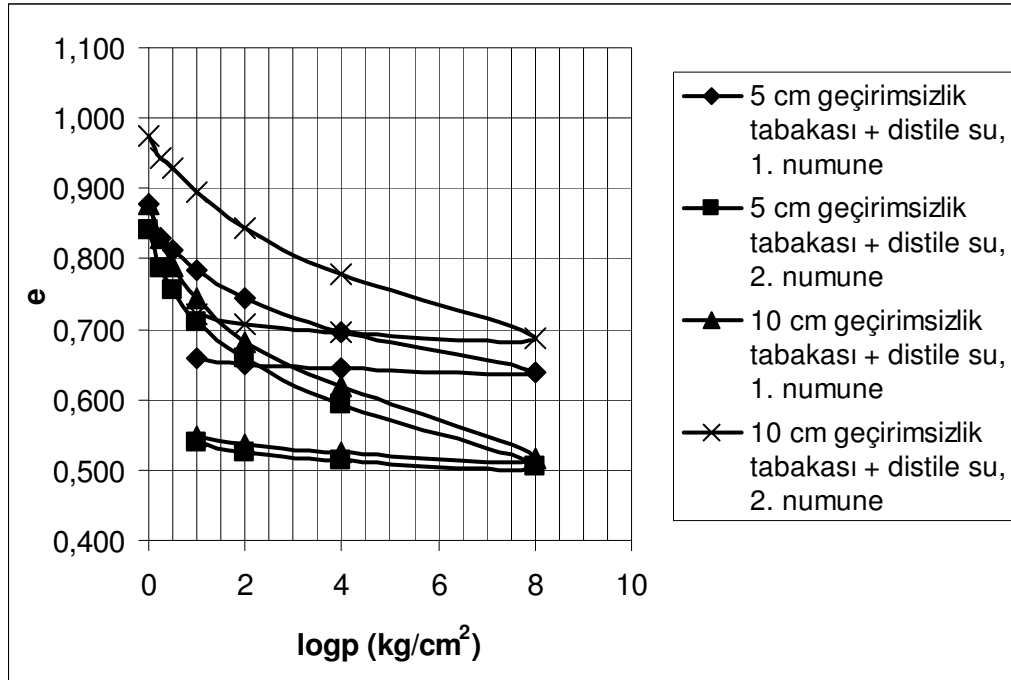
Şekil 6.26. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e - p' grafikleri



Şekil 6.27. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e - $\log p'$ grafikleri



Şekil 6.28. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e-p' grafikleri



Şekil 6.29. Sepiyolit/zeolit= %30 karışımlarına ait e-logp' grafikleri

Çizelge 6.11. Minyatür deponi tankı numunelerine ait konsolidasyon deneyi sonuçları

Numuneler	Cc	Cs	Cv (cm ² /sn)	Mv (cm ² /kg)	av
5 cm geçirimsizlik	0,283	0,0130	0,001483	0,0094	0,017
5 cm geçirimsizlik	0,202	0,0266	0,001200	0,0099	0,017
5 cm geçirimsizlik	0,265	0,0332	0,001116	0,0137	0,022
10 cm geçirimsizlik	0,272	0,0282	0,001332	0,0129	0,023
10 cm geçirimsizlik	0,294	0,0299	0,001144	0,0123	0,022
10 cm geçirimsizlik	0,304	0,0382	0,001050	0,0157	0,025

- Cv 2 kg/cm² yüklemesinde hesaplanmıştır.
- mv ve av değerleri 2 kg/cm²'lik basınç yüklemesi sonunda hesaplanmıştır.

Minyatür deponi tankı numunelerinin konsolidasyon katsayısı değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Konsolidasyon katsayılarının düşük çıkması zeminin geç konsolide olduğunu göstermektedir. Arazi uygulamalarında konsolidasyon katsayısı değeri olarak, krom ve bakır çözeltili numunelerin konsolidasyon katsayılarının ortalaması kullanılmalıdır.

6.2.2.6. Serbest şişme deneyi

Serbest şişme deneyini yapmak için numuneler standart proktor ile optimum su muhtevasında sıkıştırılmış ve 28 günlük kürde bekletilmiştir. Kürden sonra numuneler konsolidasyon ringlerine yerleştirilmiş, 1 psi basınç uygulanarak üzerlerine kirleticileri yerleştirilmiş ve 2 hafta beklenilmiştir. Bu süre sonucunda şişme gözlenmemiştir. Bu yüzden sepiyolit/zeolit= %30 karışımının şişme yüzdesini sıfır kabul edebiliriz.

6.3. Fiziko-Kimyasal Özellikler

Fiziko-kimyasal özellikler olarak, pH, elektriksel iletkenlik, ateşte kayıp miktarı, toplam metal miktarı ve katyon değişim kapasitesi deneyi yapılmıştır.

6.3.1. PH

Krom ve bakır kirleticilerinin bulunduğu numunelerin hem alt kısmından hem de üst kısmından pH okuması yapılmıştır. Bunun nedeni numunelerin üst ve alt kısımlarında farklı kirlenmelerden dolayı pH değerinin ne kadar değişeceğinin belirlenmesidir. Minyatür deponi tankında krom çözeltisi bulunan bölümlerde ve 5 cm geçirimsizlik tabakalı bakır çözeltisi bulunan bölümde sızma meydana gelmiştir. Minyatür deponi tankı numunelerine ait pH değerleri Çizelge 6.12’de verilmiştir.

Zeminin pH değeri, kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6 ile 8 arasında olmalıdır. PH değerleri bu aralıkta bulunmuştur.

Çizelge 6.12. Minyatür deponi tankı numunelerine ait pH değerleri

Geçirimsiz tabaka	Sızan sıvılar			pH			
	Sızıntı süresi (Gün)						
	5 cm Cr Çözeltili	10 cm Cr Çözeltili	5 cm Cu Çözeltili	Geçirimsiz tabaka	5 cm Cr Çözeltili	10 cm Cr Çözeltili	5 cm Cu Çözeltili
5 cm Cr ÜST	1	1	1	8,00	6,99	8,28	7,66
5 cm Cr ALT	8	8	8	8,08	7,02	7,83	7,95
5 cm Cu ÜST	15	15	15	7,91	8,03	7,41	8,05
5 cm Cu ALT	22	22	22	8,05	7,59	7,56	7,84
5 cm distile su	29	29	36	8,31	8,02	7,51	7,53
10 cm Cr ÜST	36	36	46	7,81	8,25	8,05	7,90
10 cm Cr ALT	46	46	53	8,06	8,35	7,86	7,75
10 cm Cu ÜST	-	53	60	8,18	-	8,28	7,38
10 cm Cu ALT	-	60	67	8,12	-	7,58	7,52
10 cm distile su	-	67	74	8,10	-	8,40	8,03
	-	74	81		-	8,14	7,87
	-	88	95		-	7,79	7,65
	-	102	102		-	7,66	7,99
	-	-	109		-	-	7,87
	Üstte kalan	Üstte kalan	Üstte kalan		8,21	7,59	8,14

6.3.2. Elektriksel iletkenlik (EC)

Minyatür deponi tankından alınan zemin numunelerine ait elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Çizelge 6.13’de verilmiştir. En büyük elektriksel iletkenlik değeri, bakır kirleticisi bulunan numunelerde elde edilmiştir, en küçük değer ise distile su bulunan numunelerde elde edilmiştir.

Zemindeki tuz oranı elektriksel iletkenlikle belirlenir. Elektriksel iletkenlik değeri 4 miliSiemens/cm (4000 mikroSiemens/cm) değerinden fazla ise zemin tuzludur. Deneyler sonucunda bulunan elektriksel iletkenlik değerleri 4 miliSiemens/cm değerinin altındadır. Zemin tuzlu değildir.

6.3.3. Ateşte kayıp miktarı (Organik madde miktarı)

Minyatür deponi tankından alınan numunelerin ateşte kayıp miktarları Çizelge 6.14’de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, deponi üzerine yerleştirilen farklı kirleticiler, geçirimsizlik tabakasının organik madde miktarını önemli ölçüde değiştirmemektedir.

Çizelge 6.13. Sepiyolit, kaolinit ve karışımlara ait elektriksel iletkenlik değerleri

Numune	Alınan miktar	Eklenen su	Elektriksel İletkenlik (ms/cm)
5 cm geçirimsizlik tabakası+krom (üst)	50 gr	75 ml	0.55
5 cm geçirimsizlik tabakası+krom (alt)	50 gr	75 ml	0.54
5 cm geçirimsizlik tabakası+bakır (üst)	50 gr	70 ml	0.62
5 cm geçirimsizlik tabakası+bakır (alt)	50 gr	65 ml	0.58
5 cm geçirimsizlik tabakası+distile su	50 gr	70 ml	0.36
10 cm geçirimsizlik tabakası+krom (üst)	50 gr	65 ml	0.53
10 cm geçirimsizlik tabakası+krom (alt))	50 gr	65 ml	0.57
10 cm geçirimsizlik tabakası+bakır (üst)	50 gr	75 ml	0.58
5 cm geçirimsizlik tabakası+bakır (alt)	50 gr	65 ml	0.61
10 cm geçirimsizlik tabakası+distile su	50 gr	70 ml	0.41

Çizelge 6.14. Minyatür deponi numunelerinin ateşte kayıp miktarları

Malzemeler	Ateşte Kayıp Miktarı (%)
5 cm geçirimsizlik tabakası+krom	10.40
5 cm geçirimsizlik tabakası+bakır	10.54
5 cm geçirimsizlik tabakası+distile su	10.16

6.3.4. Toplam metal miktarı

Minyatür deponi tankı numunelerinin ağır metal miktarları Çizelge 6.17’de verilmiştir. Gözlem süresince minyatür deponi tankı içerisinde bulunan çözeltiler bittikçe ilave yapılmıştır. Distile su bulunan bölümlerde ve 10 cm geçirimsizlik tabakası bulunan bakır çözeltili bölümde gözlem süresince sızma olmamıştır. 16 haftalık gözlem süresi sonunda minyatür deponi tankı içerisindeki geçirimsizlik tabakalarının da ağır metal tayini yapılmıştır (Çizelge 6.17). Laboratuarda, molttan 10 psi basınçla geçirilen Cu çözeltili numunenin sızıntı deneyinden alınan ağır metal miktarı 0,592 (mg/lt) çıkmıştır.

Çizelge 6.15. Minyatür deponi tankı numunelerine ait ağır metal değerleri

Geçirimsiz tabaka	Sızan sıvılar			Ağır metal miktarı (mg/lt)			
	Sızıntı süresi (Gün)						
	5 cm Cr Çözeltili	10 cm Cr Çözeltili	5 cm Cu Çözeltili	Geçirimsiz tabaka	5 cm Cr Çözeltili	10 cm Cr Çözeltili	5 cm Cu Çözeltili
5 cm Cr ÜST	1	1	1	12,20	0,09	0	0,127
5 cm Cr ALT	8	8	8	0,07	0,01	0	0,339
5 cm Cu ÜST	15	15	15	>5	0,02	0	0,182
5 cm Cu ALT	22	22	22	3,56	0	0	0,155
10 cm Cr ÜST	36	36	46	4,96	0	0	0,203
10 cm Cr ALT	46	46	53	3,05	0,2	0	0,227
10 cm Cu ÜST	-	53	60	>5	-	0	0,193
10 cm Cu ALT	-	60	67	2,878	-	0	0,211
	-	74	81		-	0	0,253
	-	88	95		-	0	0,306
	-	102	102		-	0	0,314

	-	-	109		-	-	0,264
--	---	---	-----	--	---	---	-------

Kullanılan geçirimsizlik tabakası ağır metallerin tamamına yakınıni absorbe etmiştir. Yapılan ağır metal analizleri sonucunda elde edilen değerler, yönetmeliklerde verilen kriterlerin altında çıkmıştır.

6.3.5. Katyon değişim kapasitesi

Gözlem süresi sonunda, minyatür deponide bulunan sıvılar boşaltılmış, sıvıların kirlenmiş olduğu geçirimsizlik malzemelerinin katyon değişim kapasiteleri belirlenmiştir. Belirlenen katyon değişim kapasiteleri Çizelge 6.18’de verilmiştir. Minyatür deponi tankındaki numunelerin katyon değişim kapasiteleri 55-64 meq/100gr arasında değişmektedir. Bu değer atıklarda bulunan ağır metallerin tutulmaları için yeterlidir.

6.4. Minyatür Deponi Gözlemleri

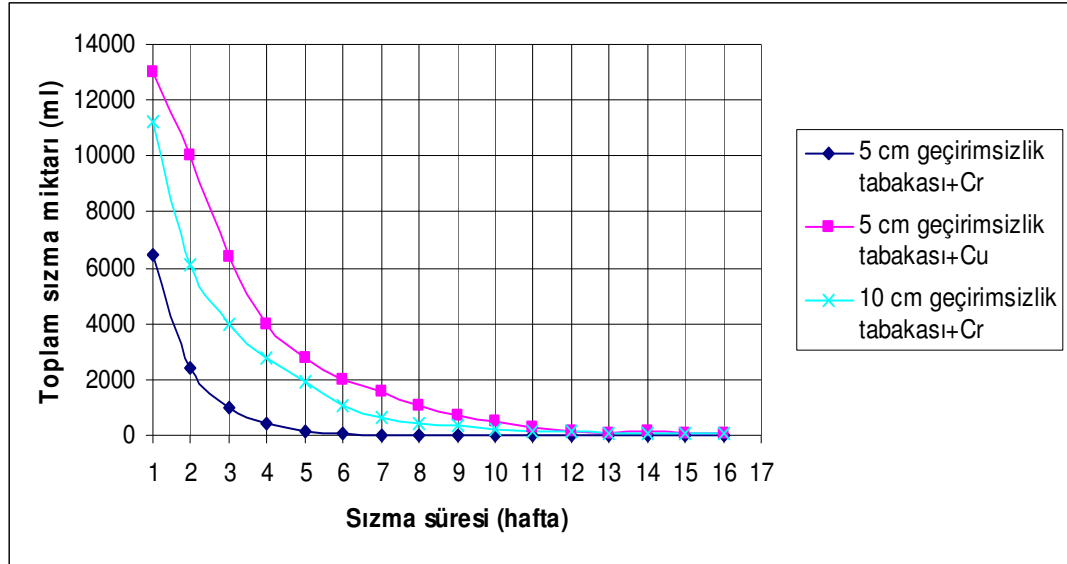
Minyatür deponiye sıvılar ilave edildikten sonra üzeri naylon branda ile kapatılmış ve gözlemlere başlanmıştır. 16 haftalık gözlem süresince oda sıcaklığı 15-18 °C sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Birinci gün sonunda Cr çözeltisinin bulunduğu bölümlerde sızıntı başlamıştır. İkinci gün sonunda Cu çözeltisinin bulunduğu 5 cm geçirimsiz tabakaya sahip olan bölümden de sızma başlamıştır.

Çizelge 6.16. Minyatür deponi geçirimsizlik tabakalarının katyon değişim kapasiteleri

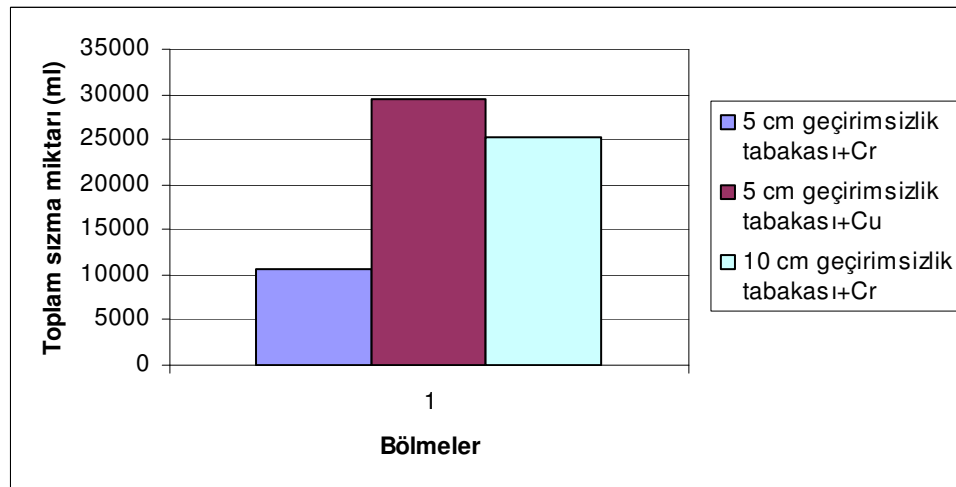
Numune	KDK (meq/100 gr)
5 cm’lik krom çözeltili üst numune	59,78
5 cm’lik krom çözeltili alt numune	60,86
10 cm’lik krom çözeltili üst numune	59,78
10 cm’lik krom çözeltili alt numune	54,89
5 cm’lik bakır çözeltili üst numune	55,97
5 cm’lik bakır çözeltili alt numune	63,04
10 cm’lik bakır çözeltili üst numune	55,97
10 cm’lik bakır çözeltili alt numune	55,97
5 cm’lik distile sulu numune	57,07

10 cm'lik distile sulu numune	55,97
-------------------------------	-------

14. gün sonunda distile su bulunan 5 cm geçirimsiz tabakalı bölümden azda olsa sızma olmuştur. 42. güne kadar distile su bulunan bölümden bir daha sızma olmamıştır. 42. günden sonra distile su bulunan her iki bölümde sızmalar başlamış ve gözlem sonuna dek azda olsa devam etmiştir. 16 haftalık gözlem boyunca 10 cm geçirimsiz tabakaya sahip olan ve üzerinde Cu çözeltisi bulunan bölmede sızma olmamıştır. Gözlem süresi boyunca bölümlerin haftalık sızma miktarı Şekil 6.19'de verilmiştir. Gözlem süresi sonunda bölmelerden sızan sıvıların toplam miktarı ise Şekil 6.20'de verilmiştir. Gözlem süresi bittiğinde bölümlerde oluşan görüntüler Şekil 6.21-6.24'de verilmiştir.



Şekil 6.30. Gözlem süresi boyunca bölmelerin haftalık sızma miktarı

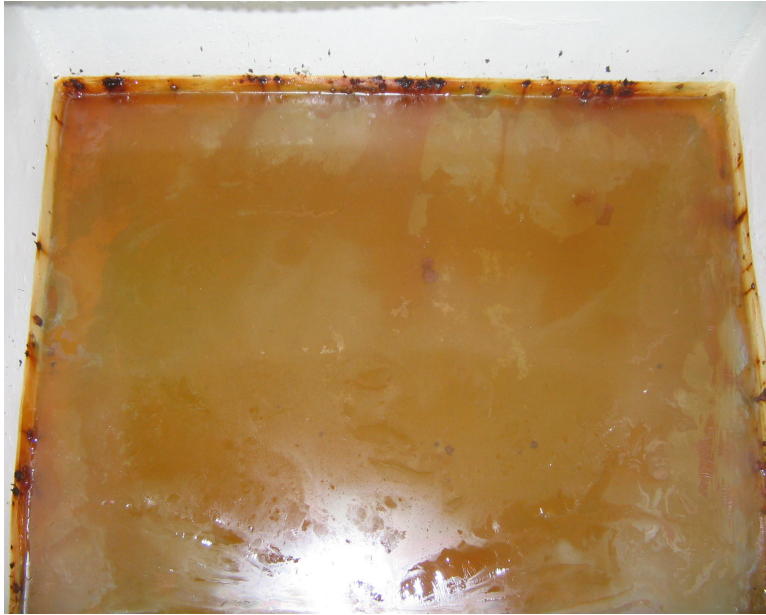


Şekil 6.31. Gözlem süresi sonunda bölmelerden sızan sıvıların toplamı

Gözlem süresi sonunda distile su bulunan, 5 cm geçirimsiz tabakalı bölümde 197 ml, 10 cm geçirimsiz tabakalı bölümde ise 573 ml sıvı sızması olmuştur. Bu değerler diğer bölümlerden sızan sıvıların miktarı yanında çok az olduğundan ihmal edilmiştir.



Şekil 6.32. Gözlem süresi sonunda Cr çözeltisi bulunan bölmenin görüntüsü



Şekil 6.33. Gözlem süresi sonunda Cu çözeltisi bulunan bölmenin görüntüsü



Şekil 6.34. Gözlem süresi sonunda distile su çözeltisi bulunan bölmenin görüntüsü



Şekil 6.35. Gözlem süresi sonunda Cr ve Cu çözeltileri bulunan bölmelerin görüntüsü

7. PLAXIS PROGRAMI

7.1. Programın Genel Özellikleri

PLAXIS'in gelişimi ilk olarak 1987'de Delft Teknik Üniversitesinde başlamıştır. PLAXIS, ille de sayısal uzman olması gerekmeyen geoteknik mühendisleri tarafından kullanılması için pratik analiz sağlayan bir araç olarak tasarlanmıştır. PLAXIS, geoteknik mühendislik projelerinde, özellikle de deformasyon ve stabilite analizleri için geliştirilmiş bir sonlu eleman paketidir. PLAXIS, basit grafiksel girdi işlemleri, karışık sonlu eleman modellerinin çabuk bir şekilde oluşturulmasını olanaklı kılmaktadır. Çıktı olanakları da, hesaplanan sonuçların detaylı bir şekilde sunumuna olanak sağlamaktadır. Geoteknik uygulamalar, zeminlerin doğrusal olmayan ve zamana bağımlı davranışını örneklemek için gelişmiş başlangıç modelleri gerektirmektedir. PLAXIS kullanıcılarının temel zemin mekaniği anlayışına sahip olması gerekmektedir [34].

Analiz edilecek her yeni proje için ilk olarak geometri modelini oluşturmak gerekmektedir. Noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşan geometri modeli gerçek bir problemi temsil eder. Bir geometri modeli farklı zemin tabakalarını, yapısal elemanları, inşa aşamalarını ve yükleri kapsamalıdır. Bir model geometrisinde bulunan üç tip ana bileşen vardır. Bunlar, noktalar, çizgiler ve hücrelerdir.

7.1.1. Noktalar

Çizgilerin başlangıç ve bitişini oluştururlar. Noktalar aynı zamanda ankraj, nokta vb. için lokasyonlarını belirlemede kullanılır.

7.1.2. Çizgiler

Çizgiler geometrinin fiziksel sınırlarını, model sınırlarını, geometrinin süreksizliklerini, farklı tabakalarının ayrımını veya aşamalarını belirlemekte kullanılır. Bir çizginin farklı fonksiyonları ve özellikleri olabilir.

7.1.3. Hücreler

Hücreler her tarafı çizgilerle kapatılmış alanlardır. PLAXIS, geometri çizgilerinin girilmesiyle oluşturulmuş hücreleri otomatik olarak algılamaktadır. Hücre içerisinde zemin özellikleri homojendir. Bu yüzden, hücreler zemin tabakalarını oluşturan parçalar olarak düşünülebilir. Hücelere gelen etkiler hücre içerisindeki bütün elemanlara etkir. Geometri modeli oluşturulduktan sonra, sonlu elemanlar modeli geometri modelinin içerisindeki hücre ve çizgilerin bileşimine bağlı olarak otomatik oluşturulur. Bir sonlu eleman ağında, elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları olmak üzere üç tip bileşen bulunmaktadır.

7.1.4. Elemanlar

Ağın oluşturulması esnasında hücreler üçgen elemanlara bölünürler. PLAXIS’de varsayılan üçgen eleman 15-düğümlü elemandır. Ek olarak, 6-düğüm noktalı üçgen elemanlar mevcuttur. 15-düğüm noktalı elemanlar 6-düğüm noktalı elemanlara nazaran daha detaylı ve daha esnek sonuçlar vermektedir, fakat bu elemanlara göre hesabı daha çok zaman almaktadır.

7.1.5. Düğüm noktaları

15- düğüm noktalı üçgenler 15 düğüm noktasından, 6- düğüm noktalı üçgenler ise 6 düğüm noktasından oluşur. Bir sonlu eleman hesaplaması esnasında, yer değiştirmeler düğümlerde hesaplanır. Yük – yer değiştirme eğrilerinin oluşturulması için düğümler yeniden seçilebilir.

7.1.6. Gerilme noktaları

Deplasmanların tersine, gerilmeler düğümler yerine her bir özel Gauss noktasında hesaplanır. 15-düğüm noktalı üçgen eleman 12, 6-düğüm noktalı üçgen ise 3 gerilme noktasına sahiptir. PLAXIS esas olarak 4 ana bölümden oluşmaktadır:

- INPUT (GİRDİ)
- CALCULATION (HESAPLAMA)
- OUTPUT (ÇIKTI)
- CURVES (GRAFİKLER)

7.2. Girdi

Geometri modelinin oluşturulmasının ilk adımı noktaların ve çizgilerin oluşturulmasıdır. PLAXIS’de, zemin tabakalarının, yapılarının, inşa aşamalarının, yüklerin ve sınır koşullarının girdisi, gerçek durumların detaylı ve doğru modellenmesini sağlayan uygun çizim işlemlerine dayanarak yapılmaktadır. Yeni bir proje için girdi olarak öncelikle genel ayarların seçilmesi gerekmektedir. İlk olarak Şekil 7.1’de görüleceği gibi, proje adının girilmesini, çözümün hangi modelle yapılacağını seçimi (düzlem deformasyon ya da asimetri) ve 6 veya 15-düğümlü mü elemanların kullanılacağını seçimi yapılmalıdır [35].

Bir sonraki adımda Şekil 7.2’de görüldüğü gibi, kullanılacak birimlerin seçilmesi ve çizim alanı ölçülerinin ve gridlerin sıklığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu adımlar tamamlandıktan sonra karşımıza ana pencere gelmektedir. Ana pencere (Şekil 7.3), ana menüyü, genel ve geometri araç çubuklarını, cetveli, çizim alanını, orijin noktasını, klavyeyle girdi bölümünü ve koordinatları gösteren bölümü içermektedir. Ana menü “file, edit, view, geometry, loads, materials, mesh, initial ve help “ menülerini ve bunların alt menülerini içermektedir [35].

General settings

Project Dimensions

Project

Filename <NoName>

Directory ...

Title <NoName>

General

Model Plane strain

Elements 15-Node

Comments

Acceleration

Gravity angle : - 90 ° 1.0 G

x-acceleration : 0.000 G

y-acceleration : 0.000 G

Earth gravity : 9.800 m/s²

☐ Set as default

Next OK Cancel Help

Şekil 7.1. Genel ayarlar (model ve eleman tipinin seçimi)

General settings

Project Dimensions

Units

Length m

Force kN

Time day

Stress kN/m²

Weights kN/m³

Geometry dimensions

Left : 0.000 m

Right : 50.000 m

Bottom : 0.000 m

Top : 25.000 m

Grid

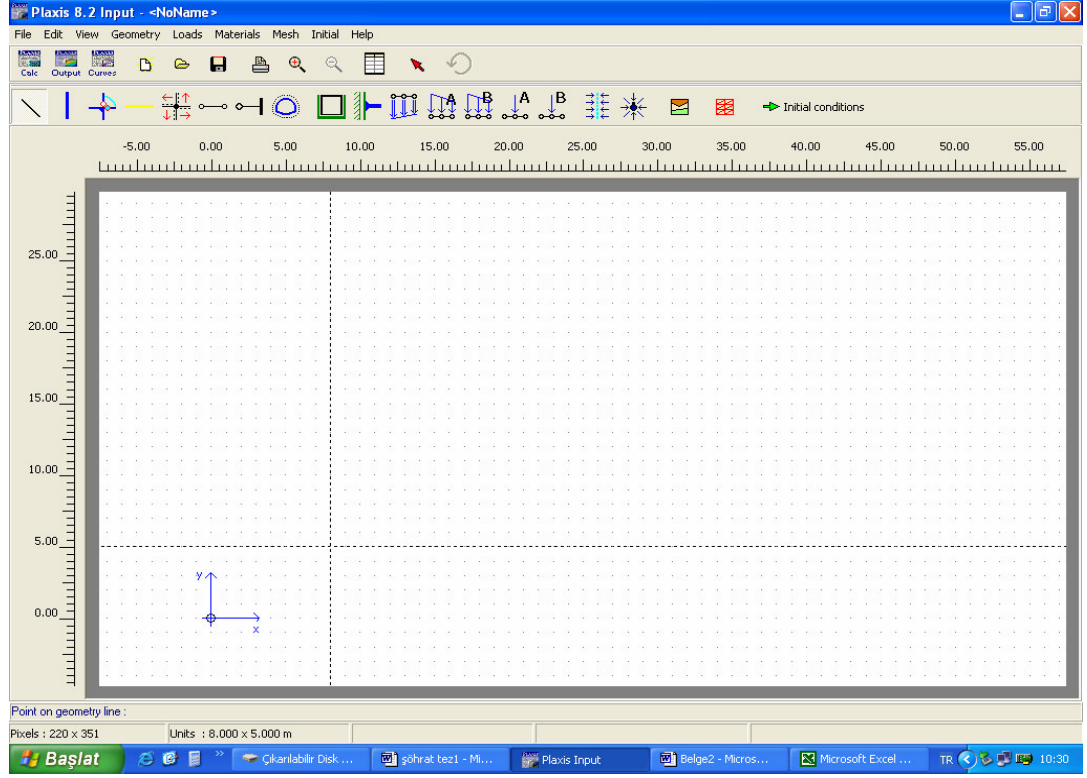
Spacing 1.000 m

Number of intervals 1

☐ Set as default

Next OK Cancel Help

Şekil 7.2. Genel ayarlar (birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi)

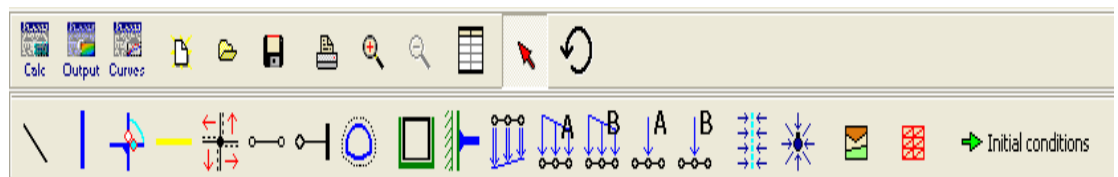


Şekil 7.3. Ana Pencere

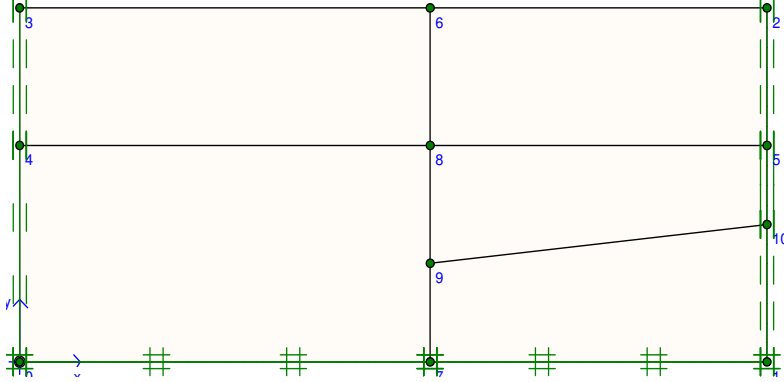
Geometri araç çubuğu ise Şekil 7.4’den de görülebileceği gibi geometrinin oluşturulması için gerekli işlemleri içermektedir. Bu elemanların işlevleri aşağıda özetlenerek açıklanmıştır.

7.2.1. Noktalar ve çizgiler

Mönüden geometri çizgisi seçildiğinde, çizim alanı içerisinde çizgiler oluşturulabilir. Bu çizgiler kullanılarak geometri modelinin zemin tabakaları, inşa aşamaları gibi ana hatlar oluşturulur. PLAXIS her tarafı çizgilerle kapalı alanları otomatik “demet” olarak algılayacaktır.



Şekil 7.4. Geometri araç çubuğu



Şekil 7.5. Çizgiler ve demetler

7.2.2. Kirişler

Kirişler, dayanma duvarları, kazıklar gibi yapıların ve diğer narin yapıların modellenmesi için kullanılırlar. Bu elemanların davranışı bir eğilme rijitliği (EI) ve bir normal rijitlik (EA) kullanılarak tanımlanır. Kirişler, birçok geoteknik yapının analizlerini çok gerçekçi bir şekilde gerçekleştirmek için ara yüzeylerle birlikte kullanılabilirler. PLAXIS'deki kiriş elemanları, Mindlin'in kiriş teorisine dayanmaktadır. Bu teori, hem eğilme hem de kesmeden dolayı kiriş deformasyonlarına olanak vermektedir. Ayrıca kirişler tünellerde de dış yüzey için kullanılabilir [35].

7.2.3. Kiriş Mafsalları

Standart kiriş birleşimleri rijittir. Kiriş mafsalları, kirişlerin bittiği noktalarda serbestçe dönmenin sağlanacağı birleşimler oluşturmak için kullanılırlar.

7.2.4. Geotekstiller

Geotekstiller veya geogridler sık olarak donatılı dolguların veya dayanma yapılarının inşaat uygulamalarında kullanılırlar. Bu elemanlar PLAXIS'de özel çekme elemanları kullanılarak simule edilirler. Bu elemanları, etraftaki zeminle etkileşimini de modelleyebilmek için ara yüzey elemanlarıyla birleştirmek

uygundur. PLAXIS’de bu elemanlar için kullanılan tek malzeme özelliği normal rijitliktir (EA). Geotekstiller aynı zamanda zemin ankrajları uygulamalarında, ankrajın harçlı kısmının modellenmesi içinde kullanılır [35].

7.2.5. Ara yüzeyler

Ara yüzeyler yapılar ve zemin arasındaki etkileşimi modellemek için kullanılırlar. Bu yapısal objeler ve çevreleyen zemin arasında tam bir etkileşime olanak vermektedir. Ara yüzeylerin tipik bir uygulaması bir palplanjla zemin arasındaki etkileşimin modellenmesi olabilir.

7.2.6. Ankrajlar

Ankrajlar ve yatay destekleri modellemek için elasto-plastik yay elemanları kullanılmıştır. PLAXIS’de düğümden-düğüme ankrajlar ve sabit uçlu ankrajlar olmak üzere iki tip ankraj modellenabilmektedir. Düğümden- düğüme ankraj, sabit bir yay rijitliğine sahip, iki nokta arasındaki bağları modellemek için kullanılan yaylardır. Bu eleman hem çekme kuvvetlerine (ankraj) hem de basınç kuvvetlerine (yatay destek) maruz kalabilmektedir. Sabit uçlu ankrajlar ise tek bir noktanın bağlanmasını modelleyen yaylardır. Ankrajlar için açılı girdisi saat yönünün ters yönünde tamamlamıştır. Açılıya ilave olarak, ankrajın eşdeğer uzunluğunun da özellikler penceresinde girilmesi gerekir. PLAXIS’de ön gerilmeli ankrajların da modellenebilmesi için özel bir opsiyon vardır. Eşdeğer uzunluk, ankrajın bağlantı noktası ile yer değiştirmenin sıfır kabul edildiği sabit ucu arasındaki mesafedir [35].

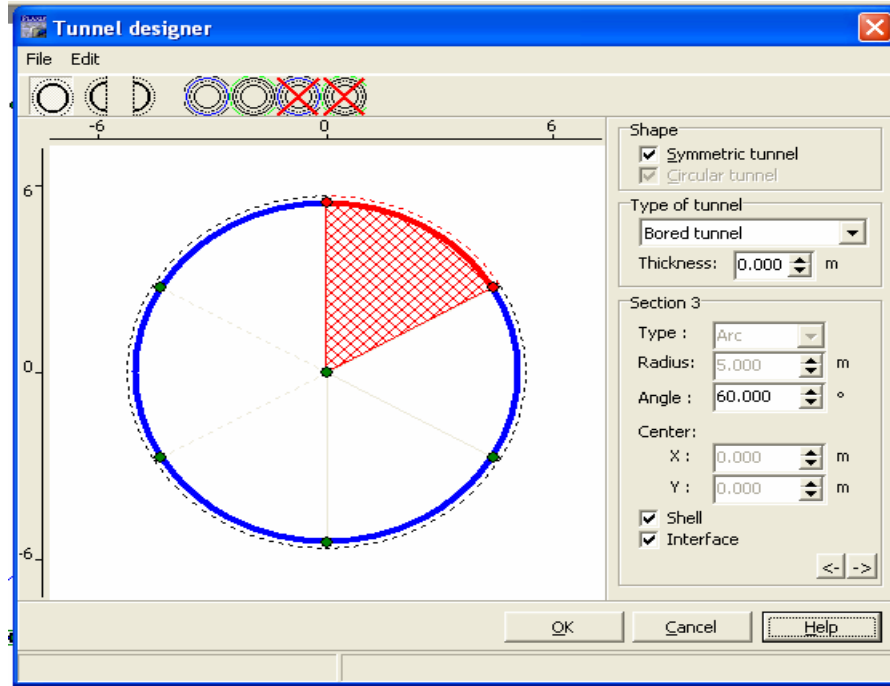
7.2.7. Tüneller

Tünel, opsiyona geometri içerisine ilave edilmek üzere, dairesel ve dairesel olmayan tüneller oluşturma için kullanılabilir. Tüneller yayların bir kompozisyonudur ve bir yarıçap ve bir radyal çap ile tanımlanırlar. Tünel imgesine tıklandığında karşımıza Şekil 7.6’daki gibi ne tür bir tünel modeli

oluşturmak istediğimiz soran pencere çıkmaktadır. Buradan bütün bir tünel, yarım tünel-sol yarısı ve yarım tünel-sağ yarısı seçeneklerinden birisini seçip tüneli modellemeye başlayabiliriz. Tünelin dış yüzeyinin modellenmesi için kirişler ve zeminle etkileşiminin modellenmesi için de ara yüzeyler kullanılmaktadır [35].

7.2.8. Sabitlemeler

Sabitlemeler hem noktalara hem de çizgilere uygulanabilmektedir. PLAXIS’de beş çeşit sabitleme seçeneği vardır. Bunlardan dördü, “yatay sabitleme ($u_x=0$)”, “dikey sabitleme ($u_y=0$)”, “toplam sabitleme ($u_x = u_y=0$)” ve “moment sabitlemesi” dir. Beşinci sabitleme ise standart sabitlemedir.



Şekil 7.6. Tünel tipi seçimi ve tünele ait açı, ve yarıçap gibi verilerin girdisi

Standart sabitlemenin kullanılması halinde PLAXIS geometri modeline bir dizi genel sınır şart uygulanmaktadır. Bu şartla aşağıdaki uygulamalara göre uygulanmaktadır;

- Modelde, x koordinatında en düşük ve yüksek x koordinatına sahip düşey geometri çizgileri için yatay sabitleme ($u_x=0$) elde edilir.

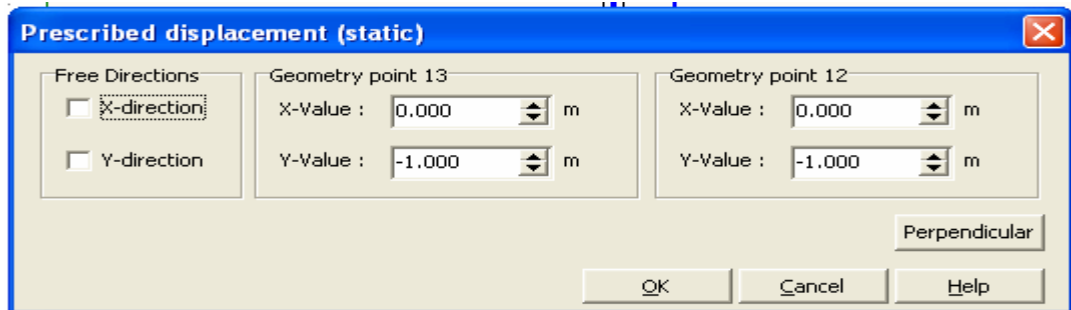
- Modelde, y koordinatında en düşük y koordinatına sahip yatay geometri çizgisi için tam sabitleme ($u_x = u_y = 0$) elde edilir.
- Geometri modelinin sınırına uzanan kirişler, eğer o noktadaki yer değiştirme önlerinden en az birisi sabitlendiyse, sınırdaki noktada sabit bir dönme ($\phi_z = 0$) elde edilir.

7.2.9. Önceden tanımlanan yer değiştirmeler

Önceden tanımlanan yer değiştirmeler, geometri çizgilerine uygulanabilen ve bu çizgilerin yer değiştirmelerini kontrol eden özel durumlardır. Önceden tanımlanan yer değiştirmeler uygulandığında standart ilk yatay yer değiştirme değeri sıfır ($u_x = 0$) ve düşey yer değiştirme değeri de negatif düşey yönde bir birimdir ($u_y = -1$). Bu değerler istenirse girdi penceresinde, istenirse de hesaplamalar esnasında değiştirilebilmekte ve istenen yer değiştirmeler girilebilmektedir [35].

7.2.10. Kuvvetler

Hem nokta yükler hem de yayılı yüklerin uygulanabilmesi için, iki bağımsız yük sistemi kullanılabilir (A ve B). Nokta kuvvetler geometri noktalarına, yayılı kuvvetler çizgiler üstünde uygulanmaktadır. Hem nokta hem de yayılı yükler yatay ve düşey bileşenler içerebilirler. Yayılı yükler her biri birim alan için (kN/m^2), nokta yüklere ise her biri birim uzunluk (kN/m) için değerler girilir [35].



Şekil 7.7. Önceden tanımlanan yer değiştirme menüsü

Point load - static load system A

Geometry point 4

X-Value : 0.000 kN/m

Y-Value : -1.000 kN/m

OK Cancel

Distributed load - static load system A

Geometry point 11

X-Value : 0.000 kN/m²

Y-Value : -1.000 kN/m²

Geometry point 10

X-Value : 0.000 kN/m²

Y-Value : -1.000 kN/m²

Perpendicular

OK Cancel Help

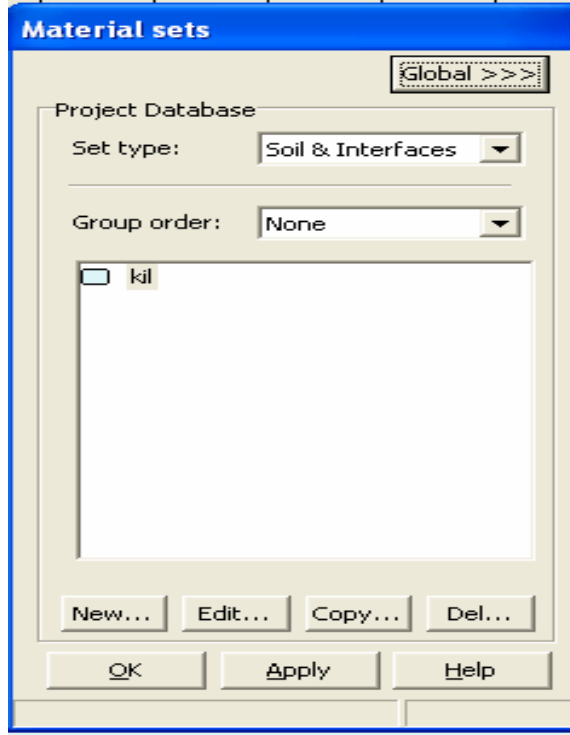
Şekil 7.8. Nokta ve yayılı yükler için girdi mönüleri

7.2.11. Malzemelerin tanımlanması

Yukarıdaki işlemlerle modelin çizimi gerçekleştirildikten sonra malzemelerin özelliklerinin tanımlanmasına geçilmektedir. Bunun için Şekil 7.10'daki mönüden yararlanılır. Mönü ana olarak dört malzeme tanımlamasını içermektedir. Bunlar zemin ve ara yüzeyler, (soil & interfaces), kirişler (beams), geotekstiller (geotextiles) ve ankrajlar (anchors) için tanımlamalardır. Bu dört malzeme için hafızaya kayıtlı elemanlar kullanılabileceği gibi yeni elemanlar da oluşturulabilir [35].

Zeminler için ilk olarak drenajlı, drenajsız veya geçirimsiz malzeme özelliklerinden birinin seçilmesi ve γ_d , γ_w , k_x , k_y değerlerinin girilmesi

gerekmektedir. İlave olarak istenirse gelişmiş e_{init} , e_{min} , e_{max} ve c_k parametreleri de kullanılabilir.



Şekil 7.9. Malzeme tanımlama menüsü

Mohr-Coulomb - GW

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification:

Material model:

Material type:

General properties

γ_{unsat} kN/m³

γ_{sat} kN/m³

Comments

Permeability

k_x : m/day

k_y : m/day

Şekil 7.10. Zeminler için data girdileri ve model seçimi

“Drenajlı” seçilmesiyle hiç ilave boşluk suyu basıncı oluşturulmamış olur. Bu durum kuru zeminler ve yüksek permeabiliteden dolayı (kumlar) tam drenaj için kullanılır. “Drenajsız” davranışın seçilmesi de ilave boşluk suyu basınçlarının bütünüyle geliştirilmesi için kullanılır. “Gözeneksiz” davranışın seçilmesi de, ne başlangıç ne de ilave boşluk suyu basınçlarının hesaba alınmamasını sağlar. Bu tarz uygulamalar beton veya kayanın modellenmesinde kullanılabilirler. Geçirimsiz davranış genellikle lineer elastik modelle birlikte kullanılmaktadır.

En önemli seçim ise malzeme modelinin ne olacağı ve bu modellerin parametreleridir. Zeminler için PLAXIS’de 5 farklı modelleme seçeneği vardır :

- Lineer elastik model
- Mohr-Coulomb modeli
- Pekleşen zemin modeli
- Yumuşak zemin modeli
- Yumuşak zemin sünme modeli

The screenshot shows the 'Mohr-Coulomb - GW' software window with the 'Parameters' tab selected. The interface is divided into four main sections: Stiffness, Strength, Alternatives, and Velocities. Each section contains input fields for various parameters.

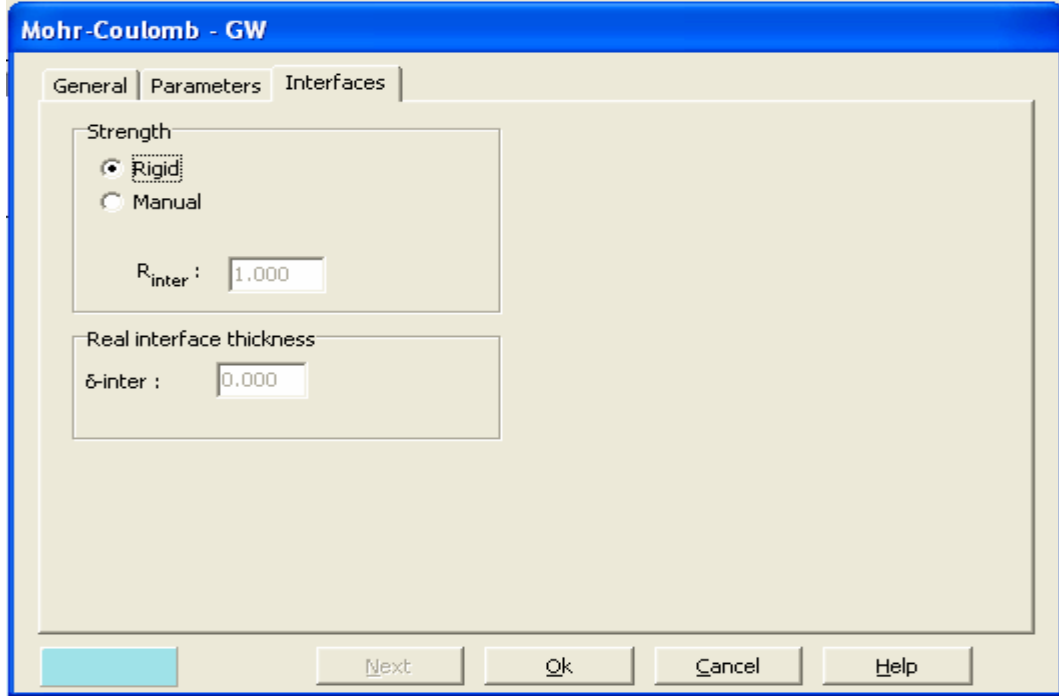
Section	Parameter	Value	Unit
Stiffness	E_{ref}	1.500E+05	kN/m ²
	ν (nu)	0.350	
Strength	c_{ref}	1.000E-03	kN/m ²
	ϕ (phi)	44.000	°
	ψ (psi)	14.000	°
Alternatives	G_{ref}	5.556E+04	kN/m ²
	E_{oed}	2.407E+05	kN/m ²
Velocities	V_s	151.600	m/s
	V_p	315.500	m/s

At the bottom of the window, there are buttons for 'Next', 'Ok', 'Cancel', and 'Help'. An 'Advanced...' button is also present in the bottom right corner of the main parameter area.

Şekil 7.11. Mohr-Coulomb modelinin girdileri

Bir sonraki aşama ise ara yüzey için parametrelerin seçilmesidir. İlk yapılması gereken seçim ara yüzey “dayanım” değeridir (R_{inter}). Ara yüzey dayanımı için “rigid” opsiyonu ($R_{inter}=1$), ara yüzey çevresindeki zeminin dayanımını etkilemeyecekse kullanılır. Genelde, gerçek zemin-yapı etkileşimi zeminden daha zayıf daha esnektir. Bu durumda R_{inter} değeri “manuel” olarak girilebilir.

Ara yüzey için yapılması gereken diğer seçim de “permeabilite” içindir. Ara yüzeyler, ara yüzeye dik akış için bir permeabiliteye (k_n) ve ara yüzeye paralel akış için ayrı bir permeabiliteye (k_s) sahiptirler.



Şekil 7.12. Ara yüzey girdileri

Ara yüzey için “geçirimsiz” seçeneği, ara yüzeye dik akışı sınırlandırılmak istendiğinde kullanılır. Örnek olarak, palplanj duvar modellenirken kullanılan kirişler aslında geçirimlidir. Duvarı su geçirmez yapmak içinse ara yüzeylere “geçirimsiz” özelliği verilebilir. Bu durum seçildiğinde düşük bir k_n değeri (zemin permeabilitesinin 0.001’i) ve k_s için de sıfır değeri elde edilecektir. Ara yüzey için “drenajlı” seçeneği, suyun ara yüzey içinde paralel olarak serbestçe akışına izin vermek için yapılır.

Zeminlerin ve ara yüzeylerin özellikleri tanımlandıktan sonra sıra “kirişler”in özelliklerinin tanımlanmasındadır. Kirişler için girdi parametreleri de Şekil 7.14’de görüldüğü gibidir. Kirişler için ilk olarak “plastik” ve “elasto-plastik” malzeme tiplerinden birisi seçilmelidir. Elastik tip seçilmesi durumunda, modellemede gerekli parametreler, eksenel rijitlik, eğilme rijitliği, ağırlık ve poisson oranıdır. Maksimum eğilme momenti ve maksimum eksenel yük değerleri (M_p ve N_p) otomatik olarak hesaplanır. Elasto-plastik model kullanıldığında ise maksimum eğilme momenti değeri manuel olarak girilebilir ve plastisite de hesaplara katılmış olur. Eğer tanımlanan değerler aşılsa gerilmeler plastisite teorisine göre yeniden dağıtılır ve tersine döndürülemez deformasyonlara yol açar.

Plate properties

Material set

Identification: KAZIK

Material type: Elastic

Comments

Properties

EA : 2.350E+07 kN/m

EI : 1.960E+06 kNm²/m

d : 1.000 m

w : 0.000 kN/m/m

v : 0.200

M_p : 1.000E+15 kNm/m

N_p : 1.000E+15 kN/m

Rayleigh α : 0.000

Rayleigh β : 0.000

Ok Cancel Help

Şekil 7.13. Kiriş özellikleri girdileri

Tanımlanması gereken üçüncü malzeme de “geotekstiller”dir. Geotekstiller için tek parametre eksenel rijitliktir (EA). EA değeri, düzlem içine doğru bir birim uzunluk için gerilmelidir. “Geotekstiller” basınç kuvvetlerini çekemezler.

“Ankrajlar” için ana parametre EA, eksenel rijitliktir ve değeri her bir ankraj için girilmelidir. Ayrıca ankrajların düzlem içine doğru yatay aralıklarının (L_s) da belirtilmesi gerekmektedir [35].

7.2.12. Ağın oluşturulması

Bütün malzemeler tanımlandıktan sonra artık sıra ağın oluşturulmasına gelmiştir. Sonlu eleman hesaplamalarında, geometri elemanları bölünmek zorundadır. Sonlu elemanların bileşenine de sonlu eleman ağı denmektedir. PLAXIS tam otomatik ağ oluşturma işlemine olanak vermektedir. Ağ otomatik oluşturulmadan önce ağın sıklığının da seçilmesi durumu vardır. “ Çok kaba, kaba, orta, çok iyi “ seçeneklerinden birisi seçilerek yaklaşık aynı sırayla 25, 50, 100, 200, 400 elemanlı ağlar oluşturulabilir. Eğer bir seçim yapılmazsa PLAXIS otomatik olarak “orta” seçeneğine göre ağı oluşturacaktır. Böylece geometri tamamlanmış ve sonlu eleman ağı da oluşturulmuş oldu. Şimdi de “başlangıç

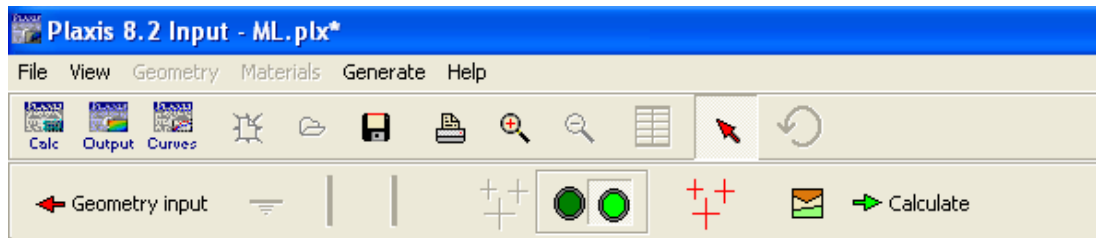
koşulları” seçeneği kullanılarak, başlangıç su basınçlarının ve zemin gerilmelerinin oluşturulması gerekmektedir.

Boşluk suyu basınçlarının oluşturulması için iki alternatif bulunmaktadır. Birincisi “yer altı suyu seviyeleri” seçeneğinde, “Genel yer altı su seviyesi” tanımlanabileceği gibi, süreksiz bir boşluk suyu basıncı dağılımına imkan vermek için “her bir demet için yer altı su seviyesi” ayrı ayrı tanımlanabilir.

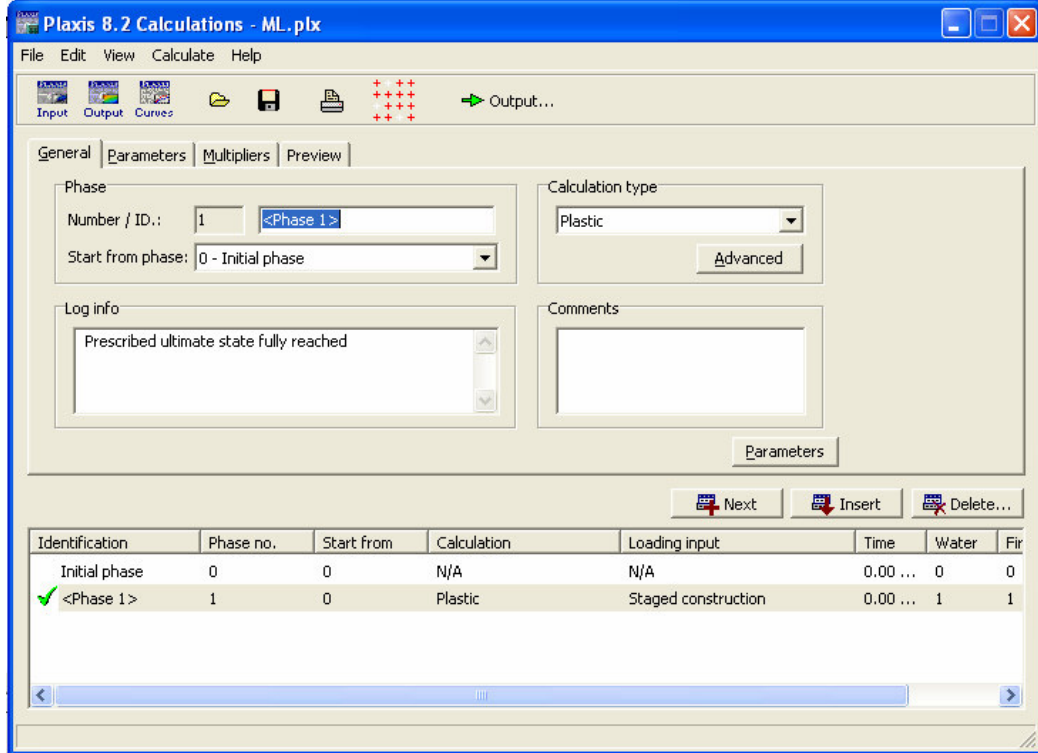
İkinci seçenek, “yer altı suyu akış analizi” de iki boyutlu yer altı akış analizini esas alarak kompleks boşluk suyu basıncı dağılımlarına imkan vermektedir. Yer altı suyu akış hesaplamaları ile gerçekleştirilen su basınçlarının oluşturulması, demetlerdeki permeabiliteleri, oluşturulan ağı ve girilen sınır koşullarını (kapalı akış sınırı ve kapalı konsolidasyon sınırı) kullanan sonlu eleman hesaplamasına dayanmaktadır [35]. Bütün bu yukarıda anlatılan ve “girdi” bölümüne ait olan parametreler tanımlandıktan sonra artık hesaplamalar kısmına geçilebilir.

7.3. Hesaplamalar

Hesaplamalar bölümü “plastik analiz”, “konsolidasyon analiz”, “güncelleştirilmiş ağ analizi” ve “dinamik analiz” olmak üzere dört tip analize imkan vermektedir. Şekil 7.15’de görülen mönüden, bu analizlerden birisi seçilebilmektedir. Her proje için, hesaplamanın özelliğine göre birçok hesaplama evresi belirtilebilmektedir. Son olarak hesaplama kısmında, eğriler-grafikler elde edebilmek için geometri üstünde noktalar seçilmelidir.



Şekil 7.14. Başlangıç koşulları mönüsü



Şekil 7.15. Hesaplama mönüsü ve hesap evreleri

7.4. Çıktılar

PLAXIS işlemcisi, hesap sonuçlarını göstermek için grafiksel özelliklere sahiptir. Yer değiştirmelerin, gerilmelerin ve yapısal yüklerin kesin değerleri çıktı çizelgelerinden elde edilebilmektedir.

Çıktı mönüsünden zeminlerin, kirişlerin ve geotekstillerin malzeme özellikleri Çizelge olarak elde edilebilmektedir. Mönüden zeminler için, hem grafiksel hem de Çizelge olarak elde edilebilecek çıktılar ise şunlardır [35]:

- Deformasyonlar
 1. Deforme olmuş ağ
 2. Toplam yer değiştirmeler
 3. Yatay yer değiştirmeler
 4. Düşey yer değiştirmeler
 5. Toplam birim deformasyonlar
 6. Artısal birim deformasyonlar
- Gerilmeler

1. Efektif gerilmeler
2. Toplam gerilmeler
3. Aşırı konsolidasyon oranı
4. Aktif boşluk suyu basınçları
5. Yer altı su seviyesi
6. Akış sahası

Kirişler için grafiksel ve çizgisel çıktı seçenekleri şunlardır:

- Deformasyonlar
 1. Toplam yer değiştirmeler
 2. Yatay yer değiştirmeler
 3. Düşey yer değiştirmeler
 4. Toplam artımlar
 5. Düşey artımlar
 6. Yatay artımlar
- Kuvvetler
 1. Eksenel
 2. Kesme
 3. Eğilme momenti

Geotekstiller için grafiksel ve çizelgesel çıktı seçenekleri şunlardır:

- Deformasyonlar
 1. Toplam yer değiştirmeler
 2. Yatay yer değiştirmeler
 3. Düşey yer değiştirmeler
- Kuvvetler
 1. Eksenel
 2. Çember kuvvetleri (sadece asimetrik modelde)

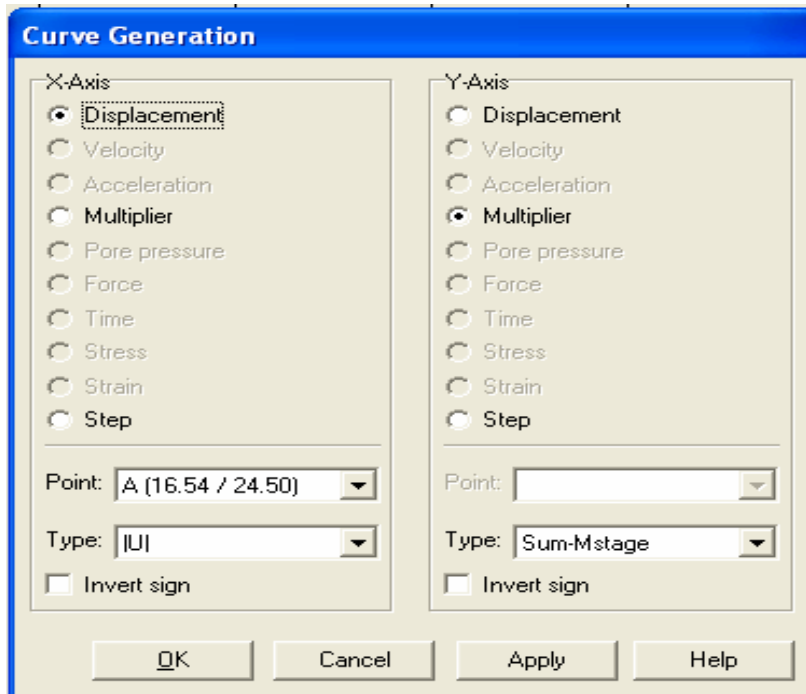
7.5. Eğriler

Eğriler opsiyonu, geometride önceden seçilen noktaların, yük-yer değiştirme veya zaman-yer değiştirme diyagramlarını, gerilme- deformasyon diyagramlarını ve gerilme veya deformasyon izlerini çizmek için kullanılabilir. Genelde

düğümle yük-yer değıştirme eğrilerinin oluşturulması için kullanılırken, gerilme noktaları da gerilme- deformasyon diyagramları ve gerilme izleri için kullanılmaktadır. Eğri oluşturma” opsiyonu seçildiğinde, karşımıza Şekil 7.17’deki “eğri oluşturma” mönüsü çıkmaktadır. Ayrıca eğrilerin renk, stil vb. özelliklerini değıştirmek için “eğri ayarları” opsiyonu da bulunmaktadır. Oluşturulan eğrilerin çizelgesel görünüşleri de “Çizelge” seçeneğinden elde edilebilmektedir.

7.6. PLAXIS Programı ile Şevlerin Stabilité Analizleri

Doğal veya yapay zemin kitlelerinin eğik yüzlerine şev denir. Şev yüzeyi altındaki zeminin göçmesine (kırılmasına), şev kayması denir [36]. Geoteknik mühendisliğinde stabilite problemlerinin çözümünde olası bir kayma düzleminde göçmeye zorlayan kuvvetler ile göçmeye karşı koyan kuvvetler karşılaştırılır, kısaca buna güvenlik sayısı denir ve F_s ile gösterilir. Stabilitenin sağlanması için karşı koyan kuvvetlerin zorlayıcılardan daha büyük olması gerekmektedir.



Şekil 7.17. Eğri oluşturma mönüsü

Güvenlik sayısı,

$$F_s = \frac{\sum \text{Kaymaya karşı koyan kuvvetler}}{\sum \text{Kaymaya zorlayan kuvvetler}} \quad (7.1)$$

Klasik şev stabilite analizleri, sonsuz şevler, kütle yöntemleri (Culman, Fellenius-Taylor) ve dilim yöntemleri (İsveç dilim yöntemi, Bishop, Janbu, Spencer vb.) hesabı ile yapılmaktadır. Bu analizlerde:

- Zemin kütleleri içerisindeki gerilmelerin analizleri yaklaşıktır
- Mohr-Coulomb yöntemi kısıtlıdır
- Boşluk suyunun difüzyonu ile kararsız durumların hesaba katılma güçlüğü vardır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile şev stabilitesi analizi, gravite artırma yöntemi ve mukavemet azaltma yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Gravite artırma yönteminde; yer çekimi ivmesi g şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar artırılır (Chen).

$$g(t) = g_{\text{base}} f(t)$$

$$F_s = \frac{g_{\text{limit}}}{g_{\text{true}}}, \quad (7.2)$$

true: gerçek graviteyi göstermektedir.

Mukavemet azaltma yönteminde ise, kayma mukavemeti parametreleri (c ve ϕ) şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar artırılır (Griffith ve Zienkiewicz).

$$Y(t) = Y_{\text{base}} f(t)$$

$$F_s = \frac{Y_{\text{true}}}{Y(t_{\text{limit}})} = \frac{1}{f(t_{\text{limit}})} \quad (7.3)$$

Sonlu elemanlar yöntemi ile şev stabilite analizi; karmaşık geometriye, gerçeğe yakın malzeme davranışına, karmaşık yükleme koşullarına, uzun ve kısa süreli stabiliteye, su etkisine ve deformasyona bağlı güvenlik katsayısına sahiptir.

PLAXIS ile şev stabilite analizi, güvenlik sayısı hesaplanarak yapılmaktadır. Güvenlik sayısı analizi, hesap adımında Phi/c reduction seçilerek gerçekleştirilmektedir. Burada kayma mukavemeti parametreleri c ve $\tan(\phi)$ göçmeye erişilinceye kadar azaltılır.

Güvenlik faktörü,

$$\sum M_{sf} = \frac{c}{c_{azaltılmalı}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{azaltılmalı}} \quad (7.4)$$

7.7. Avantajları ve Dezavantajları

PLAXIS nümerik analizlere aşına olmayan geoteknik mühendisleri için geliştirilen ticari bir bilgisayar yazılımıdır. Zemin için ve zeminle yapı arasındaki etkileşim için gelişmiş başlangıç modelleri PLAXIS içerisine dahil edilmiştir. Aşağıda PLAXIS'in bazı avantaj ve dezavantajları sıralanmıştır [34]:

Avantajlar:

- Güçlü ve kolay kullanışlı grafiksel girdi ve çıktı olanağı, kullanıcının çok hızlı bir şekilde problemi saptaması ve sonuçları görmesini sağlamaktadır.
- Otomatik ağ oluşturma: Etkili, otomatik üçgen ağ oluşturucusu, gerilme yoğunluğuna bağlı olarak ağı lokal ve global olarak düzenleyebilir.
- Lineer olmayan zemin davranışı olanağı: PLAXIS içerisinde, lineer olmayan zemin davranışının hesaplara katılabilmesine yarayan, gelişmiş zemin modelleri de mevcuttur.
- Eğer drenajsız zemin şartı varsayımı yapılıyorsa, aşırı boşluk suyu basınçları da analiz içine dahil edilebilir. Aşırı boşluk suyu basınçları dinamik analizler içerisine de dahil edilebilir.
- Uygun deprem simülasyonu: Standart SMC formatı yer hareketi, PLAXIS tarafından okunabilir ve yorumlanabilir. Bu da depremin sisteme etkilerini simule etmek için uygun bir yol sağlamaktadır.
- Mükemmel kullanıcı servisi: PLAXIS web sayfasında, teknik problemlerinin tartışılması için forum sağlanmakta ve sorular zaman içinde program yöneticisi tarafından cevaplanmaktadır.

Dezavantajlar:

- Program, ABAQUS ve AVSYS gibi kullanıcıya açık değildir. Kullanıcı yazılımın içinde çalışmamaktadır. PLAXIS içinde, zemin ve kazık arasında yeni bir ilişki modelinin göz önüne alınmasına olanak verecek veya saha analizlerine uygun yeni bir lineer olmayan modelin göz önüne alınmasına olanak verecek yeni elemanlar kullanılamamaktadır.

- Dinamik analiz için sınırlama: PLAXIS’de “Lagrangian Updated Mesh” ve “Dinamik” analiz aynı zamanda seçilmemektedir. Bu da, yumuşak killerde veya büyük değerlerdeki yer hareketlerinde meydana gelebilecek büyük deformasyonlar için dinamik analizin tamamlanmaması demektir.
- Sıvılaşma bu versiyonda göz önüne alınmamaktadır.

8. PLAXIS ANALİZİ SONUÇLARI

8.1. Katı Atık Depolama Sistemleri

Atıkların bertarafı, geri kazanma değerlendirme, yakma, kompostlaştırma ve düzenli katı atık depolama sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu teknolojilerden ilk üçü; kısmi bir değerlendirme sağladığından, yalnız kısmi bir çözüm oluşturmakta ve tek başlarına tüm atığın bertaraf edilmesini mümkün kılmamaktadır. Bu ilk üç yöntem uygulaması sonunda hala bertaraf edilmemiş, belli bir kısım katı atık geride kalmaktadır. İşte bu geri kalan katı atıklar için bir düzenli depolama tesisi mutlaka gerekli olmaktadır. Düzenli katı atık depolama tesisi olmayan bir katı atık bertaraf sistemi yoktur [4]. Bu yüzden Plaxis programı çeşitli yükseklikteki katı atık dolgularının geotekstilli ve geoteksilsiz stabilite analizleri yapılmıştır.

Analizlerin tümünde, geçirimsiz alt tabaka kalınlığı 90 cm alınmıştır ve 30 cm tabakalar halinde inşa edilmiştir. Drenaj tabakası kalınlığı 30 cm alınmıştır. Arazi zemini analizleri kolaylaştırması için 2 m kalınlığında kum tabakası seçilmiştir. Geçirimsizlik tabasının kohezyonu (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) laboratuvarda yapılan üç eksenli basınç deneyi sonucunda belirlenmiş ve C , 80 kN/m², ϕ ise 25° alınmıştır.

8.1.1. 30 m yükseklikli ve geotekstilli katı atık dolgusu

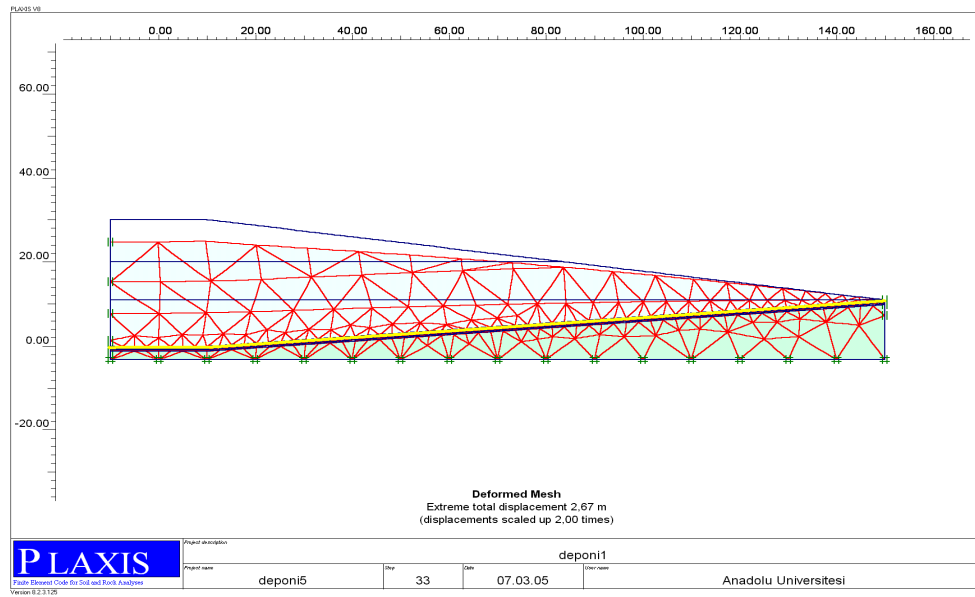
Analizi yapılan 30 m yükseklikli ve geotekstilli dolgunun zemin özellikleri Çizelge 8.1’de ve kullanılan geotekstilin özellikleri de Çizelge 8.2’de verilmiştir. Analizi yapılan bu dolgunun deforme olmuş ağı Şekil 8.1’de verilmiştir. Bu dolguda toplam 2,67 m’lik oturma meydana gelmiştir. Dolguda oluşan efektif gerilme biçimi Şekil 8.2’de verilmiştir. Efektif gerilmeler geçirimsizlik tabakasının olduğu bölgede yoğunlaşmıştır. Toplam efektif gerilme 782,05 kN/m²’dir. Dolguda oluşan toplam gerime Şekil 8.3’de verilmiştir, değeri 874.28 kN/m²’dir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı Şekil 8.4’de verilmiştir, değeri 645.94 kN/m²’dir. Boşluk suyu basıncı drenajsız tabaka çevresinde oluşmuştur.

Çizelge 8.1. Girilen zemin parametreleri

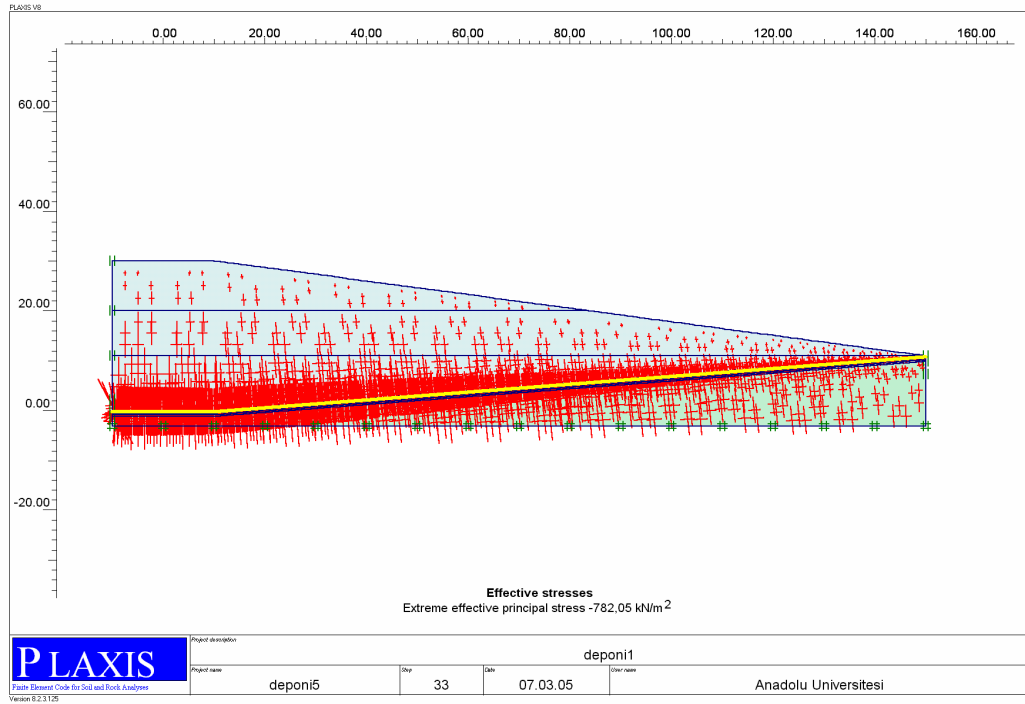
Mohr-Coulomb		1	2	3	4
		Katı atık	Drenaj tabakası	Kil	Kum
Tip		Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız	Drenajlı
γ_{unsat}	[kN/m ³]	15,80	16,00	16,50	17,00
γ_{sat}	[kN/m ³]	15,80	18,00	18,50	20,00
k_x	[cm/sn]	1×10^{-3}	1,000	1.5×10^{-8}	1,000
k_y	[cm/sn]	1×10^{-3}	1,000	1.5×10^{-8}	1,000
e_{init}	[-]	0,500	0,500	0,500	1,000
c_k	[-]	1E15	1E15	1E15	1E15
E_{ref}	[kN/m ²]	2000,000	15000,000	9500,000	40000,000
ν	[-]	0,300	0,333	0,300	0,300
G_{ref}	[kN/m ²]	769,231	5626,407	3653,846	15384,615
E_{oed}	[kN/m ²]	2692,308	22471,935	12788,462	53846,154
c_{ref}	[kN/m ²]	20,00	1,00	80,00	1,00
ϕ	[°]	32,00	30,00	25,00	32,00
$R_{\text{inter.}}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge 8.2. Kullanılan geotekstilin özellikleri

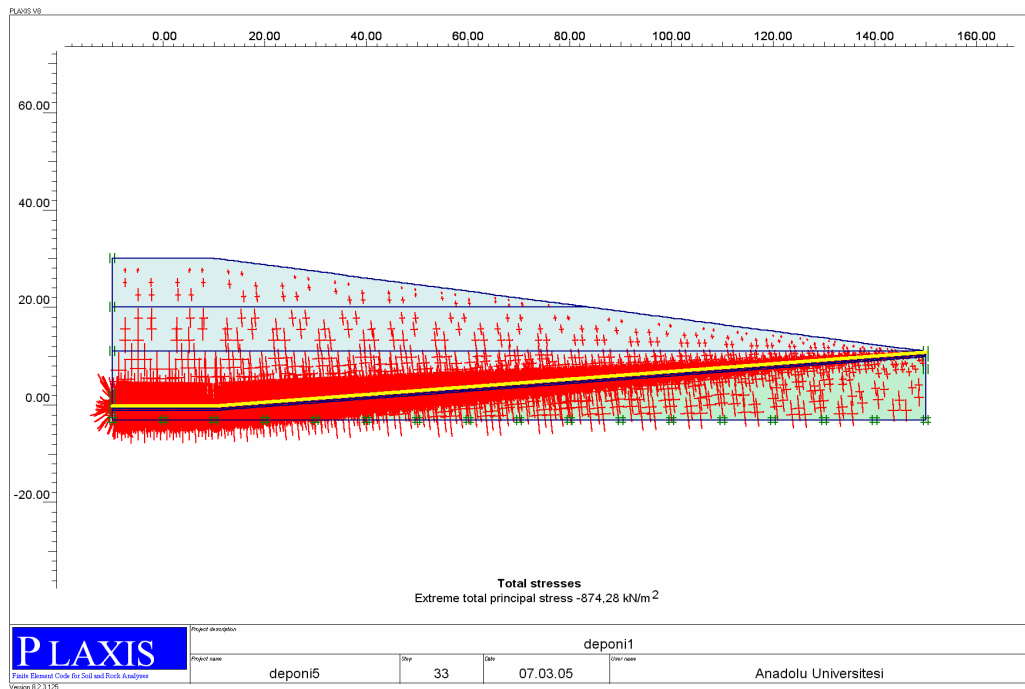
Tanımlama	Elastisite (EA) [kN/m]	Poyzon oranı (ν) [-]
geogrid	5000,00	0,00



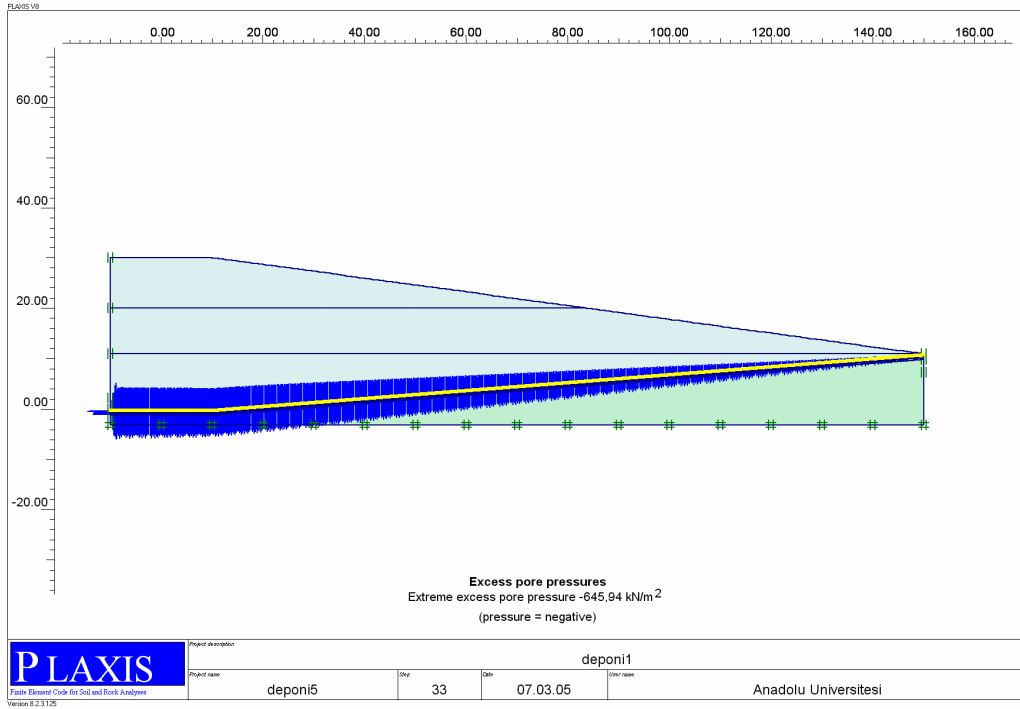
Şekil 8.1. Deforme olmuş ağın durumu



Şekil 8.2. Dolguda oluşan efektif gerilme



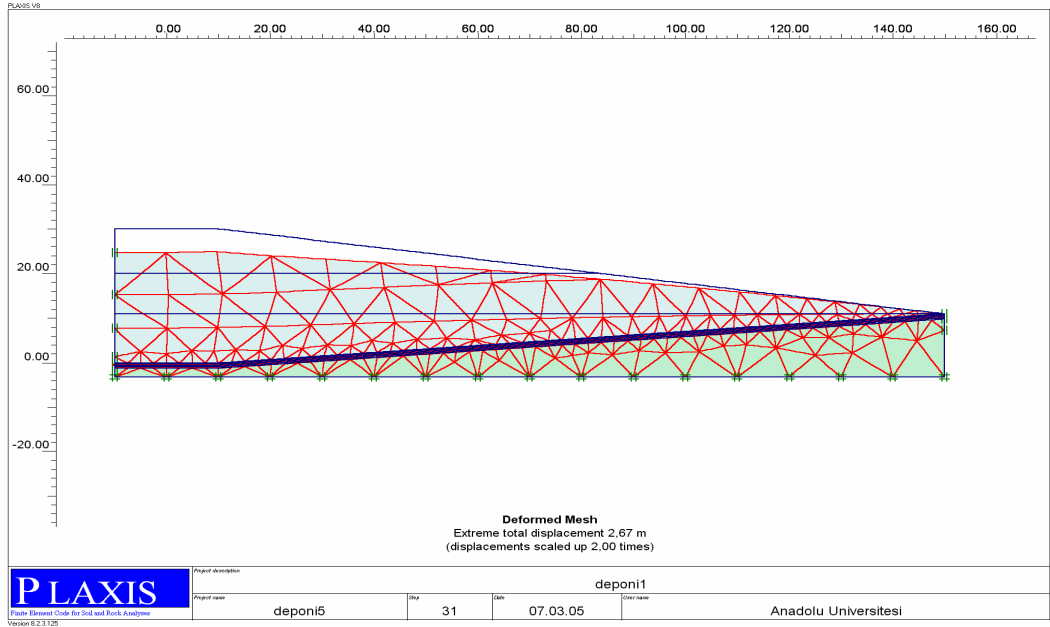
Şekil 8.3. Dolguda oluşan toplam gerilme



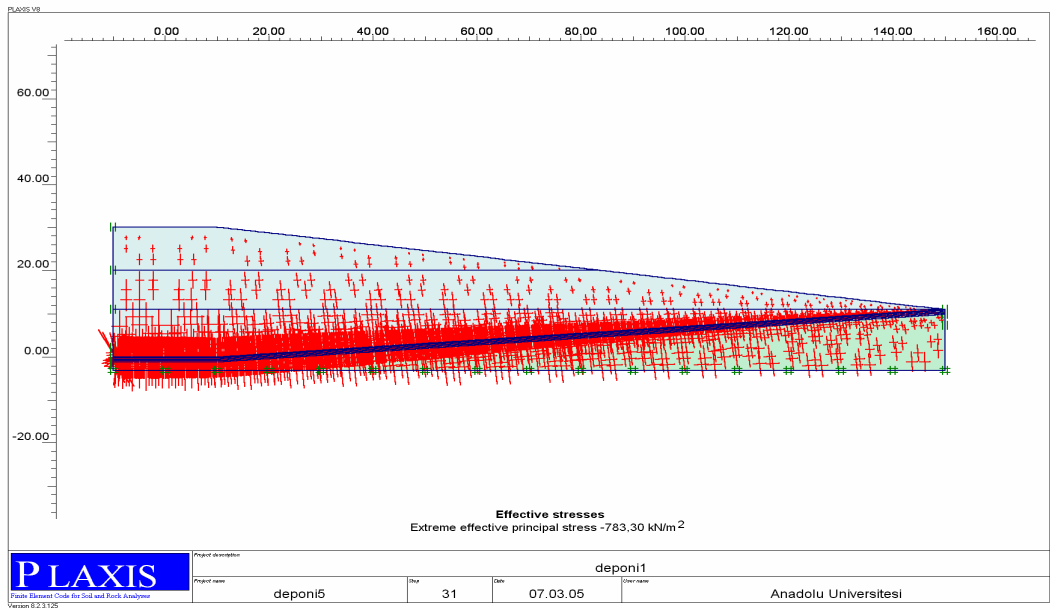
Şekil 8.4. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

8.1.2. 30 m yükseklikli ve geotekstilsiz katı atık dolgusu

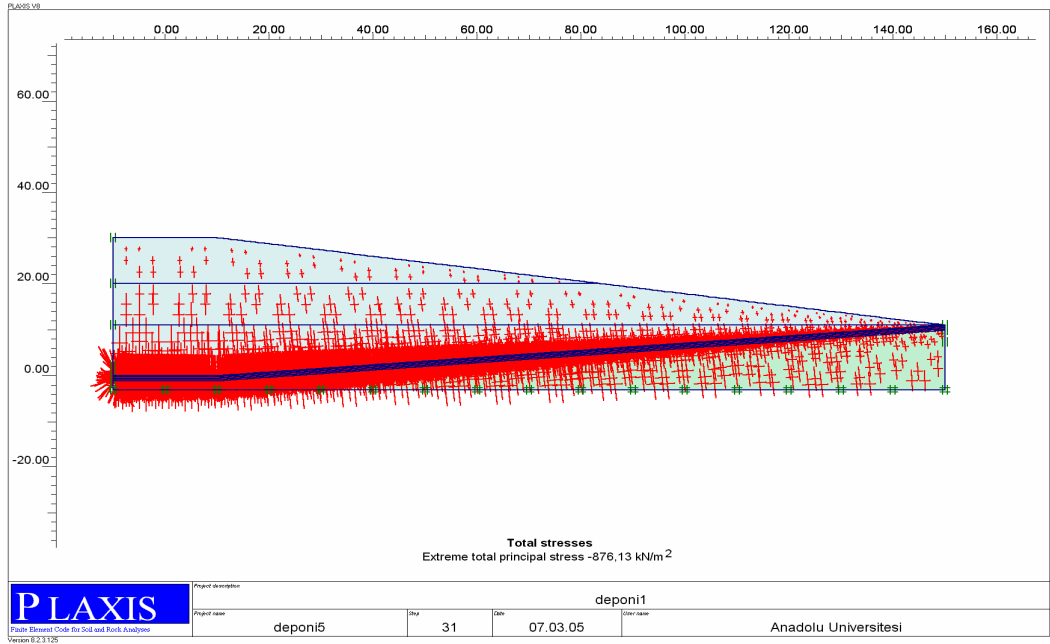
Analizi yapılan 30 m yükseklikli ve geotekstilsiz dolgunun girilen zemin özellikleri, 30 m yükseklikli geotekstilli dolgun özellikleri ile aynıdır. Analizi yapılan bu dolgunun deforme olmuş ağı Şekil 8.5’de verilmiştir. Bu dolguda da toplam 2,67 m’lik oturma meydana gelmiştir. Dolguda oluşan efektif gerilme biçimi Şekil 8.6’de verilmiştir. Efektif gerilmeler geçirimsizlik tabakasının olduğu bölgede yoğunlaşmıştır. Toplam efektif gerilme 783,30 kN/m²’dir. Dolguda oluşan toplam gerilme Şekil 8.7’de verilmiştir, değeri 876,13 kN/m²’dir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı Şekil 8.8’de verilmiştir, değeri 645.74 kN/m²’dir. Boşluk suyu basıncı drenajsız tabaka çevresinde oluşmuştur.



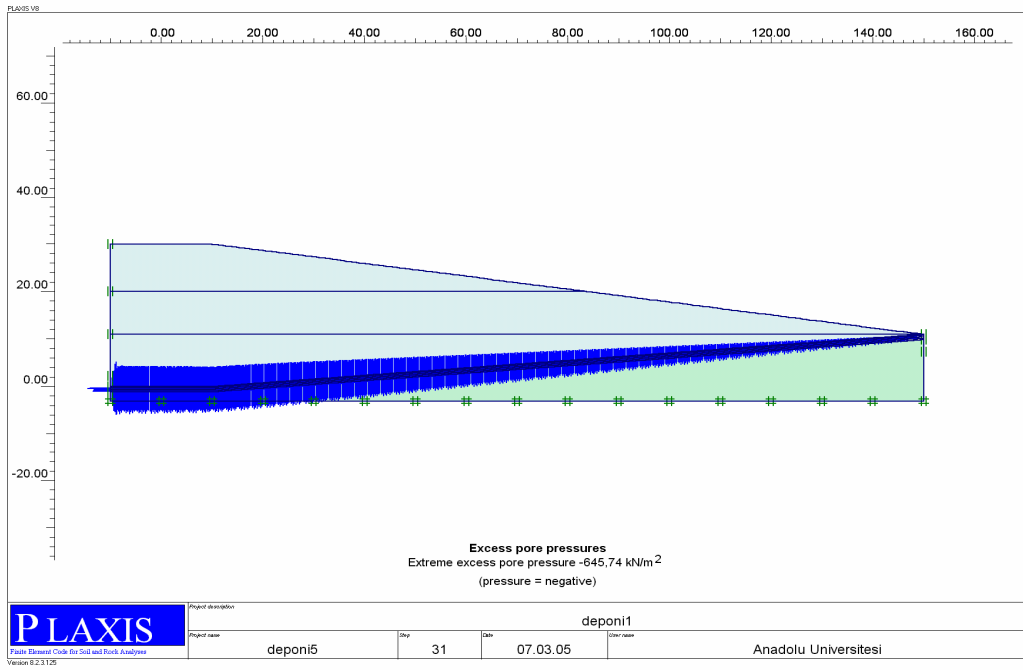
Şekil 8.5. Deforme olmuş ağın durumu



Şekil 8.6. Dolguda oluşan efektif gerilme



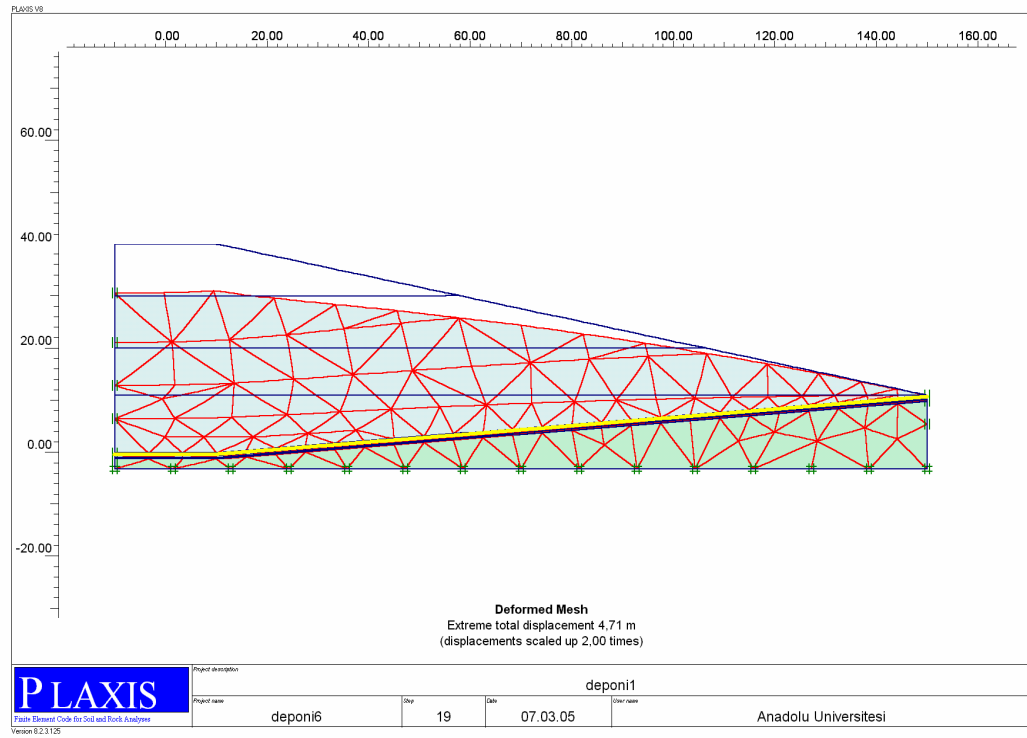
Şekil 8.7. Dolguda oluşan toplam gerilme



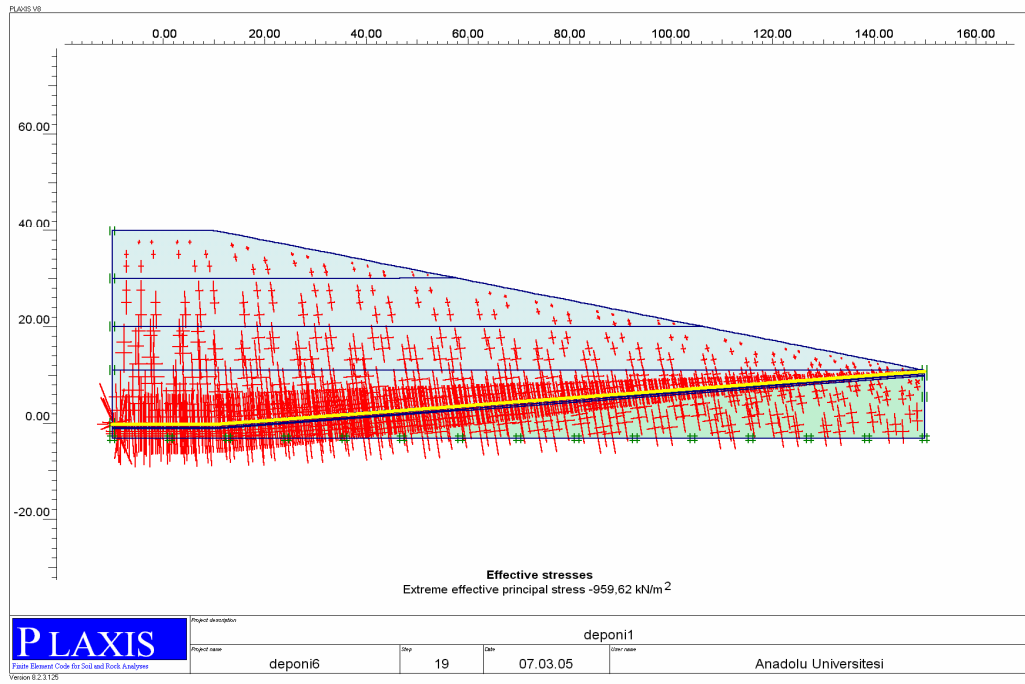
Şekil 8.8. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

8.1.3. 40 m yükseklikli ve geotekstilli katı atık dolgusu

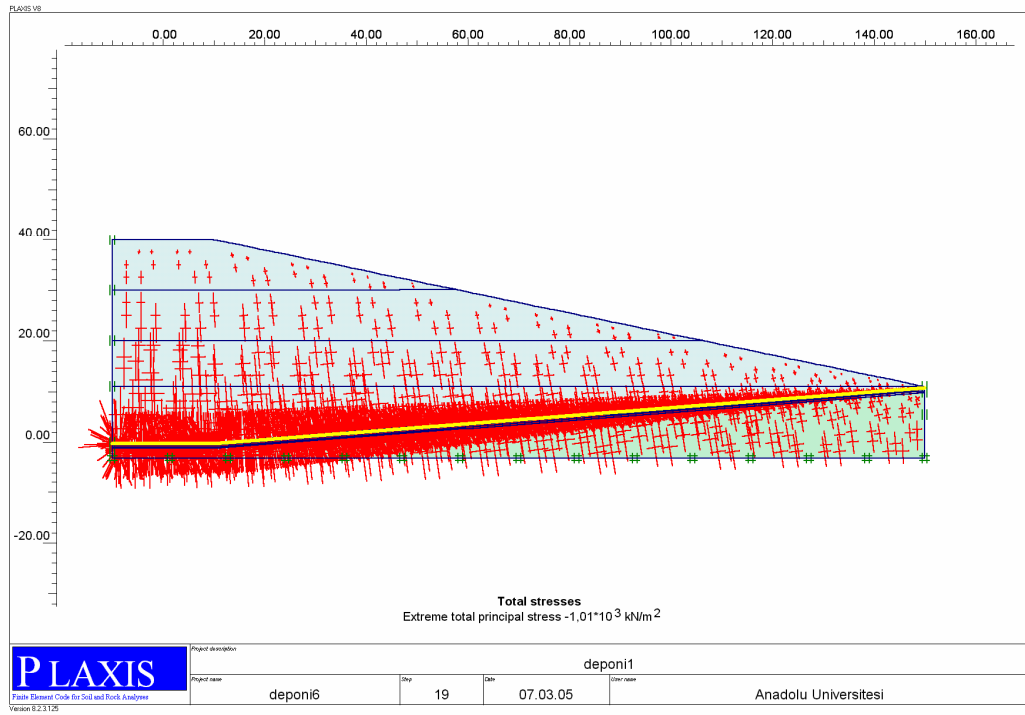
Analizi yapılan 40 m yükseklikli ve geotekstilli dolgunun zemin ve geotekstil özellikleri, 30 m yükseklikli geotekstilli dolgun özellikleri ile aynıdır. Analizi yapılan bu dolgunun deforme olmuş ağı Şekil 8.9’de verilmiştir. Bu dolguda da toplam 4,71 m’lik oturma meydana gelmiştir. Dolguda oluşan efektif gerilme biçimi Şekil 8.10’de verilmiştir. Efektif gerilmeler geçirimsizlik tabakasının olduğu bölgede yoğunlaşmıştır. Toplam efektif gerilme 959,62 kN/m²’dir. Dolguda oluşan toplam gerime Şekil 8.11’de verilmiştir, değeri 1010 kN/m²’dir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı Şekil 8.12’de verilmiştir, değeri 800 kN/m²’dir. Boşluk suyu basıncı drenajsız tabaka çevresinde oluşmuştur.



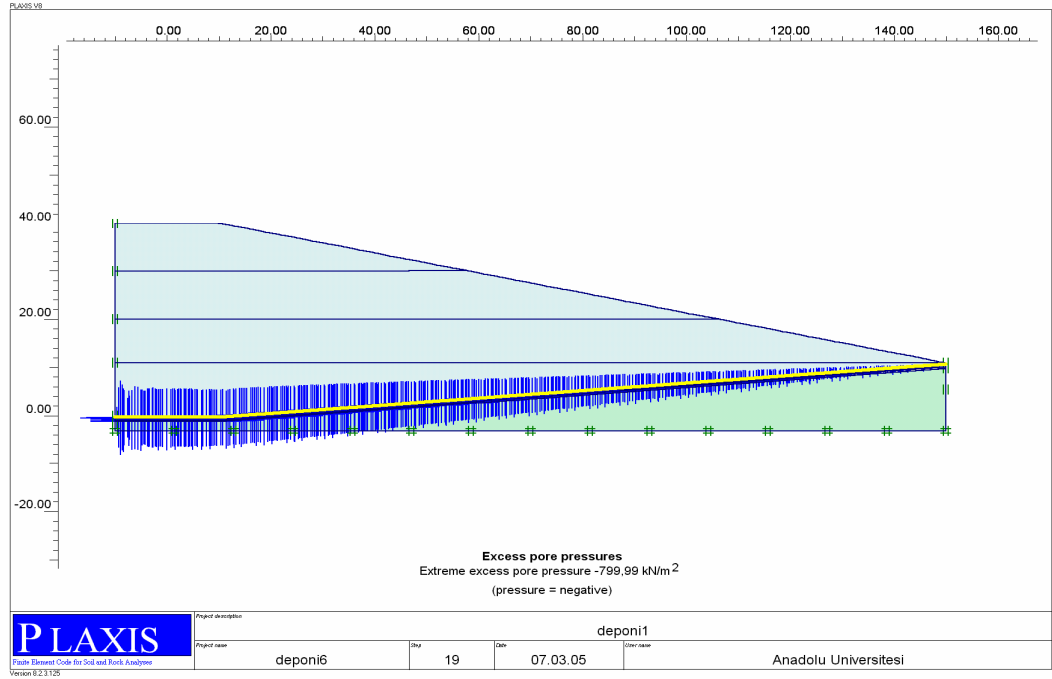
Şekil 8.9. Deforme olmuş ağın durumu



Şekil 8.10. Dolguda oluşan efektif gerilme



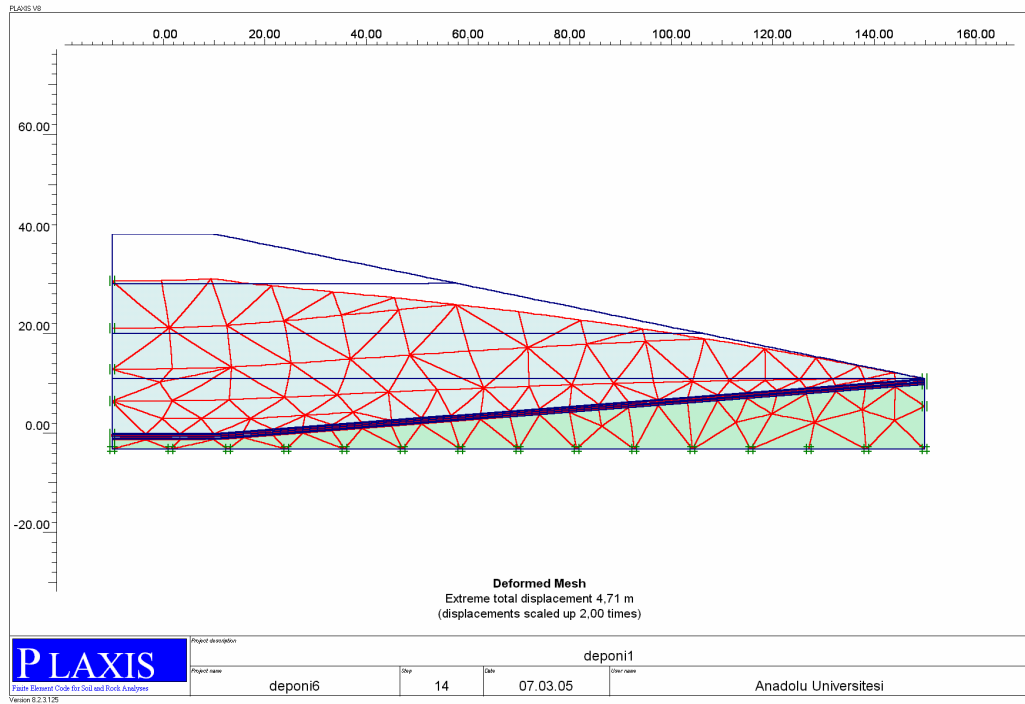
Şekil 8.11. Dolguda oluşan toplam gerilme



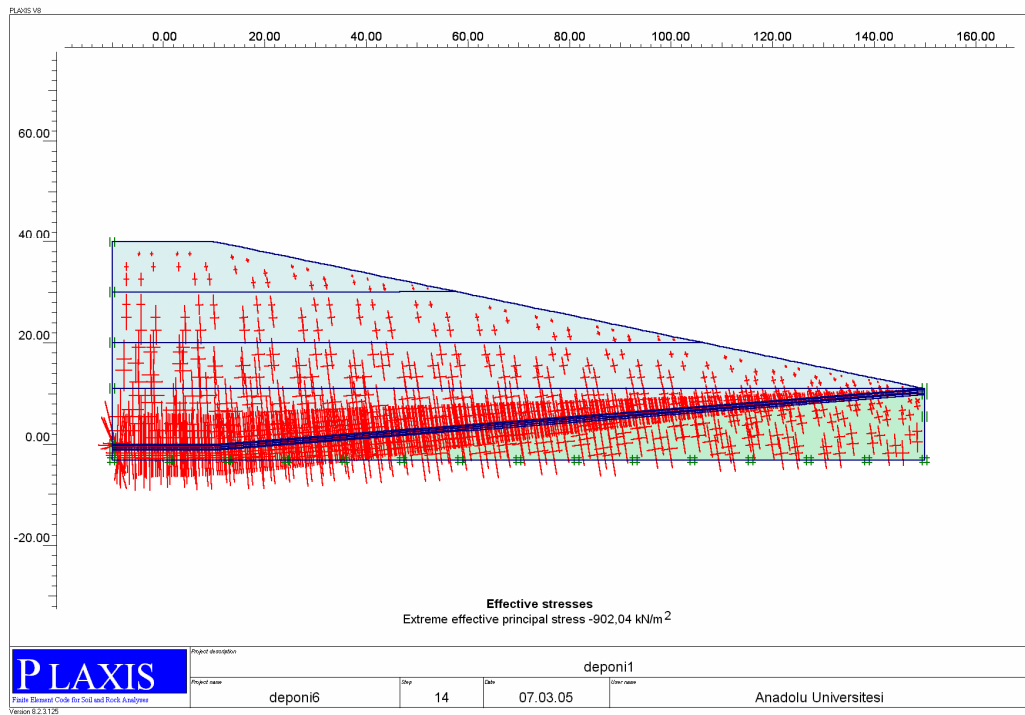
Şekil 8.12. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

8.1.4. 40 m yükseklikli ve geotekstilsiz katı atık dolgusu

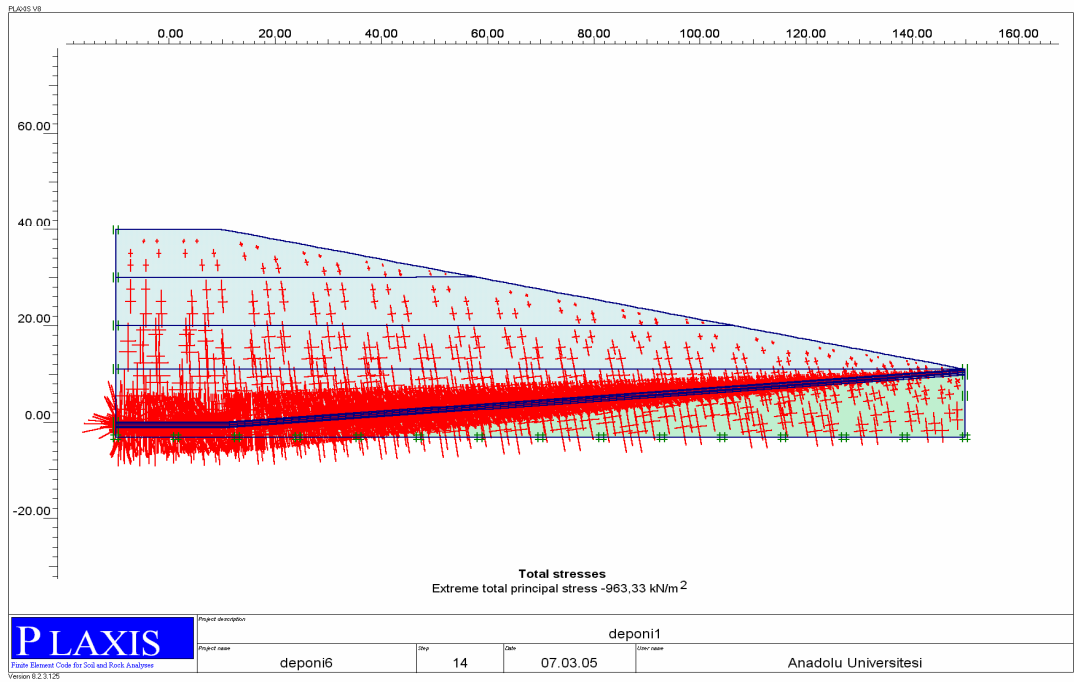
Analizi yapılan 40 m yükseklikli ve geotekstilsiz dolgunun zemin özellikleri, 30 m yükseklikli geotekstilli dolgun özellikleri ile aynıdır. Analizi yapılan bu dolgunun deforme olmuş ağı Şekil 8.13’de verilmiştir. Bu dolguda da toplam 4,71 m’lik oturma meydana gelmiştir. Dolguda oluşan efektif gerilme biçimi Şekil 8.14’de verilmiştir. Efektif gerilmeler geçirimsizlik tabakasının olduğu bölgede yoğunlaşmıştır. Toplam efektif gerilme 902,04 kN/m²’dir. Dolguda oluşan toplam gerilme Şekil 8.15’de verilmiştir, değeri 963,33 kN/m²’dir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı Şekil 8.16’de verilmiştir, değeri 829,74 kN/m²’dir. Boşluk suyu basıncı drenajsız tabaka çevresinde oluşmuştur.



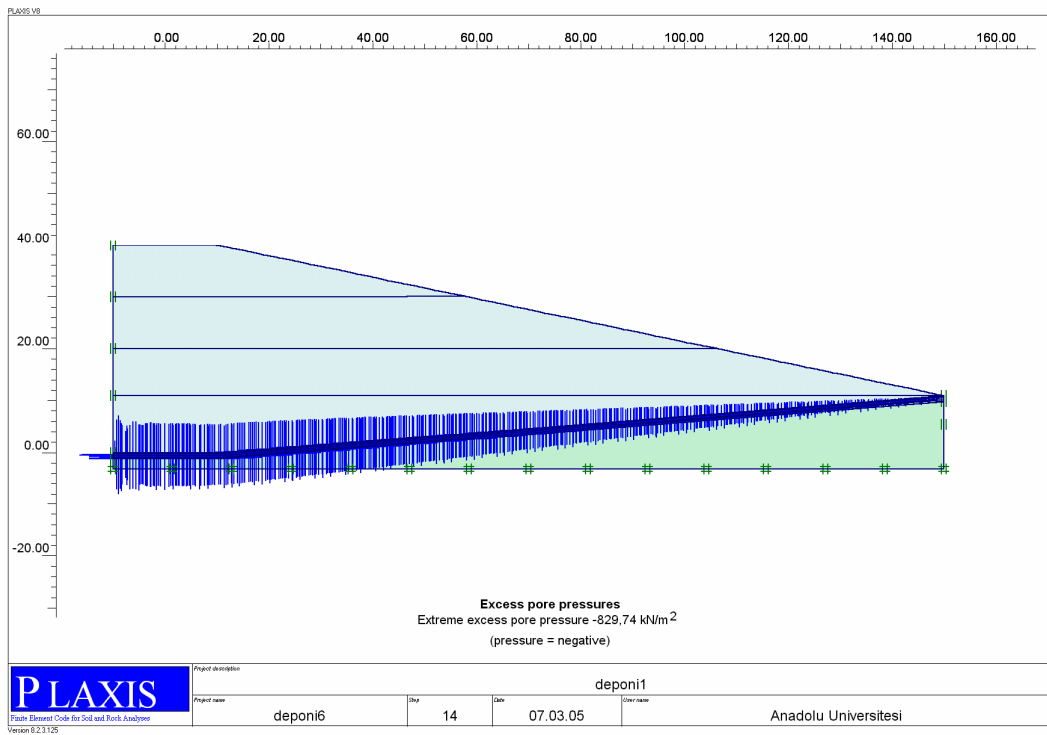
Şekil 8.13. Deforme olmuş ağın durumu



Şekil 8.14. Dolguda oluşan efektif gerilme



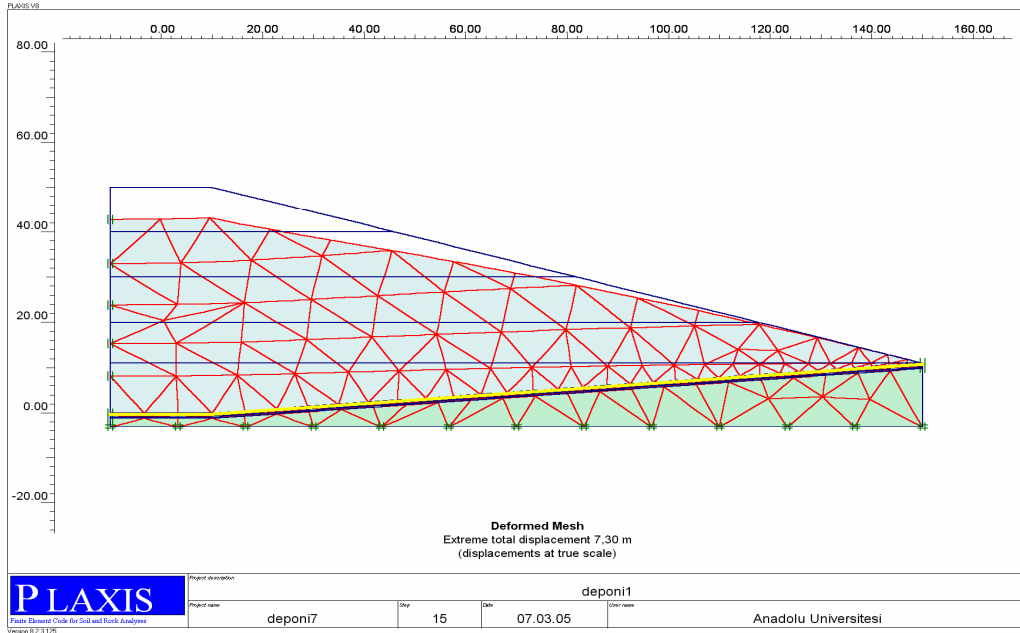
Şekil 8.15. Dolguda oluşan toplam gerilme



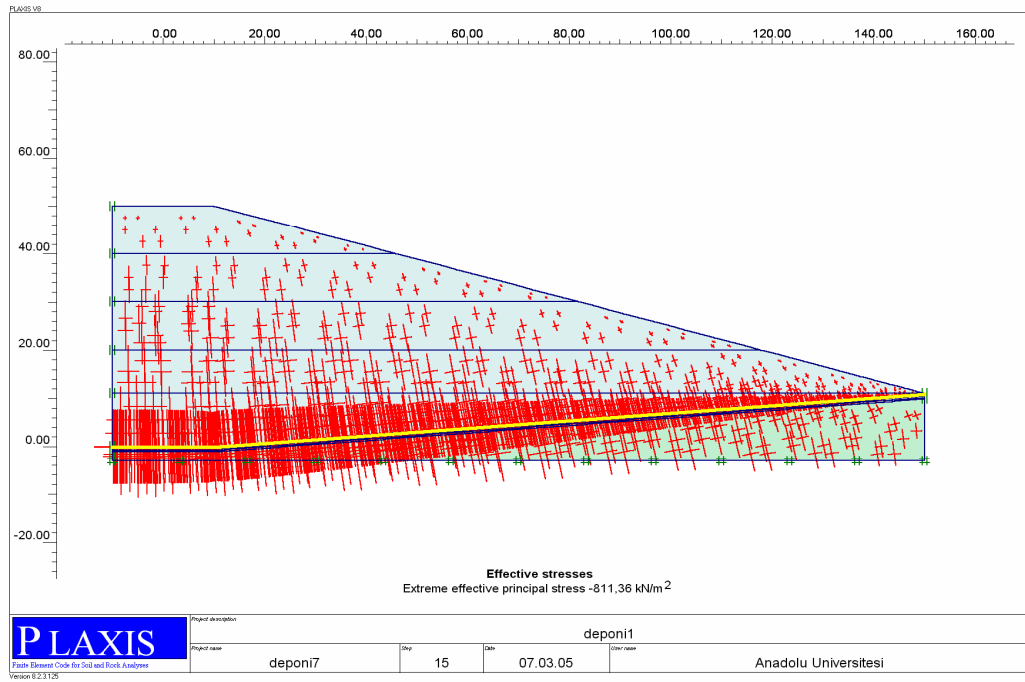
Şekil 8.16. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

8.1.5. 50 m yükseklikli ve geotekstilli katı atık dolgusu

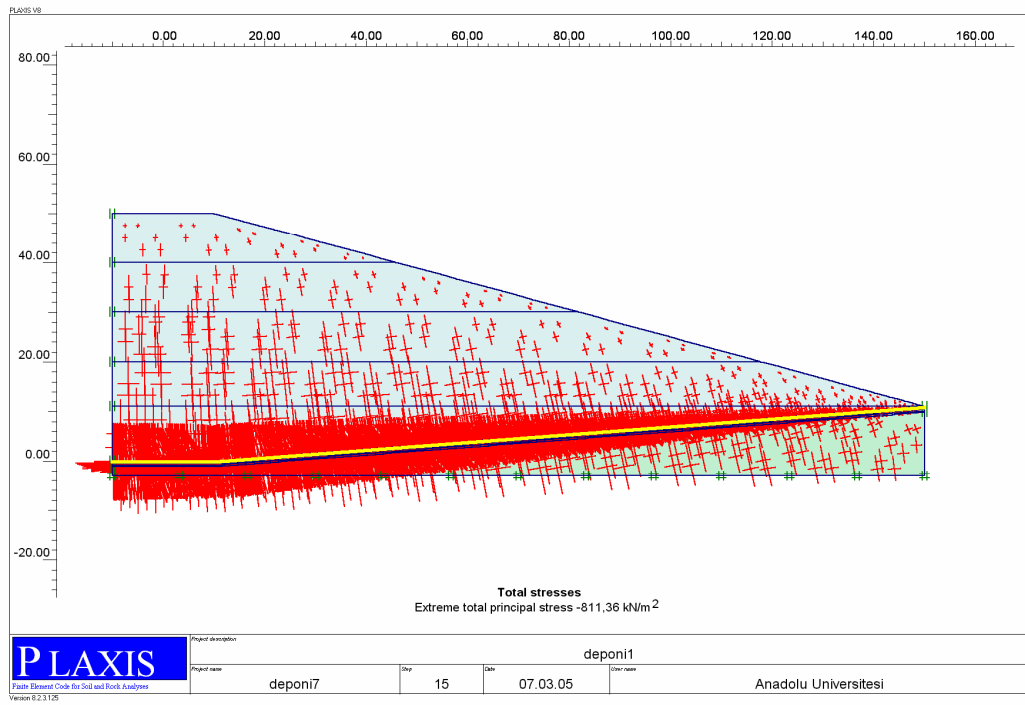
Analizi yapılan 50 m yükseklikli ve geotekstilli dolgunun zemin ve geotekstil özellikleri, 30 m yükseklikli geotekstilli dolgun özellikleri ile aynıdır. Analizi yapılan bu dolgunun deforme olmuş ağı Şekil 8.17’de verilmiştir. Bu dolguda da toplam 7,30 m’lik oturma meydana gelmiştir. Dolguda oluşan efektif gerilme biçimi Şekil 8.18’de verilmiştir. Efektif gerilmeler geçirimsizlik tabakasının olduğu bölgede yoğunlaşmıştır. Toplam efektif gerilme 811,36 kN/m²’dir. Dolguda oluşan toplam gerime Şekil 8.19’de verilmiştir, değeri 811,36 kN/m²’dir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı Şekil 8.20’de verilmiştir, değeri 735,52 kN/m²’dir. Boşluk suyu basıncı drenajsız tabaka çevresinde oluşmuştur.



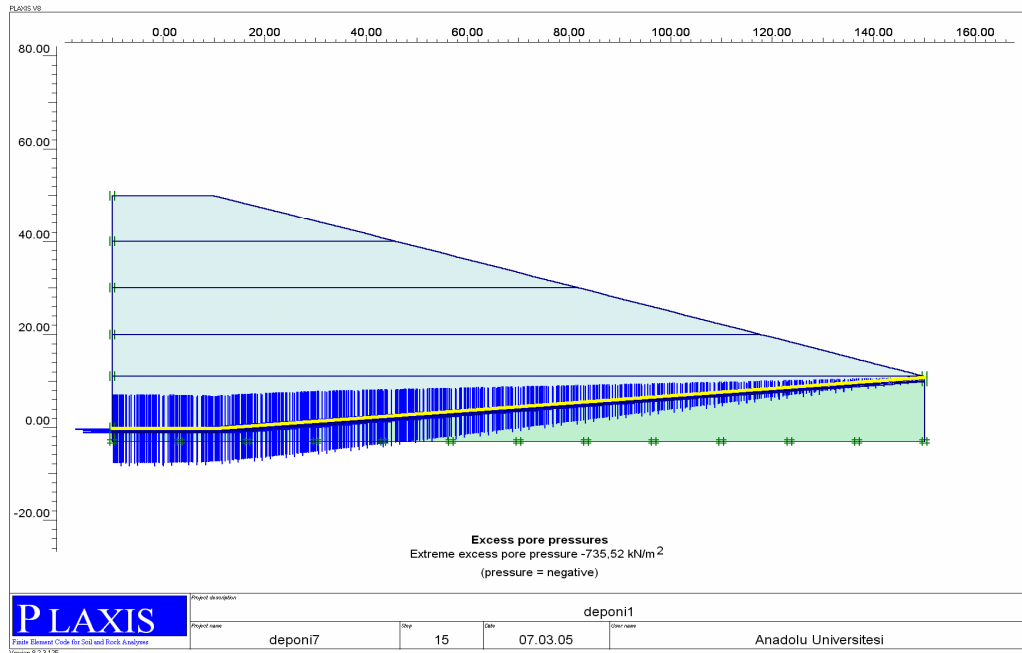
Şekil 8.17. Deforme olmuş ağıın durumu



Şekil 8.18. Dolguda oluşan efektif gerilme



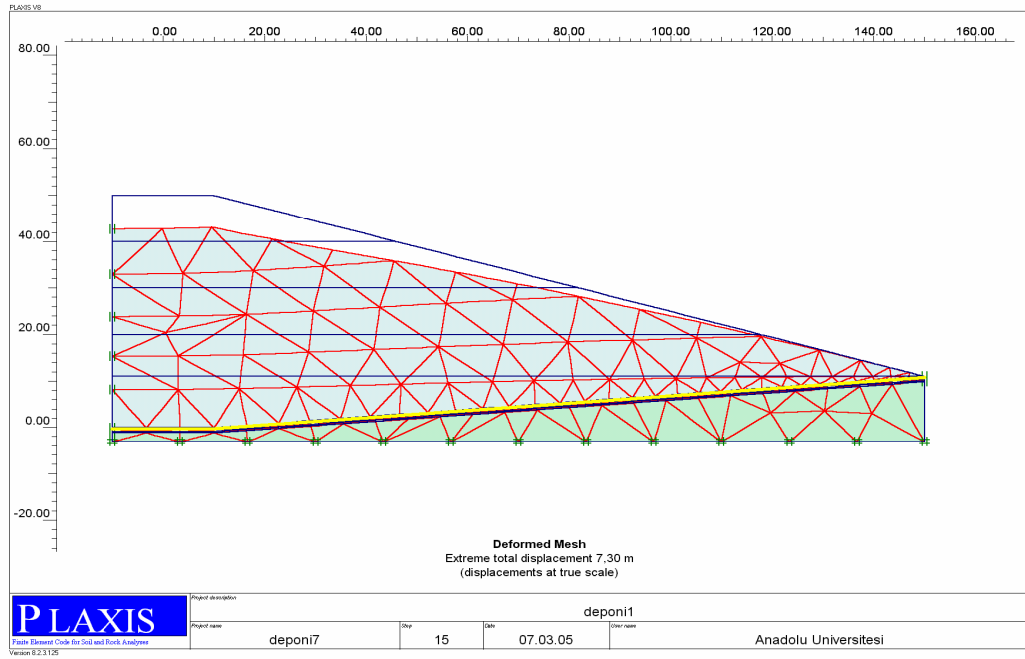
Şekil 8.19. Dolguda oluşan toplam gerilme



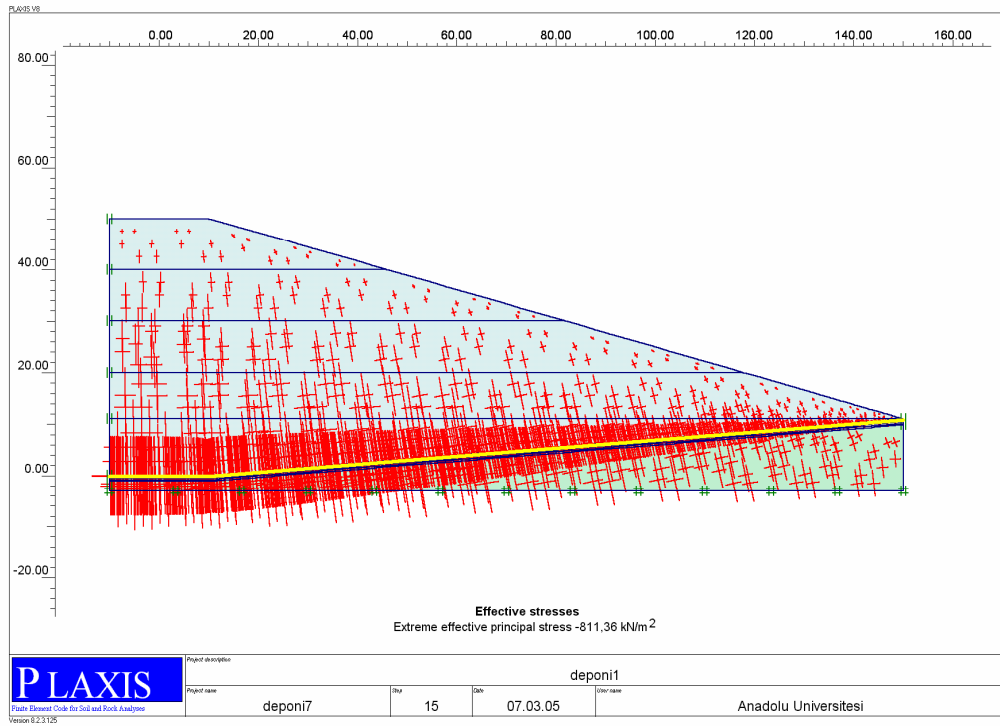
Şekil 8.20. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

8.1.5. 50 m yükseklikli ve geotekstilsiz katı atık dolgusu

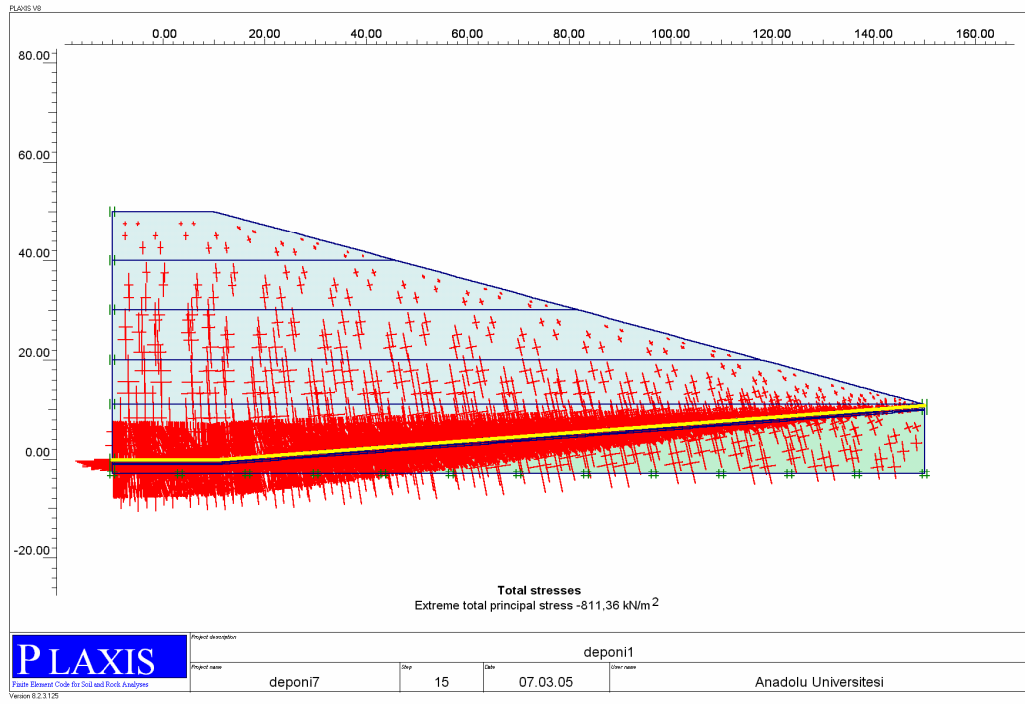
Analizi yapılan 50 m yükseklikli ve geotekstilsiz dolgunun zemin özellikleri, 30 m yükseklikli geotekstilli dolgun özellikleri ile aynıdır. Analizi yapılan bu dolgunun deforme olmuş ağı Şekil 8.21’de verilmiştir. Bu dolguda da toplam 7,30 m’lik oturma meydana gelmiştir. Dolguda oluşan efektif gerilme biçimi Şekil 8.22’de verilmiştir. Efektif gerilmeler geçirimsizlik tabakasının olduğu bölgede yoğunlaşmıştır. Toplam efektif gerilme 811,36 kN/m²’dir. Dolguda oluşan toplam gerilme Şekil 8.23’de verilmiştir, değeri 811,36 kN/m²’dir. Oluşan aşırı boşluk suyu basıncı Şekil 8.24’de verilmiştir, değeri 735,52 kN/m²’dir. Boşluk suyu basıncı drenajsız tabaka çevresinde oluşmuştur.



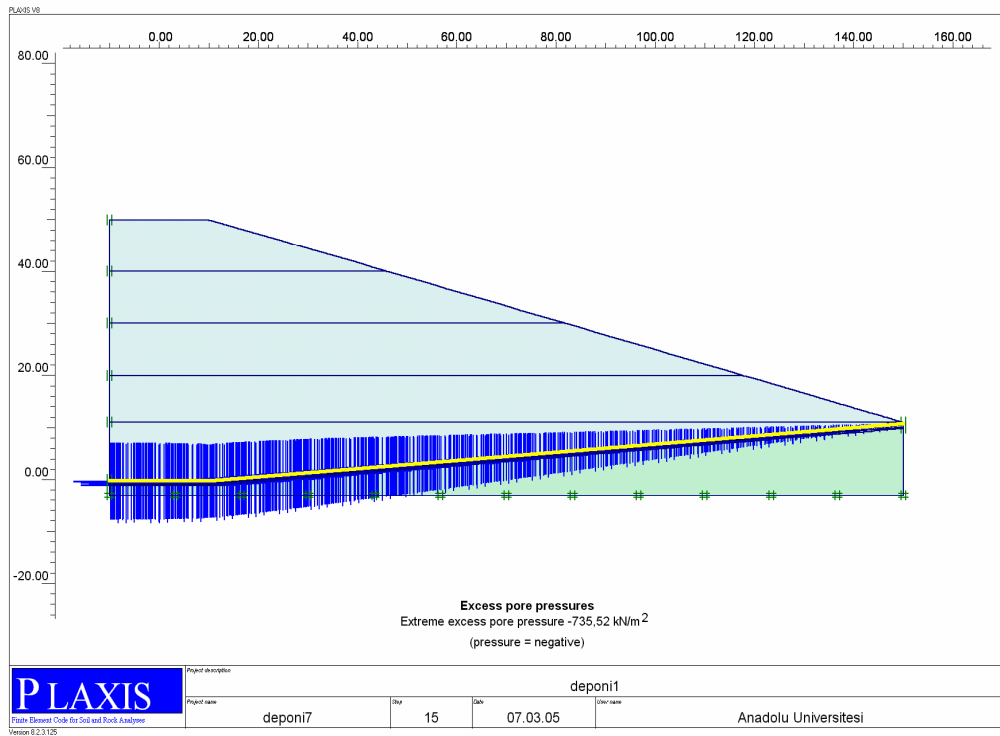
Şekil 8.21. Deforme olmuş ağın durumu



Şekil 8.22. Dolguda oluşan efektif gerilme



Şekil 8.23. Dolguda oluşan toplam gerilme



Şekil 8.24. Dolguda oluşan aşırı boşluk suyu basıncı

8.2. Plaxis Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Güvenlik Sayıları

Plaxis analizi sonuçları ve hesaplanan güvenlik sayıları Çizelge 8.3’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bütün dolguların güvenlik sayısı 1’den büyük çıkmıştır. Bu durumda analizi yapılan dolguların tümü stabildir. Ekonomik olması bakımından dolgu yüksekliği 50 m alınabilir.

Çizelge 8.3. Plaxis analizi sonuçları ve hesaplanan güvenlik sayıları

Dolgu yüksekliği	Dolguda toplam deplasman (m)	Toplam efektif gerilmeler (-kN/m ²)	Toplam gerilmeler (-kN/m ²)	Aşırı boşluk suyu basınçları (-kN/m ²)	Güvenlik sayısı (>1)
30 m	2,67	783,30	876,13	645,74	2,74
30 m (geotekstilli)	2,67	782,05	874,28	645,94	3,20
40 m	4,71	902,04	963,33	829,74	2,70
40 m (geotekstilli)	4,71	959,62	1010	800	2,87
50 m	7,30	811,36	811,36	735,52	2,32
50 m (geotekstilli)	7,30	811,36	811,36	735,52	2,40

9. MİKRO-YAPISAL ÖZELLİKLER

9.1. Scanning (Tarama) Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), zeminin mikroyapısının belirlenmesine yarayan bir alettir. Zemin mikroyapısı, zemin, atık ve diğer ilave malzemelerin fiziko-kimyasal yapısının fonksiyonudur. Bir mikro yapının gözlenmesi ile zeminde meydana gelen yumaklanma (aglomerasyon) gibi mekanizmalar belirlenebilir.

Numuneler etüvde 105°C'de 1 gün kurutulduktan sonra numune yüzeylerinin yüzey şarjlanmasını engellemek ve yüzeyi daha iletken bir duruma getirmek için vakum ortamında Au-Pd alaşımı ile kaplanmaktadır. Hazırlanan numunelerin mikroyapı analizleri Camscan S4 series SEM ve buna bağlı Oxford Instruments firmasına ait EDX cihazı ile yapılmaktadır. Mikroskoba yerleştirilen numunelerin görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Numunenin durumuna bağlı olarak 50000 X'e kadar zum yapılabilir. SEM fotoğrafları Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında çekilmiştir.

9.2. EDX Analizi

Numunelerde bulunan elementlerin ağırlık, atomik ve bileşim yüzdeleri ile formüllerini belirlemek için SEM aleti ile EDX analizleri yapılmaktadır. EDX analizleri sonuçları tablo ve şekiller ile verilmiştir.

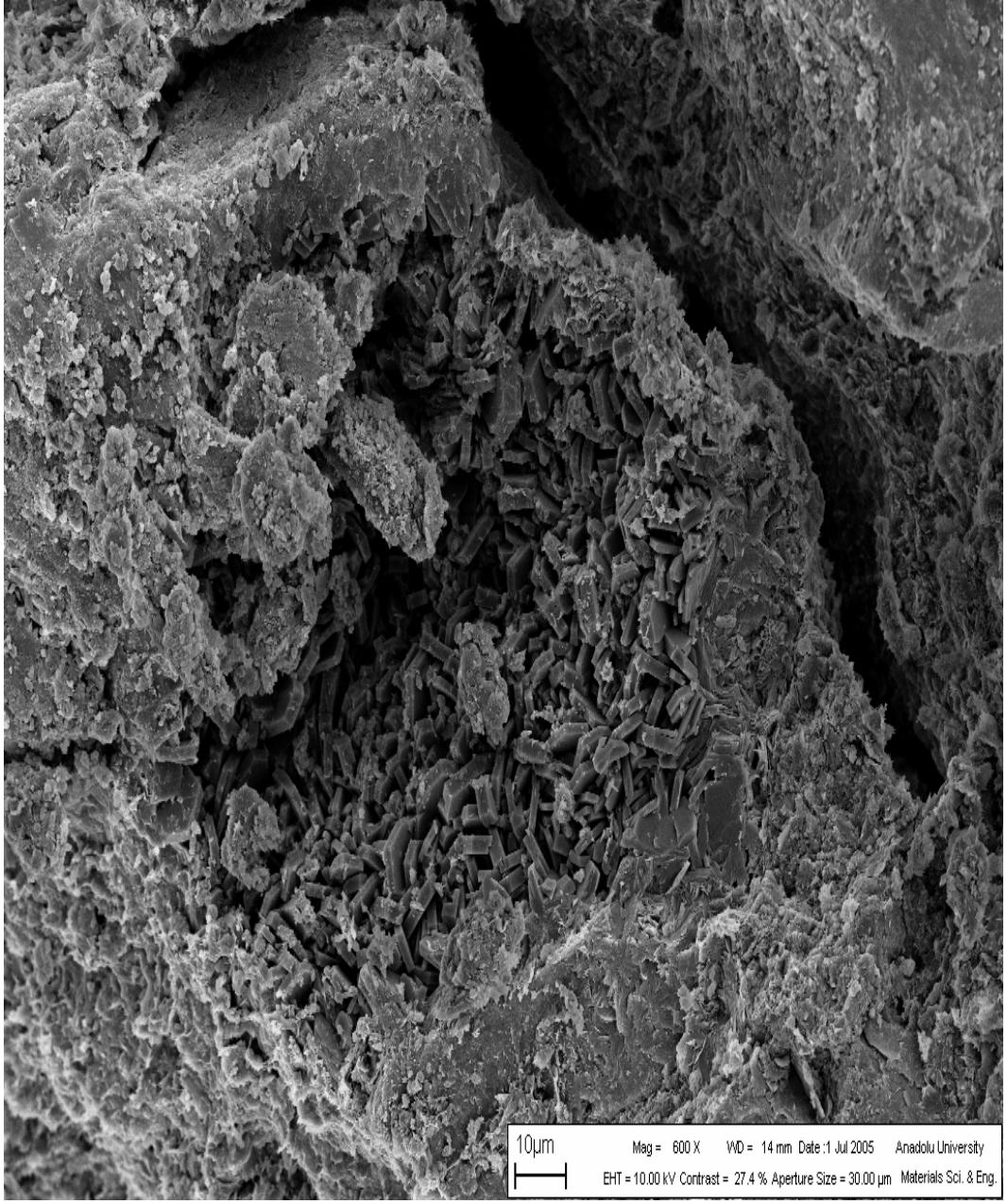
9.3. Scanning (Tarama) Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları

Minyatür deponi tankında bulunana sıvılar 16 haftalık gözlem sonrasında boşaltılmıştır. Bu süre sonunda deponi tabanına serilen geçirimsizlik tabakalarından örselenmemiş numuneler alınarak oda sıcaklığında kurutulmuştur. Daha sonra numuneler etüvde 105 °C'de kurutulmuştur. SEM fotoğrafı çekimi esnasında numune yüzeylerinin yüzey şarjlanmasını engellemek ve yüzeyi daha

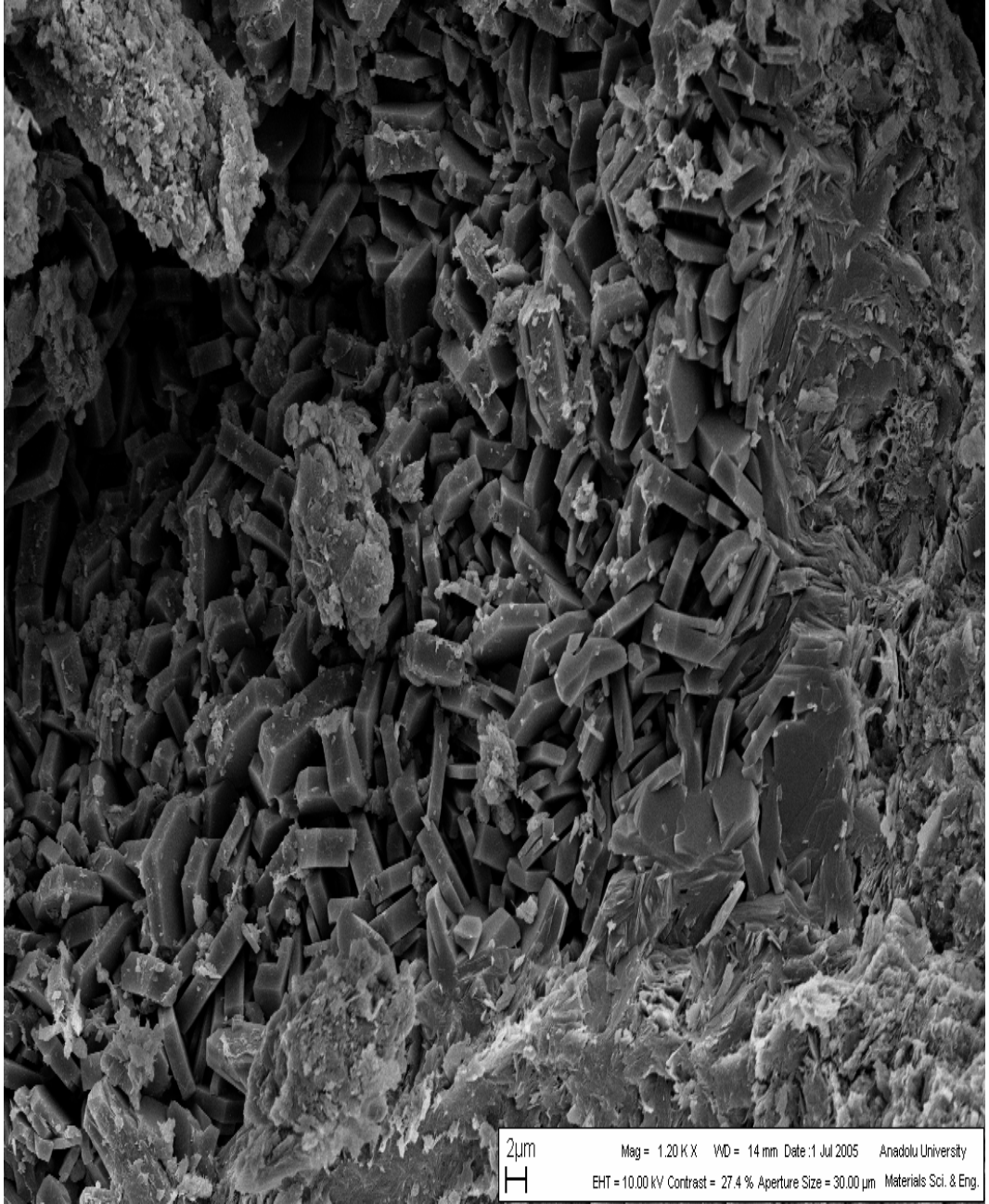
iletken bir duruma getirip ışık yansımalarını tam olarak sağlamak için numuneler vakum ortamında Au-Pd alaşımı ile kaplanmıştır. Numuneler nem tutmaması için vakum ortama etüvden çıkartıldıktan sonra sıcak olarak yerleştirilmiştir. Altın alaşımı ile kaplanan numuneler sırası ile mikroskoba yerleştirilmiştir. SEM fotoğrafları bilgisayar ortamında takip edilerek çekilmiştir. SEM fotoğrafları numunelerin kuruma çatlakları olmayan düzgün yapıya sahip olan bölümlerine zoom yapılarak çekilmiştir. SEM fotoğrafları sonuçları su bulunan bölümün Şekil 9.1-9.7, Cu bulunan bölümün Şekil 9.8-9.11 ve Cr bulunan bölümün Şekil 9.12-9.17'de verilmiştir. SEM fotoğraflarından görüldüğü üzere, su bulunan bölmelerdeki numunenin mikro-yapısal özellikleri kütleli, bakır (Cu) bulunan numune aglomera ve krom (Cr) bulunan numunelerin de dispers olduğu gözlenmektedir. Bunun neticesinde en sıkı yapı bakır karışımı numunede gözlenmiştir ve serbest basınç değeri diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Krom numuneyi parçaladığından serbest basınç değeri en düşük bulunmuştur ve dispers (ayrık) bir yapıya sahiptir.

9.4. EDX Analizi Sonuçları

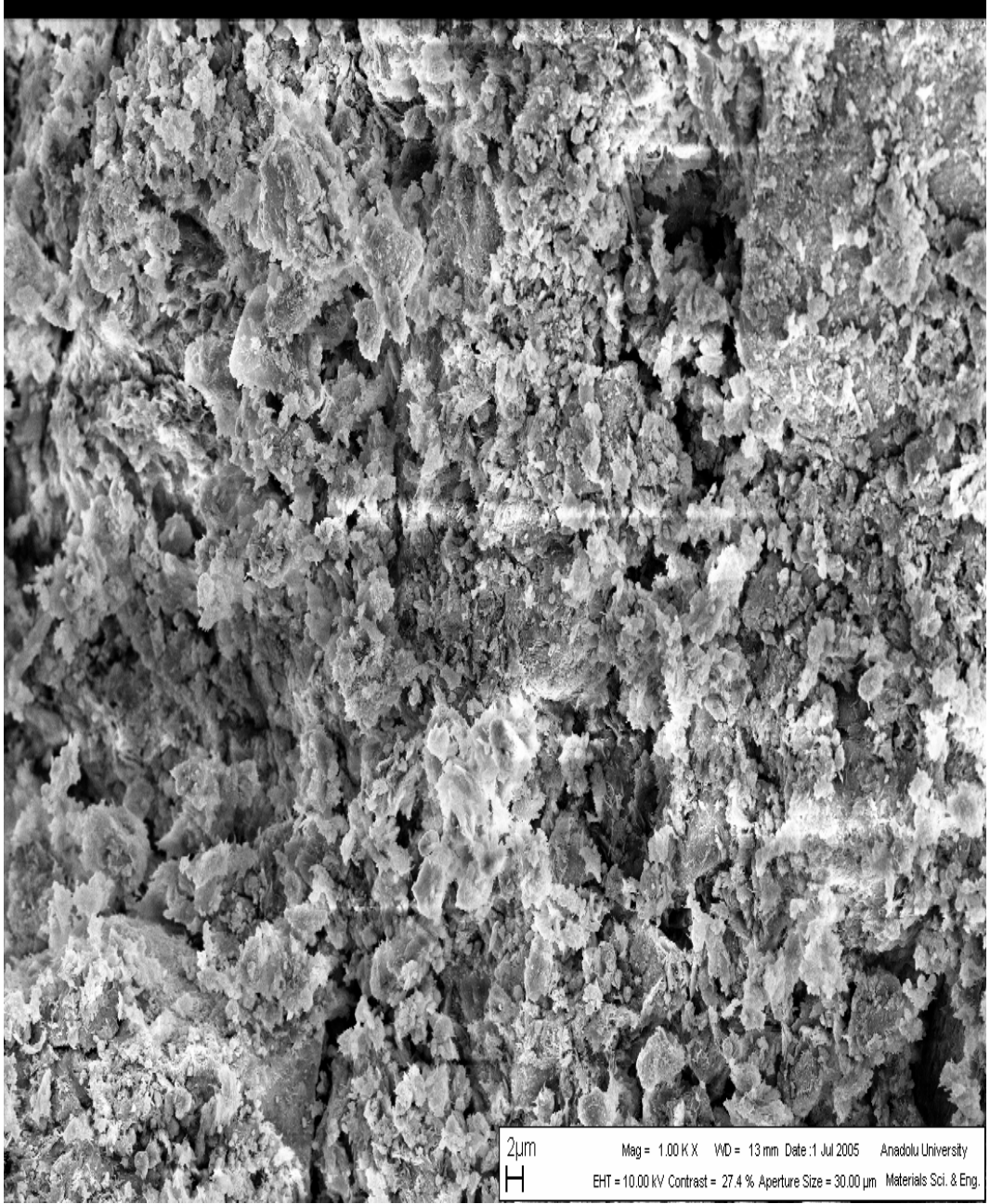
Numunelerde bulunan elementlerin ağırlık, atomik ve bileşim yüzdeleri ile formülleri SEM aleti yardımıyla EDX analizi yaptırılarak belirlenmiştir. EDX analizi sonuçları su bulunan bölümün Çizelge 9.1 ve Şekil 9.18, Cu bulunan bölümün Çizelge 9.2 ve Şekil 9.19 ve Cr bulunan bölümün Çizelge 9.3 ve Şekil 9.20'de verilmiştir. EDX analizi sonuçlarının karşılaştırılması için tüm sonuçlar Çizelge 9.4'te verilmiştir. Ca, Si, Al ve Mg elementlerinin en fazla olduğu tabakanın dayanımının diğerlerine göre yüksek çıkması beklenmektedir. Çünkü bu elementler güçlü bağ oluşturarak malzemenin dayanımını artırmaktadırlar. EDX analizi sonuçlarından da görüldüğü üzere Cu çözeltisi bulunan tabakanın Ca, Si, Al ve Mg yüzdeleri diğerlerine göre daha yüksektir, bunun neticesinde bu tabakanın dayanımı diğerlerine göre daha yüksektir. En düşük dayanım ise Cr bulunan tabakada beklenmektedir, nitekim deney sonuçları da bunu doğrulamaktadır.



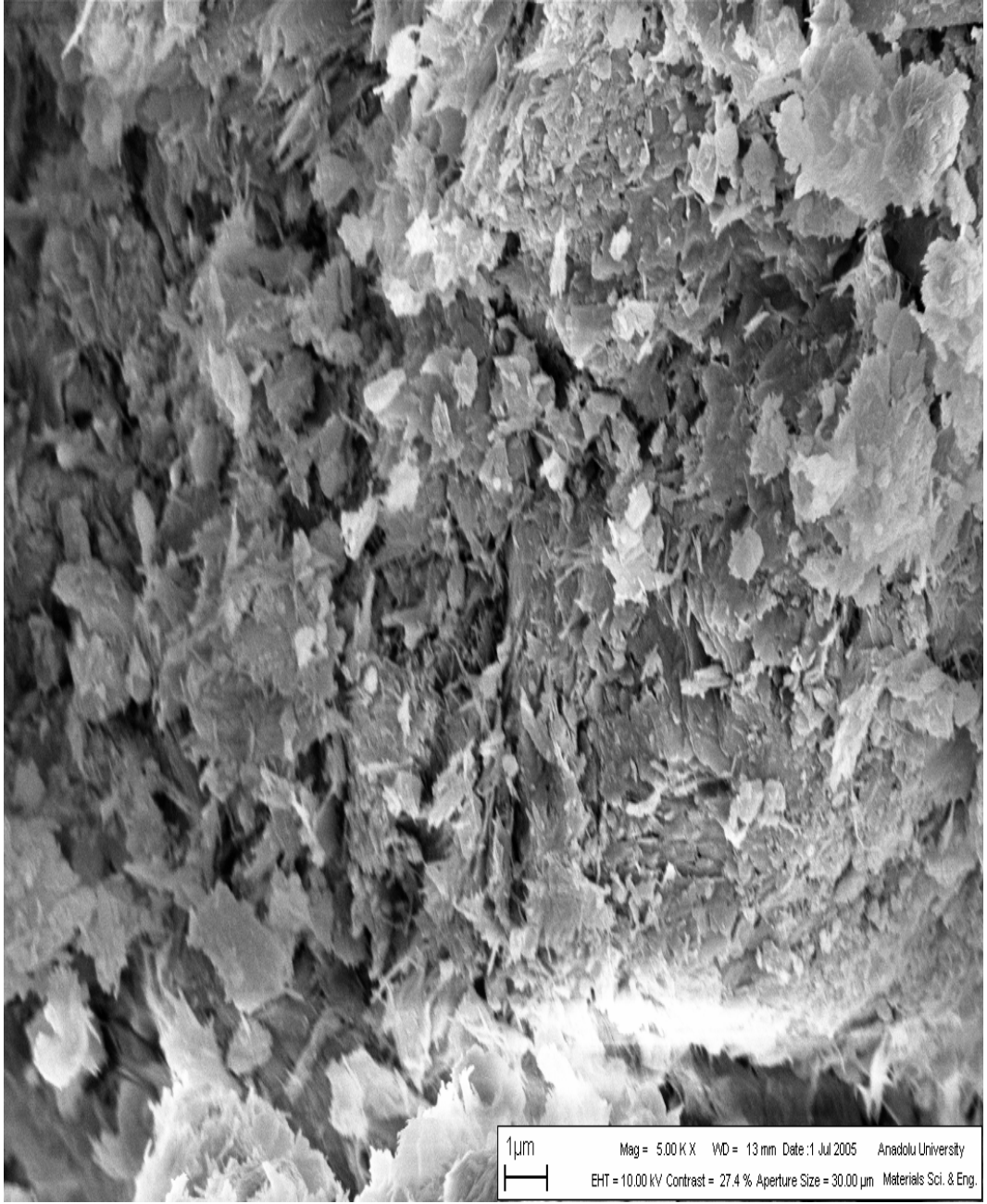
Şekil 9.1. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (600 X)



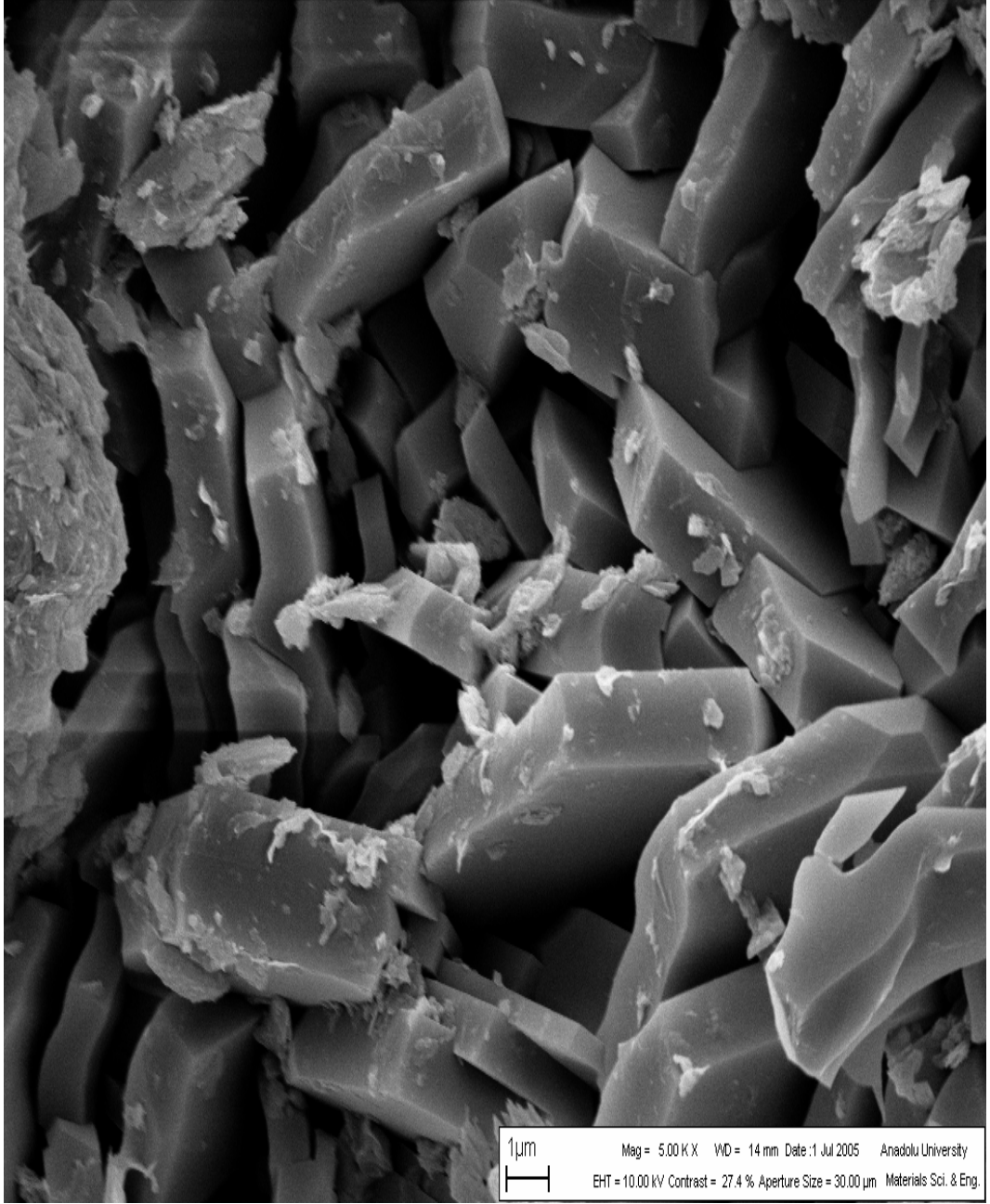
Şekil 9.2. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (1000X)



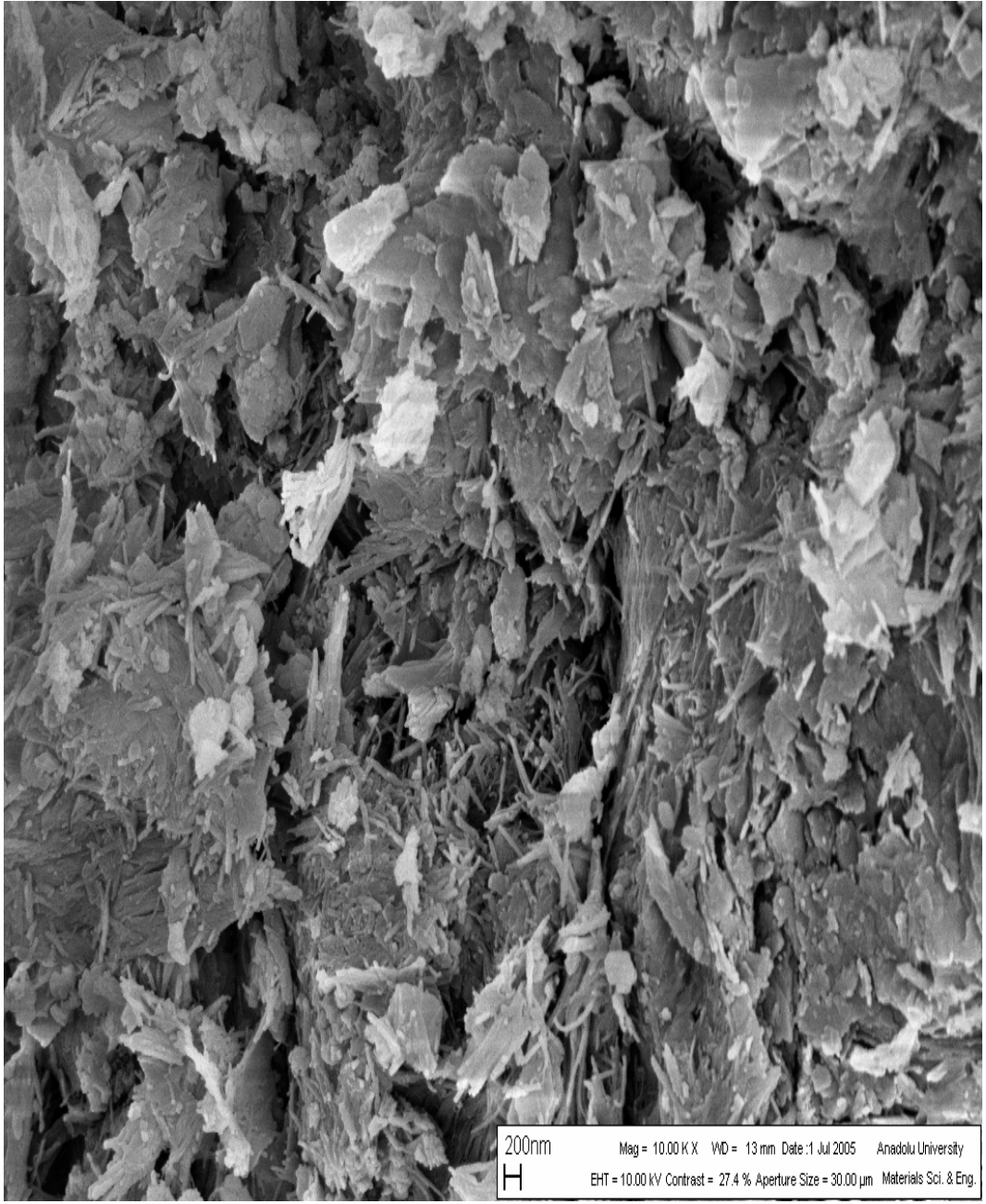
Şekil 9.3. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (1000X)



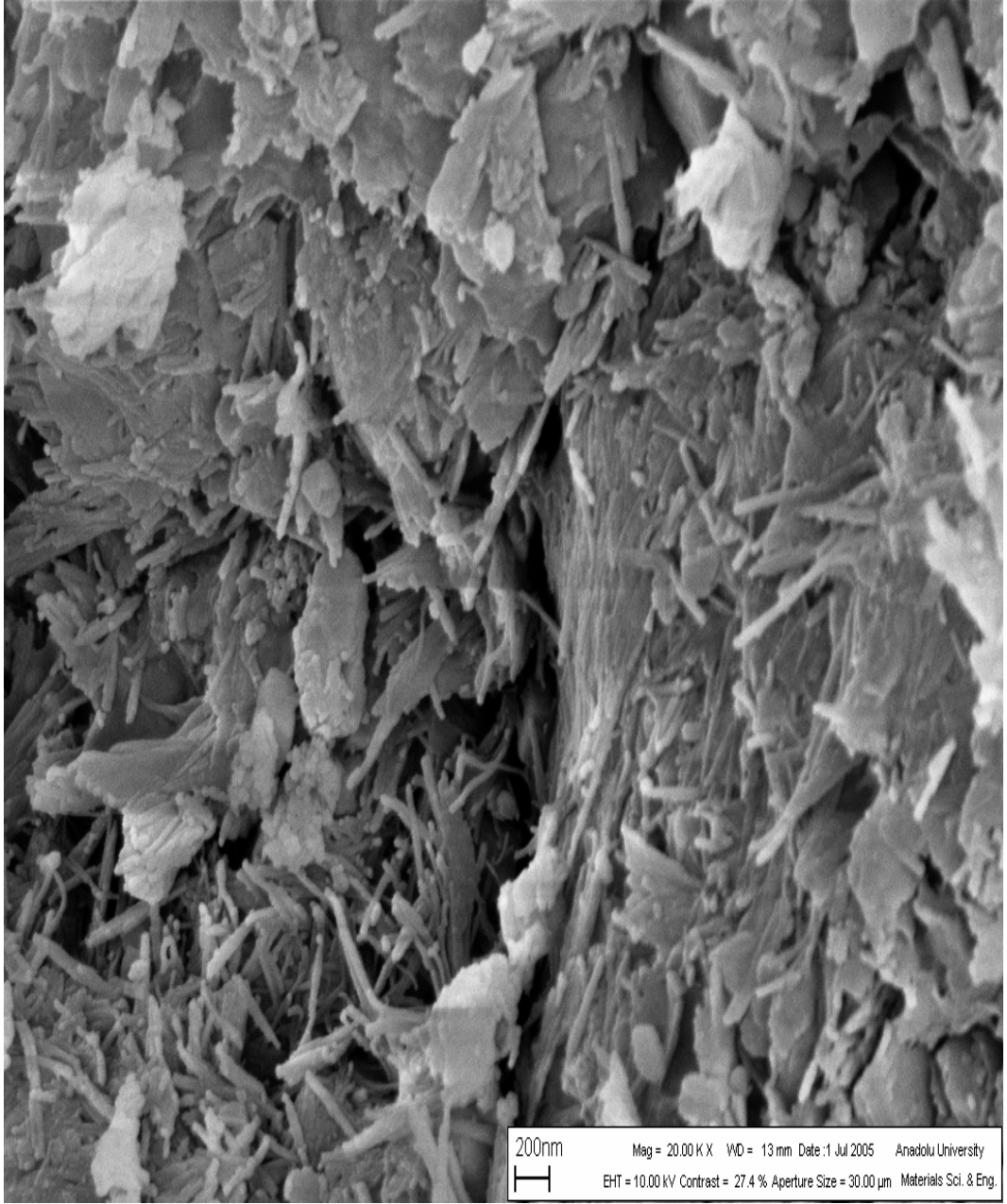
Şekil 9.4. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (5000X)



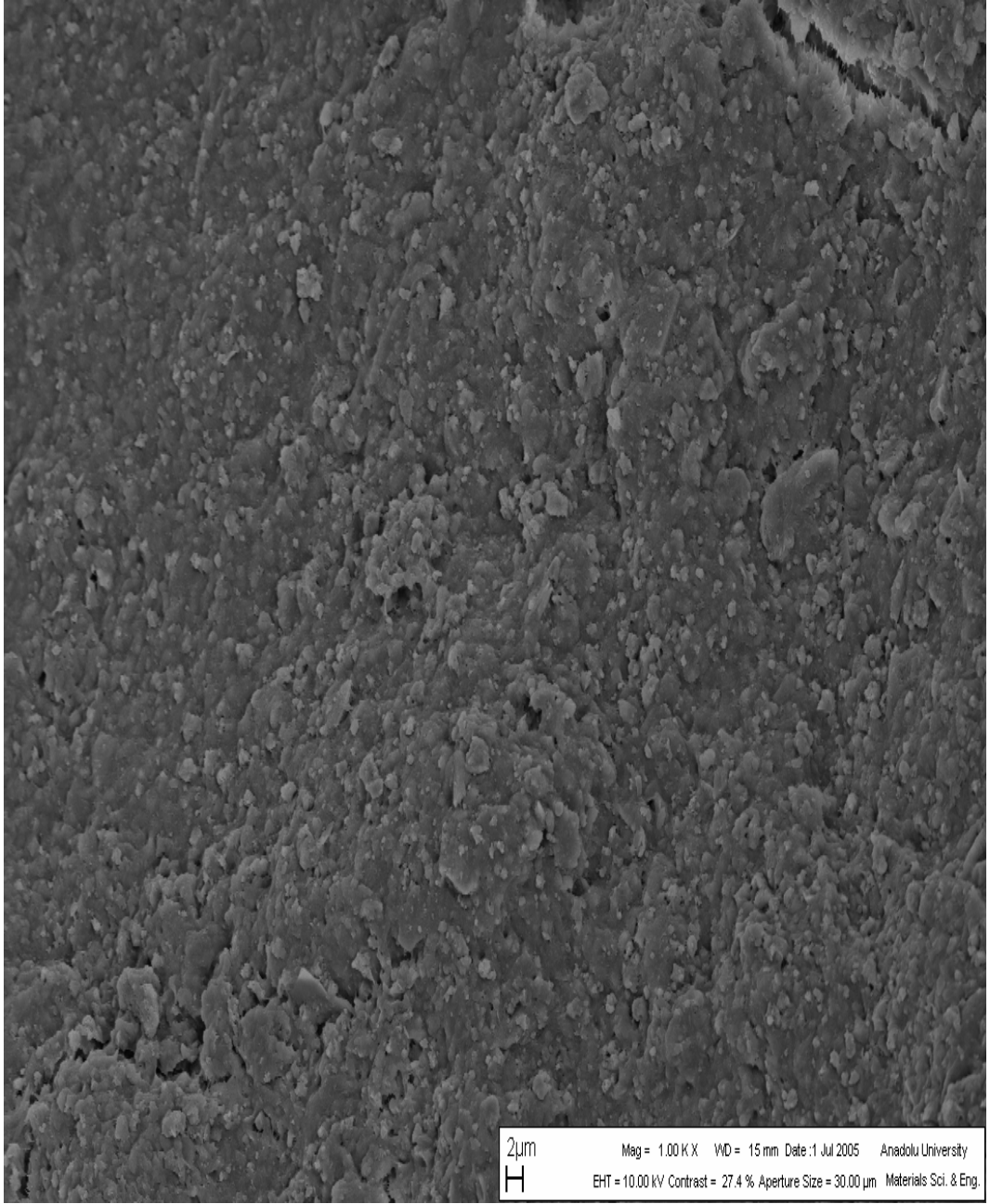
Şekil 9.5. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (5000X)



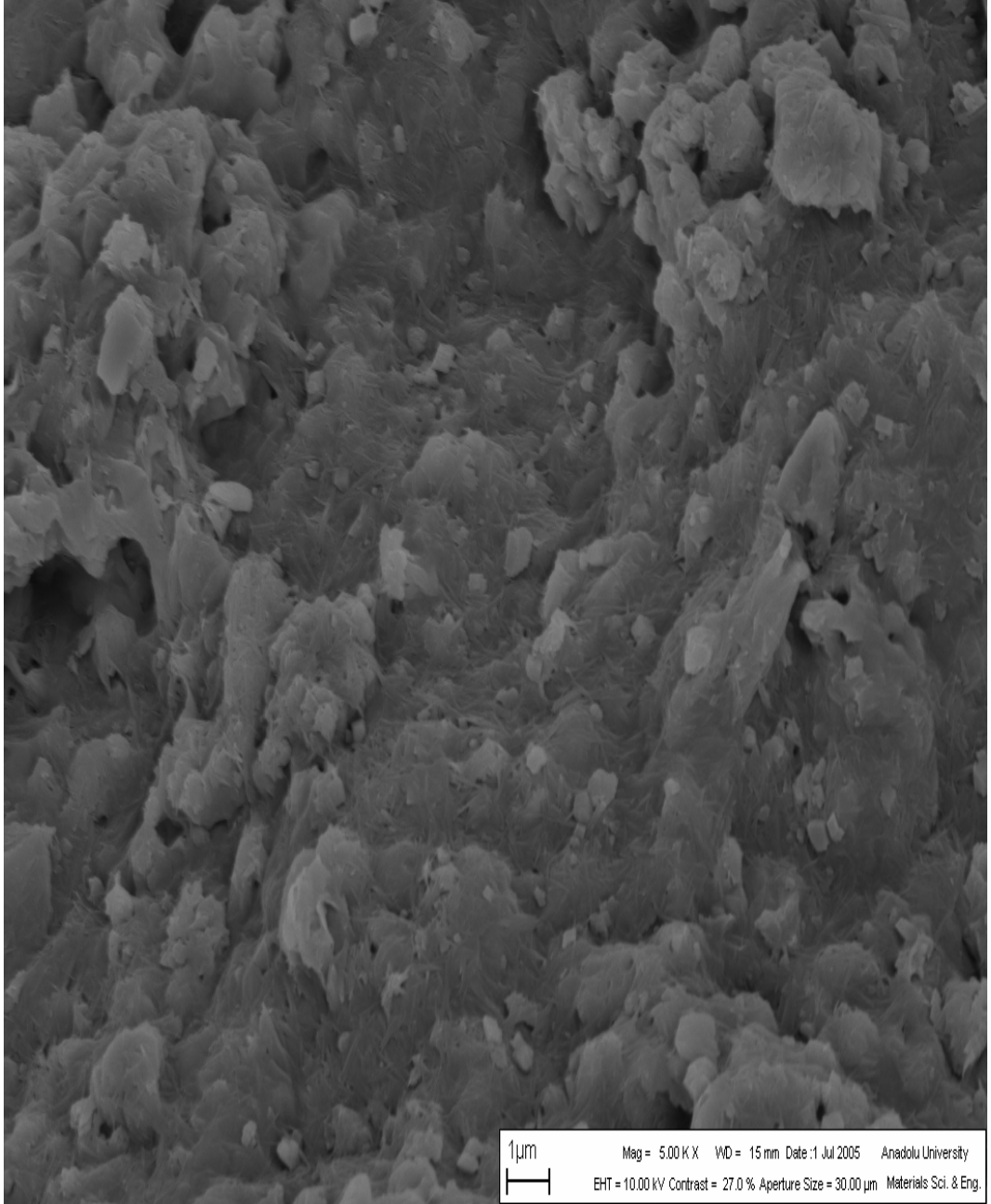
Şekil 9.6. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı (10000X)



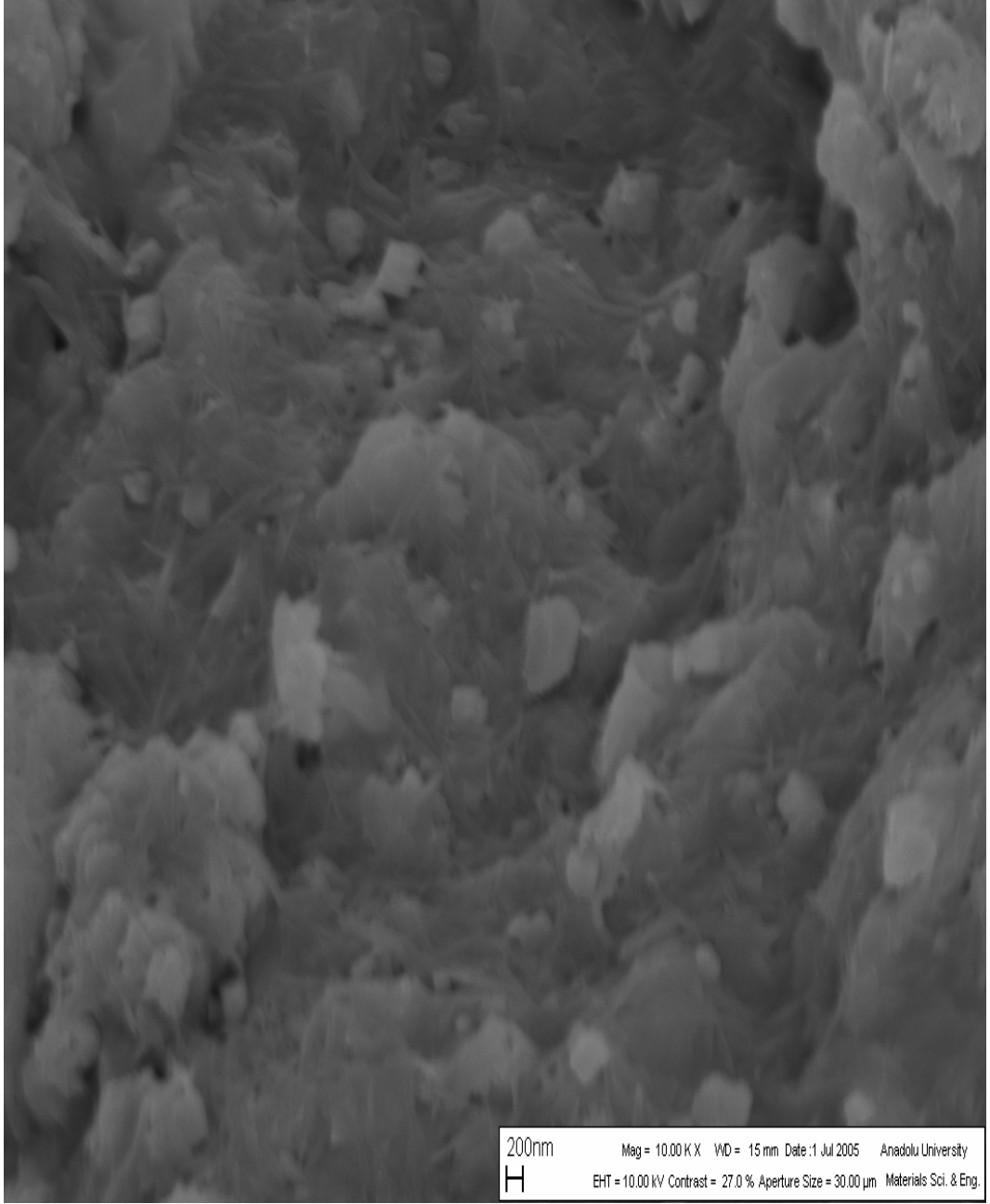
Şekil 9.7. Esas numuneye ait SEM fotoğrafı fotoğrafı (20000X)



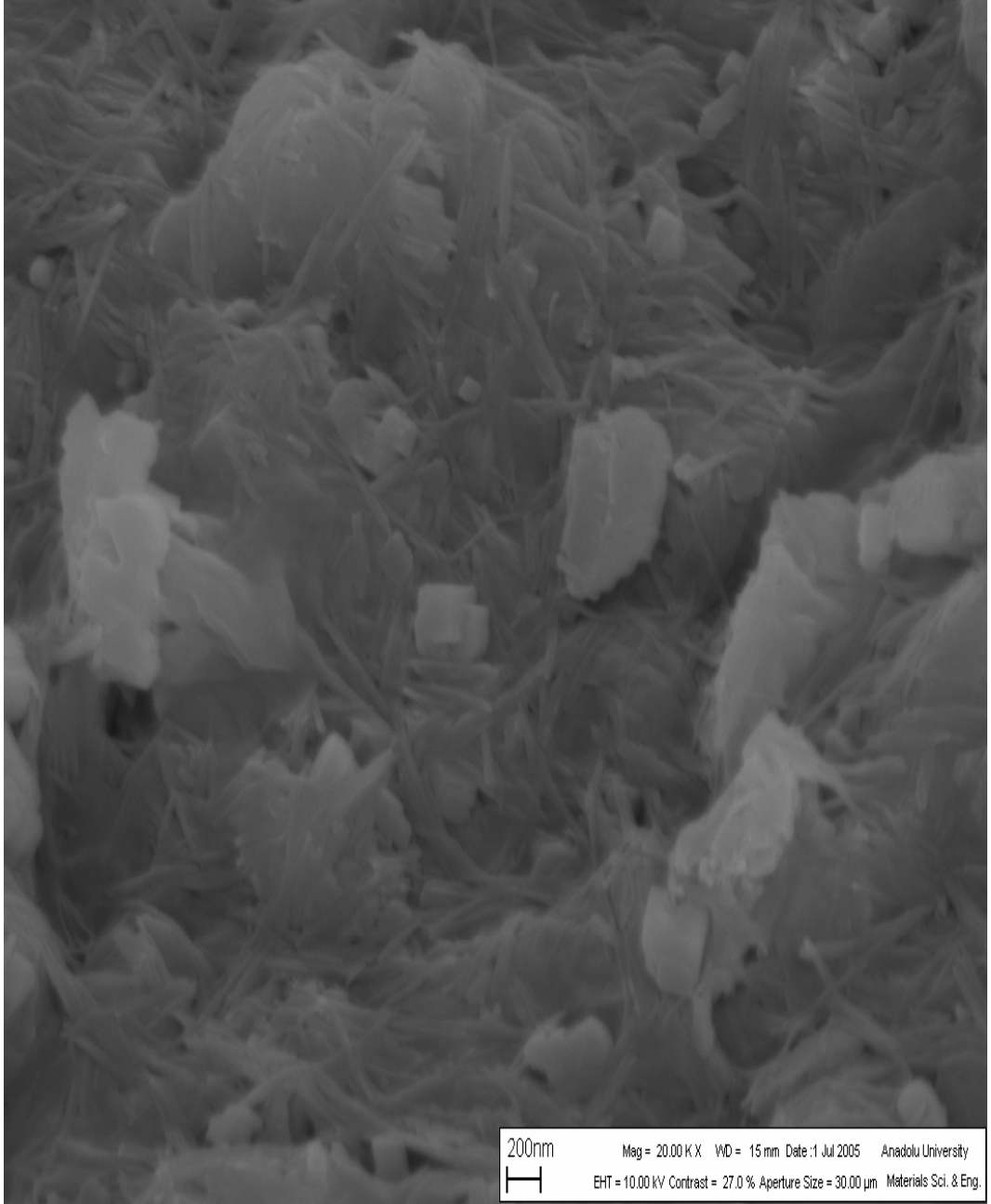
Şekil 9.8. Cu ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (1000X)



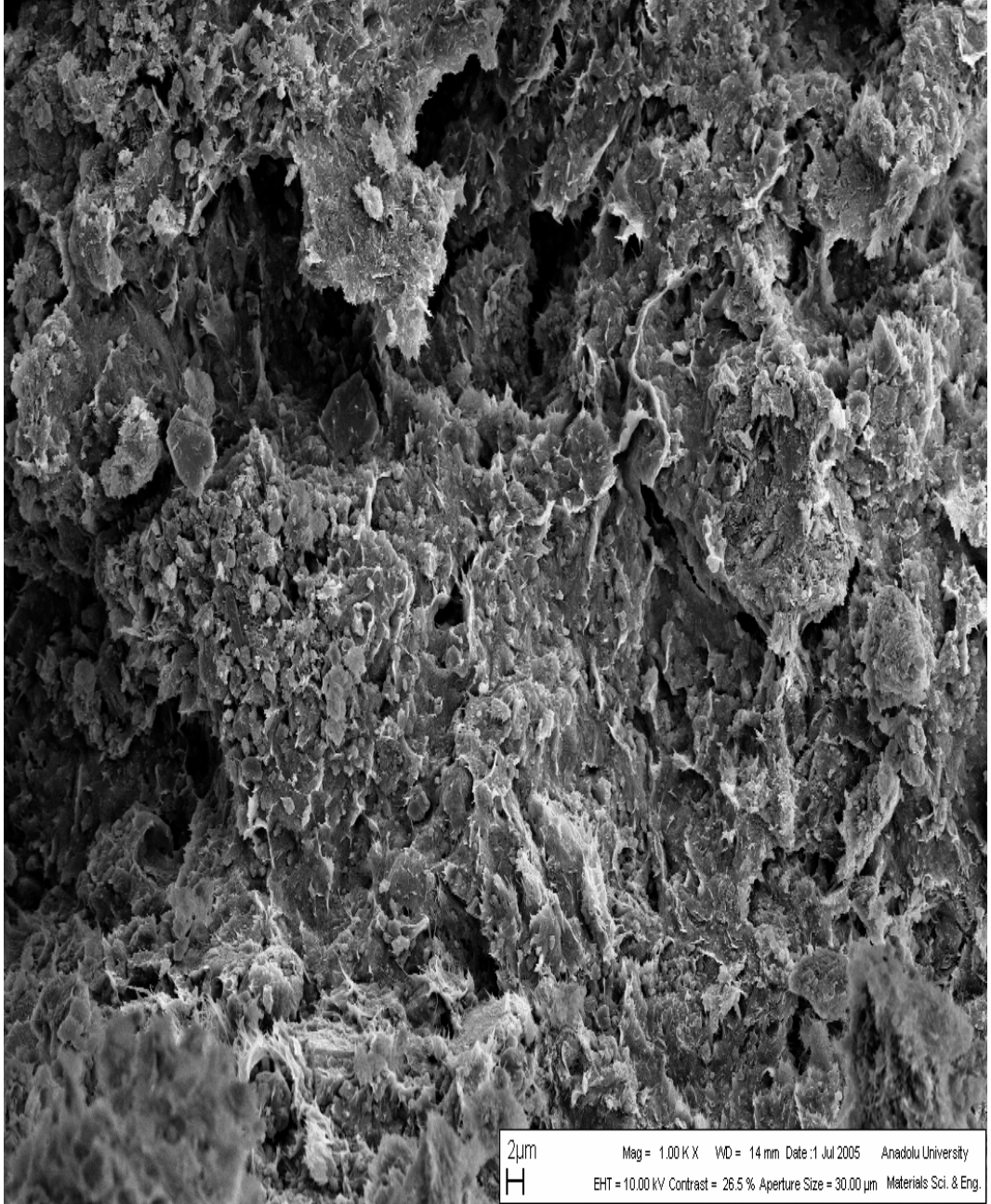
Şekil 9.9. Cu ile kirletilmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (5000X)



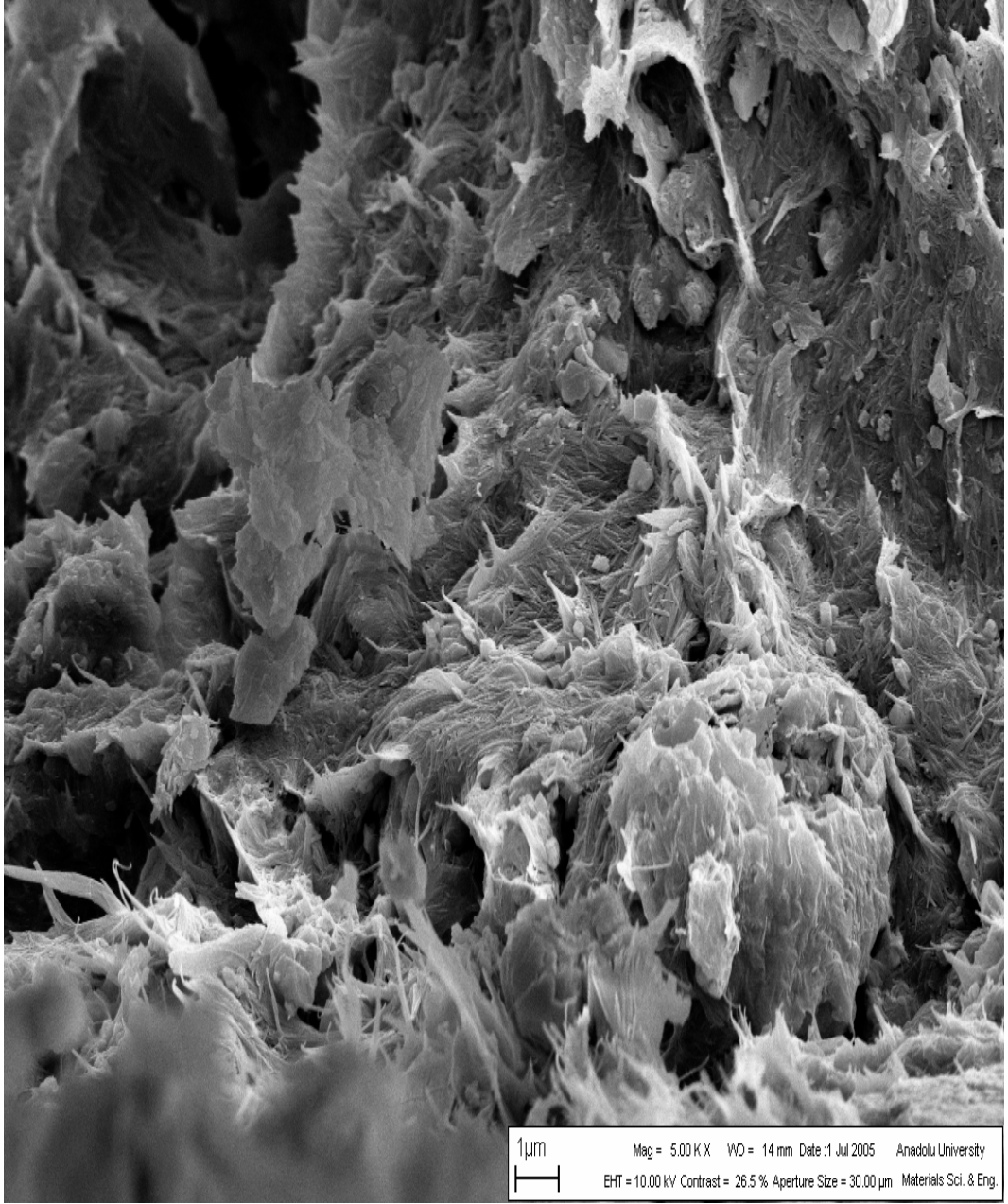
Şekil 9.10. Cu ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (10000X)



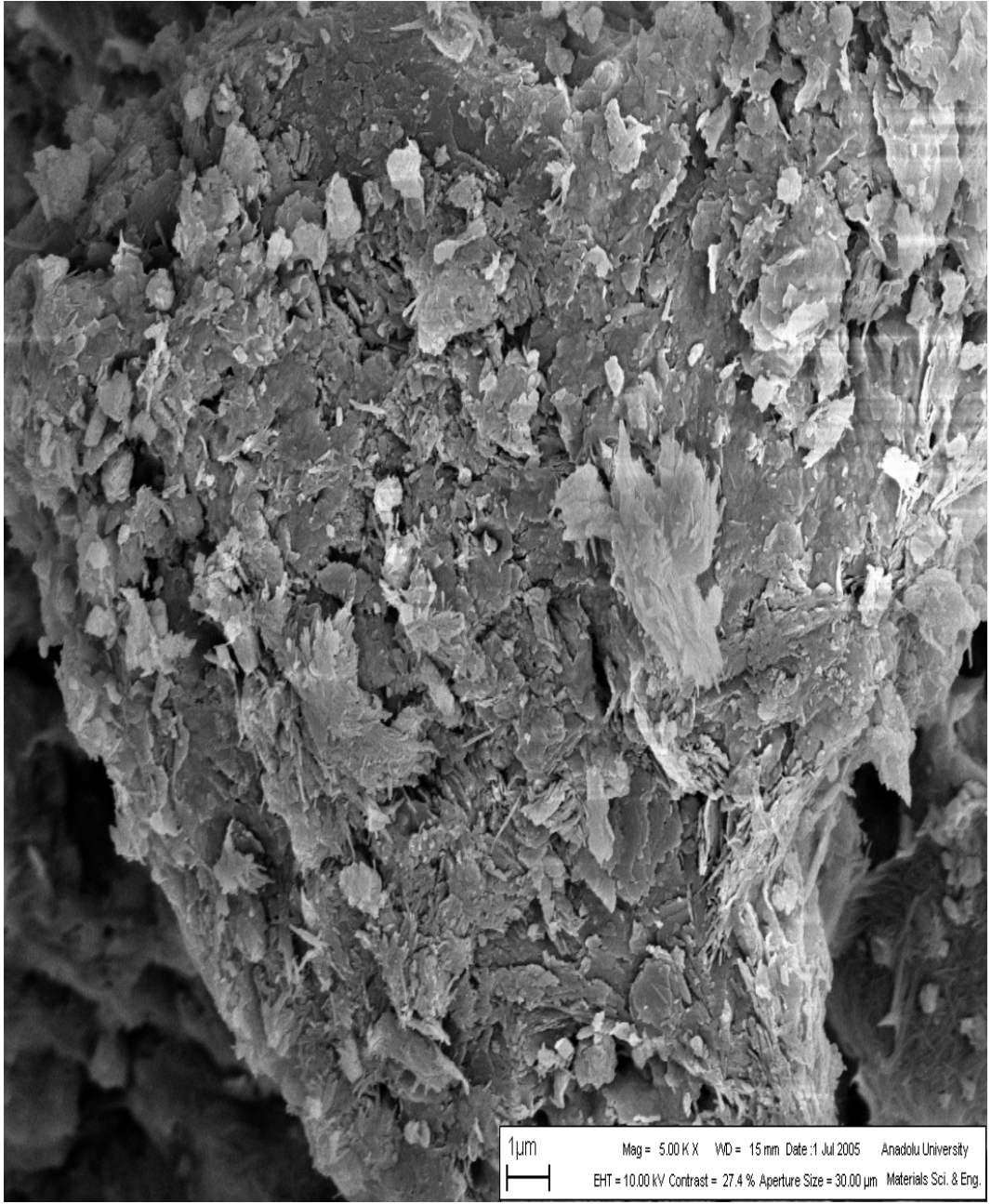
Şekil 9.11. Cu ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (20000X)



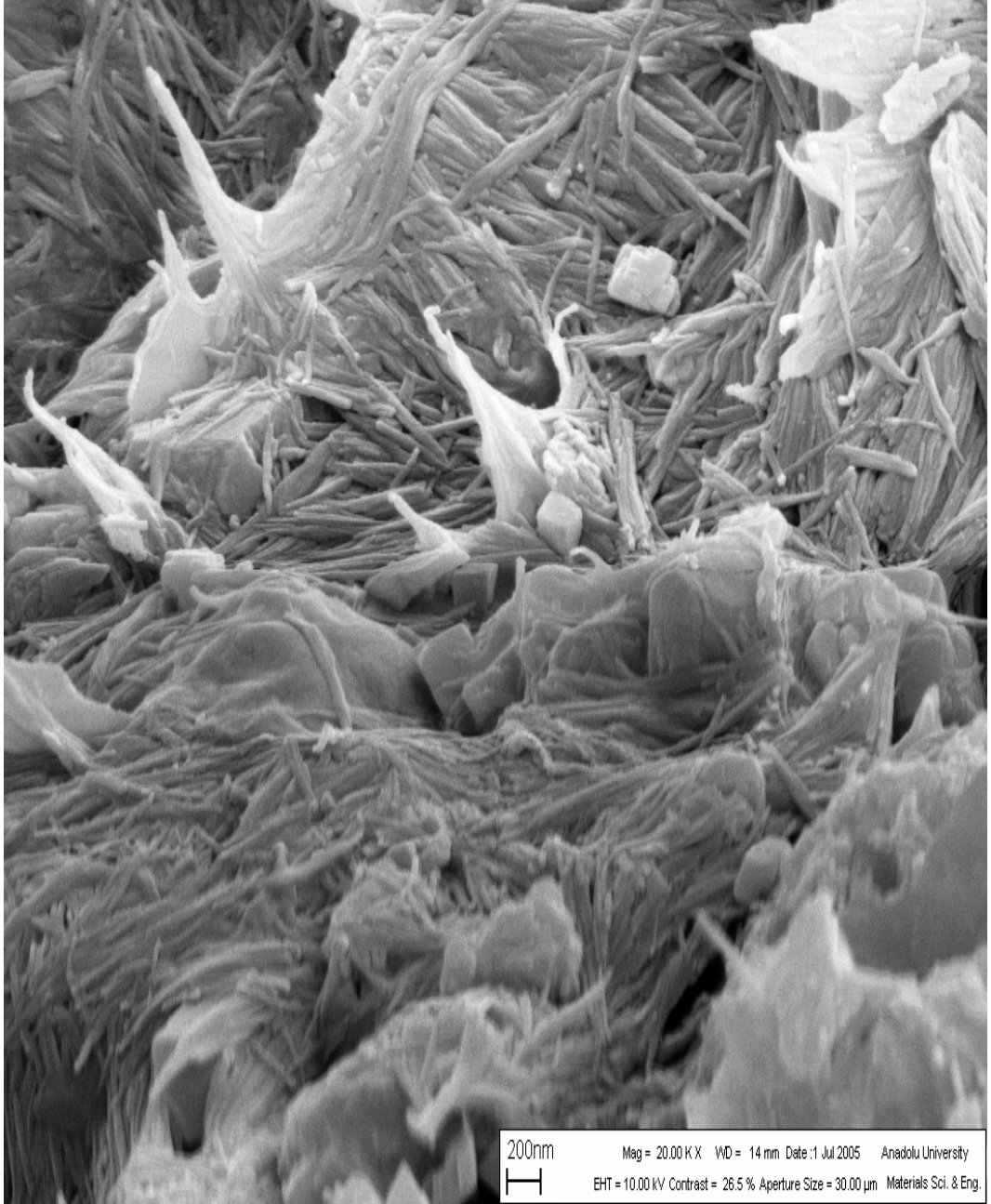
Şekil 9.12. Cr ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (1000X)



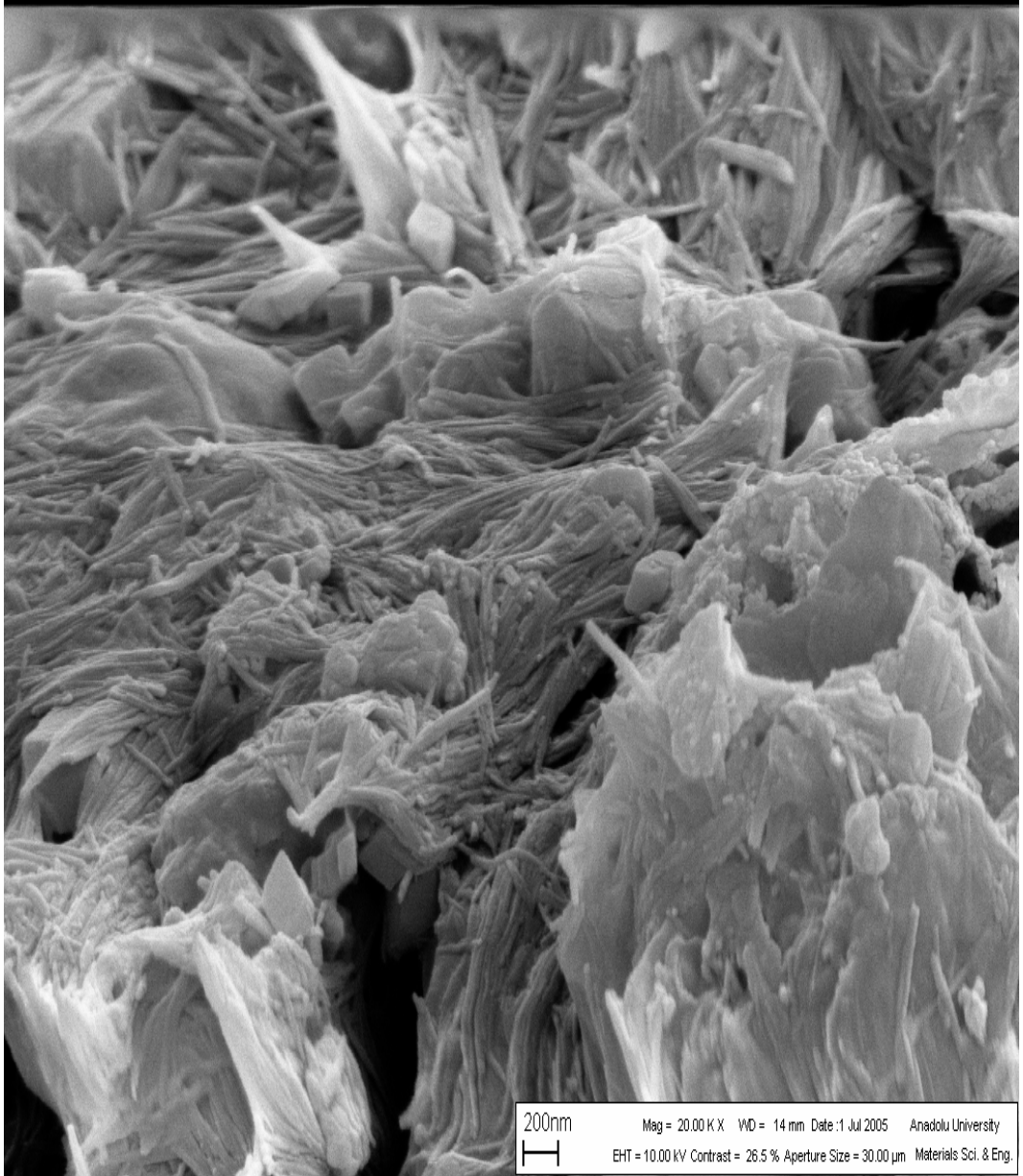
Şekil 9.13. Cr ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (5000X)



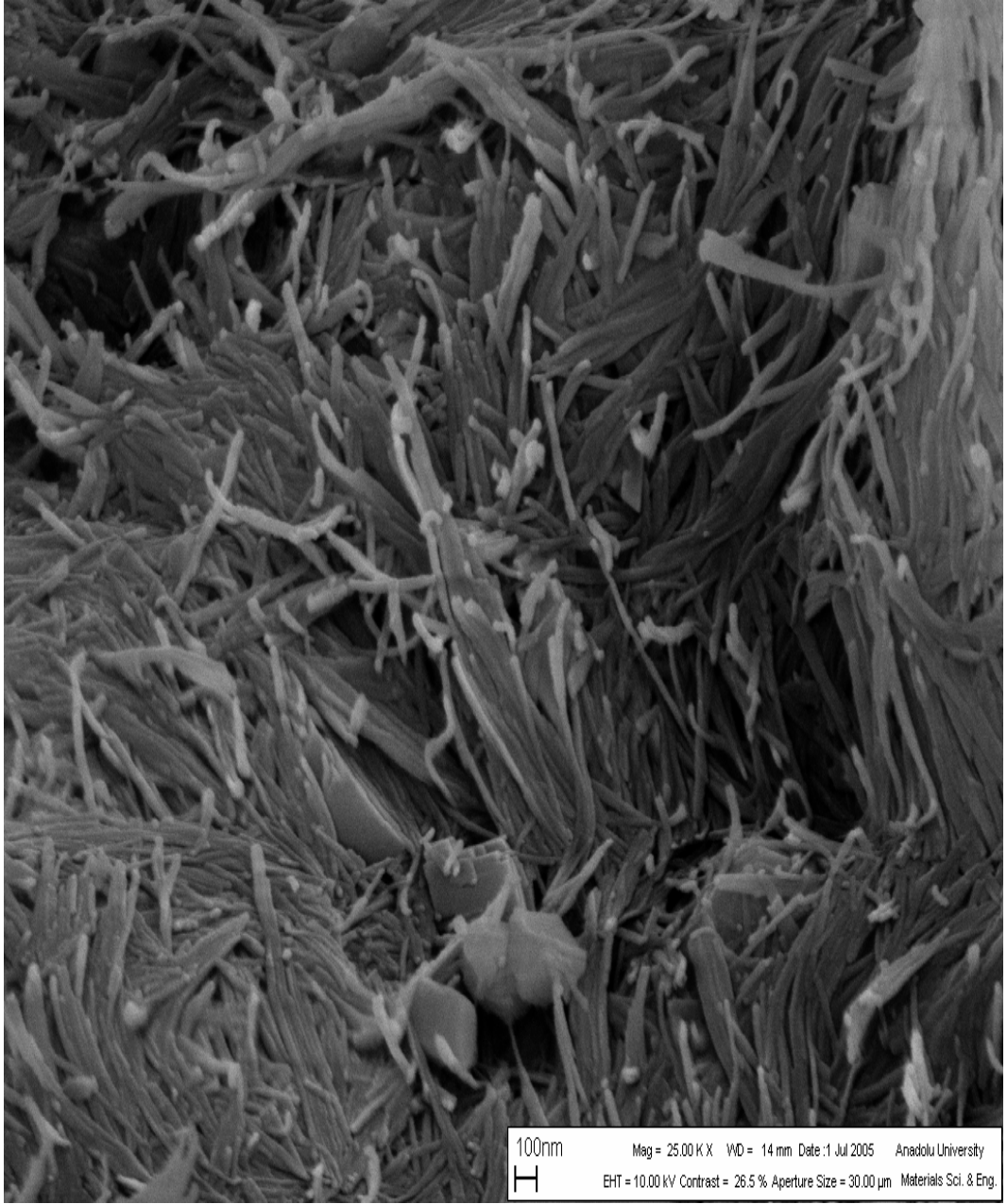
Şekil 9.14. Cr ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (5000X)



Şekil 9.15. Cr ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (20000X)



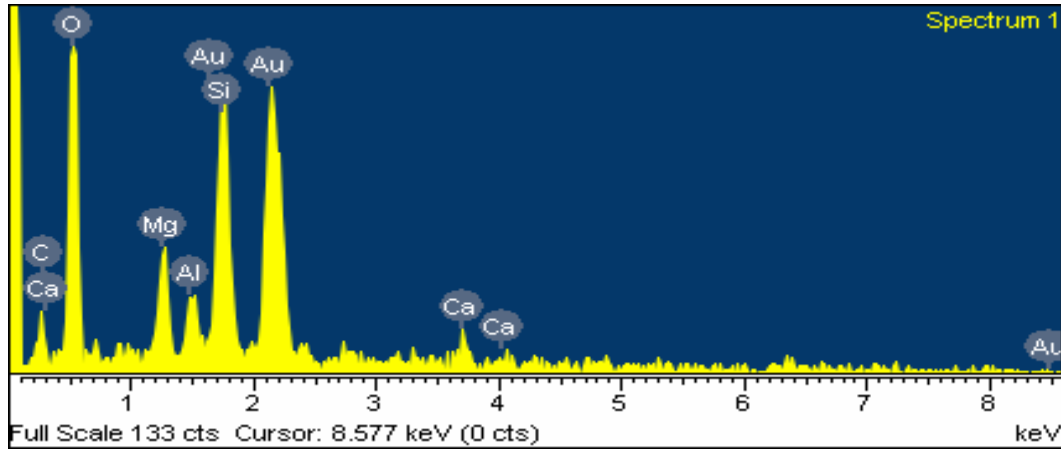
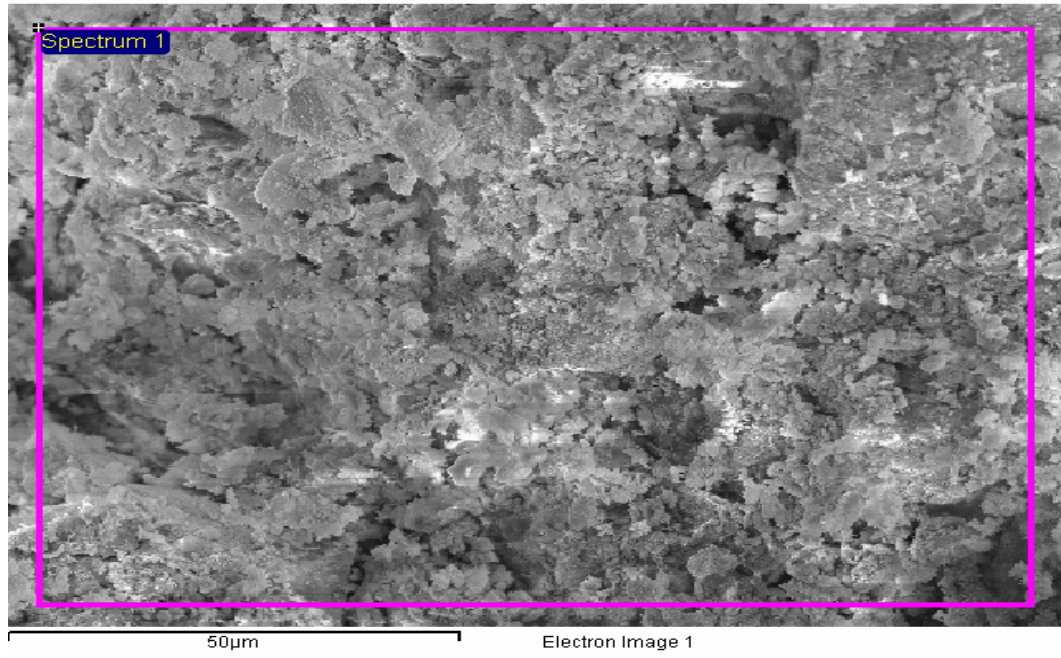
Şekil 9.16. Cr ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (20000X)



Şekil 9.17. Cr ile kirlenmiş sepiyolit/zeolit (%30) numunesine ait SEM fotoğrafı (25000X)

Çizelge 9.1. Su bulunan bölümün EDX analizi sonucu

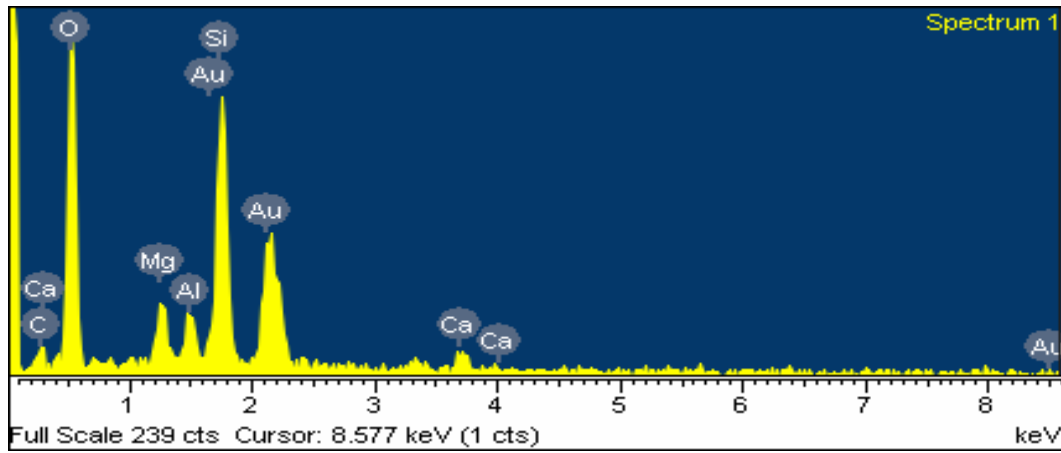
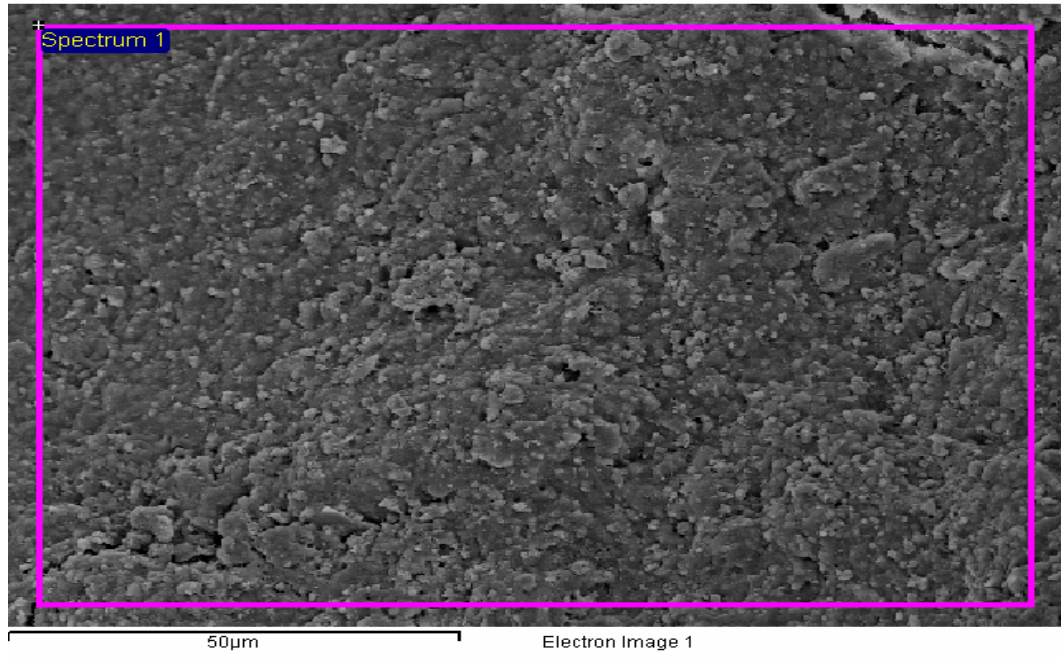
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Bileşim (%)	Formül
C	3.94	10.27	14.45	CO ₂
Mg	3.24	4.17	5.37	MgO
Al	1.84	2.14	3.48	Al ₂ O ₃
Si	9.57	10.66	20.47	SiO ₂
Ca	3.36	2.62	4.70	CaO
Au	45.94	7.30	51.54	Au ₂ O ₃
O	32.11	62.83		
Totals	100.00			



Şekil 9.18. Su bulunan bölümün EDX analizi sonucu

Çizelge 9.2. Cu bulunan bölümün EDX analizi sonucu

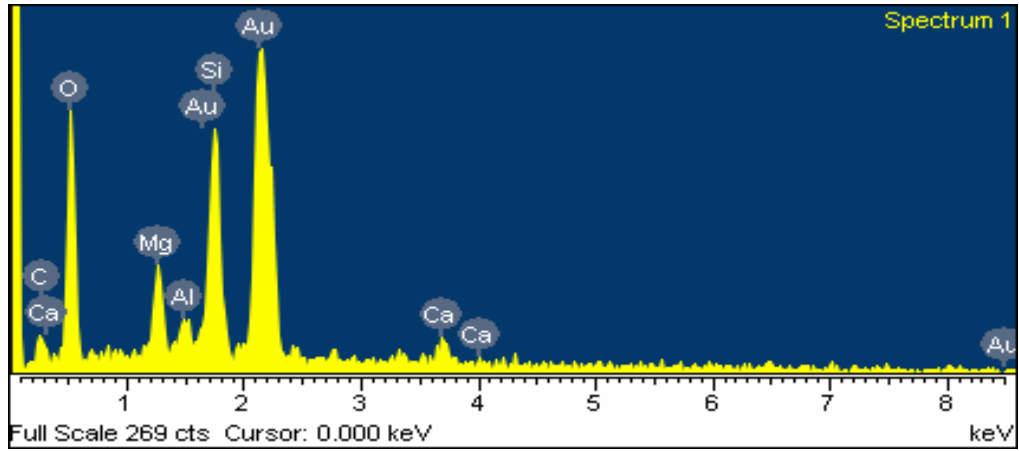
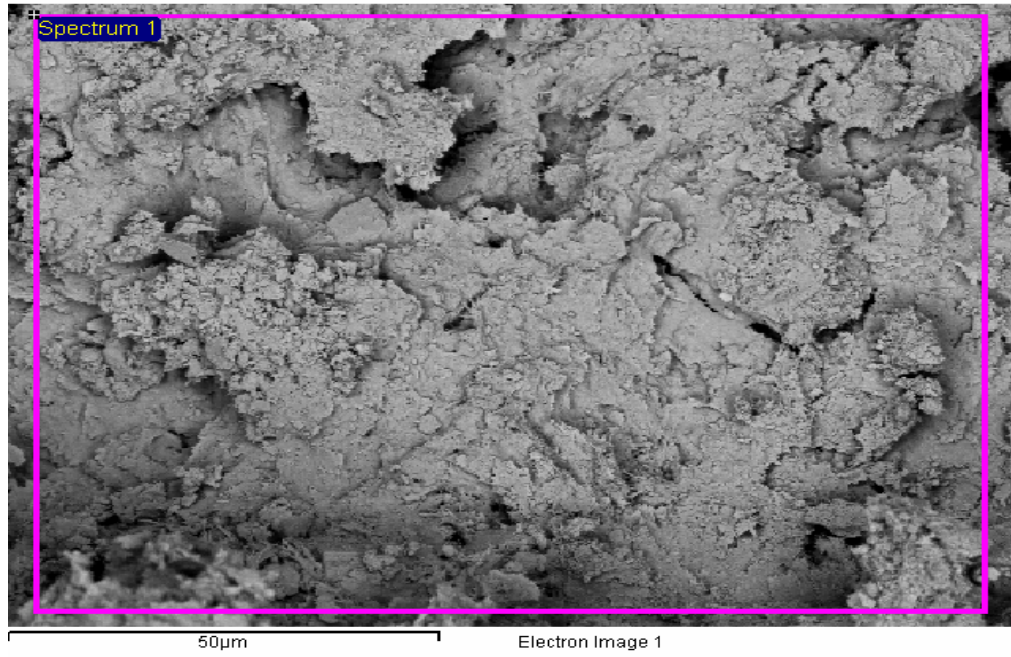
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Bileşim (%)	Formül
C	3.37	7.81	12.35	CO ₂
Mg	3.04	3.48	5.04	MgO
Al	2.61	2.69	4.93	Al ₂ O ₃
Si	15.01	14.88	32.12	SiO ₂
Ca	4.12	2.86	5.76	CaO
Au	35.48	5.01	39.80	Au ₂ O ₃
O	36.37	63.27		
Totals	100.00			



Şekil 9.19. Cu bulunan bölümün EDX analizi sonucu

Çizelge 9.3. Cr bulunan bölümün EDX analizi sonucu

Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)	Bileşim (%)	Formül
C	2.36	7.50	8.63	CO ₂
Mg	2.94	4.63	4.88	MgO
Al	1.02	1.45	1.94	Al ₂ O ₃
Si	7.81	10.63	16.71	SiO ₂
Ca	2.61	2.49	3.66	CaO
Au	57.21	11.10	64.18	Au ₂ O ₃
O	26.04	62.20		
Totals	100.00			



Şekil 9.20. Cr bulunan bölümün EDX analizi sonucu

Çizelge 9.4. EDX analizi sonuçlarının karşılaştırması

Element	Ağırlık (%)			Atomik (%)			Bileşim (%)			Formül
	Su	Cu	Cr	Su	Cu	Cr	Su	Cu	Cr	
C	3.94	3.37	2.36	10.27	7.81	7.50	14.45	12.35	8.63	CO ₂
Mg	3.24	3.04	2.94	4.17	3.48	4.63	5.37	5.04	4.88	MgO
Al	1.84	2.61	1.02	2.14	2.69	1.45	3.48	4.93	1.94	Al ₂ O ₃
Si	9.57	15.01	7.81	10.66	14.88	10.63	20.47	32.12	16.71	SiO ₂
Ca	3.36	4.12	2.61	2.62	2.86	2.49	4.70	5.76	3.66	CaO
Au	45.94	35.48	57.21	7.30	5.01	11.10	51.54	39.80	64.18	Au ₂ O ₃
O	32.11	36.37	26.04	62.83	63.27	62.20				
Totals	100.00	100.00	100.00							

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sepiyolit ve zeolit karışımların tehlikeli deponi atık alanı dizaynında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde zeolit + sepiyolit (%30) karışımı kullanılmıştır. Laboratuarda malzemelerin geoteknik ve fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Minyatür deponi tankı kullanılarak 16 haftalık gözlem yapılmış ve seçilen geçirimsizlik tabakasının araziye uygulanıp uygulanamayacağı belirlenmiştir. Ayrıca Plaxis programı ile stabilite analizleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler ve elde edilen sonuçların deponi alanı tabakaları tasarım kriterleri açısından değerlendirilmesi maddeler halinde verilmiştir.

1. Deponi alanı tabakalarında kullanılacak olan malzemeler için $PI < \%50$ olması istenmektedir (Daniel ve Wu, 1993, Özdemir, 2004). Seçilen zeolit + (%30) sepiyolit karışımının PI'sı %8-23'tür ve bu koşulu karşılamıştır.

2. Deponi alanı tabakaları için kullanılacak olan malzemelerin 200 kPa değerinden büyük yada ona eşit serbest basınç mukavemetlerine sahip olması gerekmektedir (Daniel ve Wu, 1993). Zeolit + sepiyolit (%30) karışımının serbest basınç değeri 250 kPa'dır. Üç eksenli mukavemet değeri ise 300 kPa olarak bulunmuştur.

3. Deponi alanı tabakaları için permeabilite değerinin $\leq 1,0 \times 10^{-7}$ cm/s kriterini sağlaması gerekmektedir (Daniel ve Benson, 1990, Özdemir, 2004). Karışımın permeabilite değeri $0,75-3,5 \times 10^{-8}$ cm/s arasında bulunmuştur, dolayısıyla bu kriter de sağlanmıştır.

4. Konsolidasyon ve serbest şişme deneyleri yapılmıştır. Karışımın serbest şişme değeri sıfır bulunmuştur. Deponi geçirimsizlik tabakalarında kullanılan malzemenin şişme değeri stabilitenin korunması için önemli olmaktadır. Şişme değerinin sıfır bulunması, bu kriteri sağladığını göstermektedir.

5. Fiziko-kimyasal özelliklerden, pH, elektriksel iletkenlik ve ateşte kayıp miktarı belirlenmiştir. Zeminin pH değeri metal miktarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH değeri genellikle kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6 ile 8 arasında olmalıdır. Bulunan pH değerleri bu aralıktadır. Zemindeki tuz oranı elektriksel iletkenlikle belirlenir. Elektriksel iletkenlik değeri 4 miliSiemens/cm (4000 mikroSiemens/cm)

değerinden fazla ise zemin tuzludur. Deneyler sonucunda bulunan elektriksel iletkenlik değerleri 4 miliSiemens/cm değerinin altındadır. Zemin tuzlu değildir.

6. Yapılan ağır metal analizleri sonucunda elde edilen değerler, yönetmeliklerde verilen kriterlerin altında çıkmıştır.

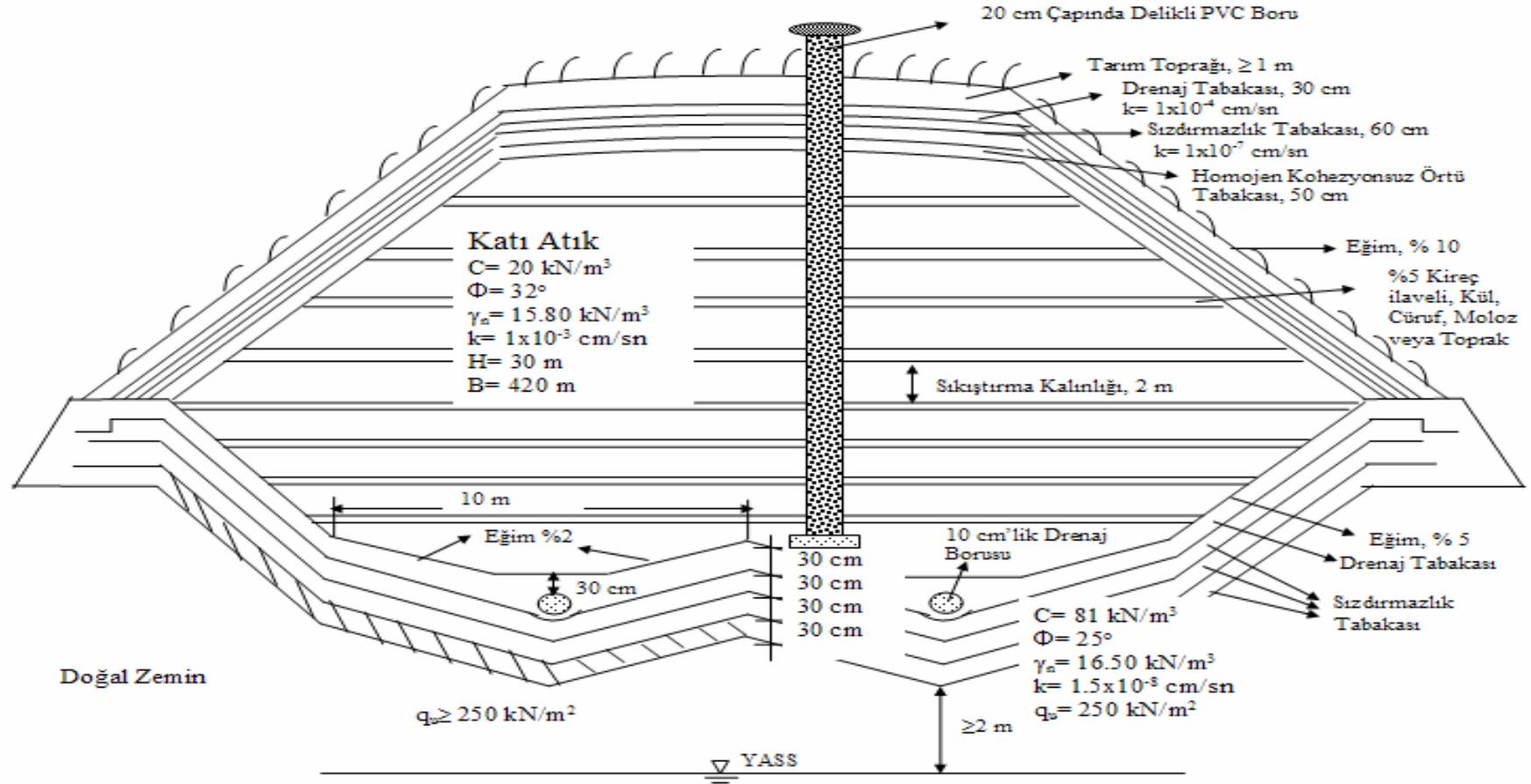
7. Minyatür deponi tankındaki numunelerin katyon değişim kapasiteleri 55-64 meq/100gr arasında değişmektedir. Bu değer atıklarda bulunan ağır metallerin tutulmaları için yeterlidir.

8. Minyatür deponi tankından alınan numunelerin SEM fotoğrafları çekilmiştir. Krom bulunan numunelerde dispers bir yapı oluşmuştur. Bakır bulunan numunelerde ise aglomera (yumaksı yapı) meydana gelmiştir.

9. Üç eksenli basınç deneyi yapılarak kullanılan zeolit + (%30) sepiyolit karışımının kohezyonu (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) belirlenmiştir. Bu verilerden faydalanılarak Plaxis programı ile stabilite analizleri yapılmıştır. Çöp dolgularının oturmaları, efektif gerilmeleri ve boşluk suyu basınçları belirlenmiştir. Ayrıca çöp dolgusunun şev stabilitesi analizi yapılmış ve güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda deponilerin stabil olduğu belirlenmiştir. Plaxis programının dinamik versiyonu mevcut olmadığından, statik analiz ile karşılaştırmalı dinamik analiz yapılamamıştır.

Tüm bu sonuçlara bakılarak, yüksek katyon değişim ve ağır metal tutma kapasitesine sahip, stabilite koşullarını sağlayan ve belirtilen tasarım kriterlerini karşılayan, zeolit + (%30) sepiyolit karışımların tehlikeli deponi atık alanı dizaynında kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda önerilen deponi dizaynı Şekil 10.1'de verilmiştir. Nüfusa bağlı deponi dizaynları ise Çizelge 10.1'de verilmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, zeolit + (%30) sepiyolit karışımının bakır ve kromdan başka kirleticiler altında davranışı gözlenebilir. Deponinin dinamik analizi yapılarak, stabilite ve malzeme davranışları hakkında bilgi edinilebilir. Minyatür deponi tankı geliştirilerek daha uzun süreli ve farklı hava koşulları altında gözlem yapılabilir. Plaxis'den farklı programlarla stabilite analizleri yapılarak, geoteknik özelliklere bağlı katsayılar bulunabilir ve abaklar oluşturulabilir.



Şekil 10.1. Deponi dizayn önerisi

Çizelge 10.1. Nüfusa bağlı deponi dizayn önerileri

NÜFUS	30 YILLIK				40 YILLIK				50 YILLIK			
	B	H	D	V (milyon m ³)	B	H	D	V (milyon m ³)	B	H	D	V (milyon m ³)
0-100.000	300	20	350	1,1	300	20	470	1,5	300	20	570	1,8
100.000-500.000	420 550	30 40	840 480	5,4	420 550	30 40	1100 640	7,2	550 690	40 50	790 510	9
500.000-1.000.000	420 550	30 40	1650 960	10,8	420 550	30 40	2200 1280	14,4	550 690	40 50	1580 1020	18
1.000.000-2.500.000	420 550	30 40	4080 2370	27	550 690	40 50	3200 2030	36	550 690	40 50	4000 2540	45
2.500.000-5.000.000	420 550	30 40	8100 4800	54	550 690	40 50	6400 4060	72	550 690	40 50	7900 5080	90

KAYNAKLAR

- [1] ÖZDEMİR, A., H., V., *Sepiyolitin Çöp Deponi Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi* , Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, Haziran (2004).
- [2] SIMON, F., ve MULLER, W., *Standard and Alternative Landfill Capping Desing in Germany*, Enviromental Science & Policy **7**, 277-290 (2004).
- [3] JAIN, P., KIM, H. ve TOWNSEND, T., *Heavy Metal Content in Soil Reclaimed from a Municipal Solid Waste Landfill*, Waste Management **25**, 25-35 (2005).
- [4] ALYANAK ve ark., *Katı Atık Depolama Yeri Düzenlenmesinde Geoteknik ve Yasal Kurallar, Uygulama Yöntemleri*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İTÜ 16-17 (2004).
- [5] QIAN, X ve KOERNER, R., *Effect of apparent Cohesion on Translational Failure Analyses of Landfills*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 71-79 (2004).
- [6] KAOSER, S., BARRINGTON, S., ve ELEKTOROWICZ, *Compartments for the Management of Municipal Solid Waste*, Soil and Sediment Contamination, **9(5)**: 503-522 (2000).
- [7] SAKA, N., TUNCAN, A., ve TUNCAN, M., *Endüstriyel Atıkların Çöp Deponi Alanı Dizaynında Değerlendirilmesi*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, 21-22 Ekim (2002).
- [8] TUNCAN, A., TUNCAN, M., KOYUNCU, H. ve GUNEY, Y., *Use of natural zeolites as a landfill liner*, Waste Management & Research, **21(1)**, 54-61, (2003).
- [9] KAYA, A. ve DURUKAN, S. ,*Utilization of Bentonite-Embedded Zeolite as Clay Liner*, Applied Clay Science, **25, 1-2** , 83-91, (2003).
- [10] *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği* (RG: 14.03.1991 ve Sayı: 20834).
- [11] *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Çevre Atlası*, Ankara (2003).
- [12] Devlet İstatistik Enstitüsü, *2001 Yılına Ait Belediye Katı Atık İstatistikleri Anketinin Geçici Sonuçları*.

- [13] USEPA, *Charecterization of Municipal Solid Waste in the USA: 1990 update, Öfke of Solid Waste&Energy Response*, EPA/530-SW-90-042, Washington, D.C., USA, (1990).
- [14] ÜNSER, Z., *Endüstriyel Katı Atıkların Yeniden kullanım Alanları*, Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Çevre Müh. Böl., Lisans Tezi, Temmuz (1999).
- [15] Devlet İstatistik Enstitüsü, *1997 yılı Belediye Çevre Envanteri Geçici Sonuçları*.
- [16] ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü (1997), “*Türkiye Çevre Atlası-96*”, 424.
- [17] EKİZOĞLU, E., *Katı Atıkların Depolama Tabakalarının Geoteknik Açıdan Değerlendirilmesi*, Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl., Lisans Tezi, Haziran (2003).
- [18] *Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu 1. Bildiriler*, 21.22 Mayıs, İstanbul (1992).
- [19] ÖZGÜR, M., *Tehlikeli Katı Atıkların Deponi Alanı Tabanı İçin Geosentetik Uygulaması*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Çevre Müh. Böl., Haziran (1999).
- [20] OWEIS,I.S. and KHERA, P.R., *Geotechnology of Waste Management*, Buttenvorths Publ., Cambridge, UK., (1990).
- [21] DANIEL, D.E., *Early Days of Enviromental Geotechnology*, pp 3-14, *Geotechnical Practice for Waste Disposal*, Edited by Daniel, D.E., Chapman&Hall Publc., London, UK., (1993).
- [22] *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği* (RG: 20.05.1993 ve Sayı: 21586).
- [23] ALYANAK, İ., İMANÇLI, G. ve HALDENBİLEN, S., *Katı Atık Depolama Yeri Düzenlenmesinde Geoteknik ve Yasal Kurallar Uygulama Örnekleri*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği X. Ulusal Kongresi, İstanbul (2003).
- [24] SAKA, N., *Endüstriye Atıkların Çöp Depolama Alanı Dizaynında Geçirimsizlik Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D., Haziran (2004).
- [25] EKİZ, İ., *Tehlikeli Katı Atık Deponi Alanı Dizaynı*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Çevre Müh. Böl., , Haziran (2000).

- [26] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (RG: 27.08.1995 ve Sayı: 22387).
- [27] EVCİMEN, Y., *Eskişehir İli İçin Çöp Deponi Alanı Dizaynı*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Çevre Müh. Böl., Haziran (1998).
- [28] DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu* Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri Iı (Mika-Zeolit-Lületaşı) Çalışma Grubu Raporu, Ankara (2001).
- [29] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yazıları-3, *Topraklarımız ve Toprak kirliliği*.
- [30] TURAN, D., *Göllerde Ağır Metal Kirliliği*, Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Çevre Müh. Böl., (2003).
- [31] *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği* (RG: 04.09.1988 ve Sayı: 19919).
- [32] *Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği* (RG: 10.12.2001 ve Sayı: 24609).
- [33] GEÇİM, D., *Atık Kalıp Kumunun Yol Alt Yapısında Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, Mayıs (2004).
- [34] APAYDIN, B. S., *Derin Kazılar ve Destekleme Sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D., (2003).
- [35] BEGLİYEV, Ş., *Kazık ve Kum Kolonların Düşey Yükler Altında Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D., Ekim (2004).
- [36] UZUNER, B. A., *Temel Zemin Mekaniği*, Teknik Yayınevi, Ankara (2000).

EK-1 2001 yılı Belediye Katı Atık İstatistikleri Temel Göstergeleri [2,3]

Temel Göstergeler	2001 yılı
Toplam belediye sayısı	3 215
Katı atık hizmeti verilen belediye sayısı	2 915
Toplanan katı atık miktarı (milyon ton/yıl)	25,1
Kişi başı ortalama katı atık miktarı (kg/kişi-gün)	1,31
Kişi başı yaz mevsimi ortalama katı atık miktarı (kg/kişi-gün)	1,28
Kişi başı kış mevsimi ortalama katı atık miktarı (kg/kişi-gün)	1,32
Katı atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	77,44
Katı atık hizmeti verilen nüfusun belediye nüfusuna oranı (%)	98,32
Katı atık bertaraf tesisleri	
Katı atık bertaraf tesisleri ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	23,63
Düzenli depolama tesisi	
Sayısı	12
Kapasitesi (milyon ton)	261,3
Bertaraf edilen belediye katı atık miktarı (milyon ton/yıl)	8,3
Bertaraf edilen tıbbi atık miktarı (1000 ton/yıl)	13
Kompost tesisi	
Sayısı	3
Kapasitesi (1000 ton/yıl)	299
Bertaraf edilen katı atık miktarı (1000 ton/yıl)	218
Yakma tesisi	
Sayısı	3
Kapasitesi (1000 ton/yıl)	44
Bertaraf edilen tıbbi atık miktarı (1000 ton/yıl)	11
Katı Atık Yönetmeliğini yerine getirmeme sebeplerine göre belediye sayısı	
Yönetmeliği bilmeyen	942
Maddi imkansızlıklar	1 768

EK-2 Nüfus grubu ve mevsimlere göre toplanan katı atık miktarı, 2001

Nüfus grubu	Nüfus		Toplam belediye sayısı	Katı atık hizmeti verilen			
	Toplam	Belediye		Belediye sayısı ⁽¹⁾	Belediye nüfusu ⁽²⁾	Toplam nüfus içinde oranı (%)	Belediye nüfusu içinde oranı (%)
Türkiye	67803927	53404784	3215	2915	52510184	77,44	98,32
-2000	14041752	594624	348	297	501085	3,57	84,27
2001-5000	5992579	5141824	1650	1420	4429453	73,92	86,15
5001-10000	3873550	3772290	557	545	3696538	95,43	97,99
10001-25000	4883460	4883460	323	322	4870522	99,74	99,74
25001-50000	4597646	4597646	132	132	4597646	100,00	100,00
50001-100000	5778321	5778321	83	83	5778321	100,00	100,00
100001-500000	22078335	22078335	101	99	22078335	100,00	100,00
500001-1000000	6558284	6558284	16	13	6558284	100,00	100,00
1000001-5000000	-	-	4	3	-	-	-
5000000+	-	-	1	1	-	-	-

EK-2 (Devam) Nüfus grubu ve mevsimlere göre toplanan katı atık miktarı, 2001

Nüfus grubu	Toplanan katı atık							
	Toplam		Yaz			Kış		
	Miktarı (ton/yıl)	Kişi başı (kg/kişi-gün)	Yaz mevsimi (ton/yaz)	Miktarı (ton/gün)	Kişi başı (kg/kişi-gün)	Kış mevsimi (ton/kış)	Miktarı (ton/gün)	Kişi başı (kg/kişi-gün)
Türkiye	25133696	1,31	12534608	67301	1,28	12599088	69341	1,32
-2000	184347	1,01	85234	499	1,00	99113	511	1,02
2001-5000	1523832	0,94	803512	4416	1,00	720320	3878	0,88
5001-10000	1423582	1,06	779411	4066	1,10	644171	3593	0,97
10001-25000	2189906	1,23	1136799	6107	1,25	1053107	5687	1,17
25001-50000	2287472	1,36	1212188	6387	1,39	1075284	5921	1,29
50001-100000	2801423	1,33	1320534	7329	1,27	1480889	7862	1,36
100001-500000	11348705	1,41	5571897	29994	1,36	5776808	31818	1,44
500001-1000000	3240371	1,35	1556866	8127	1,24	1683505	9710	1,48
1000001-5000000	51948	-	27687	156	-	24261	131	-
5000000+	82110	-	40480	220	-	41630	230	-

(1) Belediye sayısına ana arterlerde çöp toplama hizmeti veren büyükşehir belediyeleri dahil edilmiştir.

(2) Büyükşehir belediyelerinin nüfusları bağlı ilçe / alt kademe belediyelerinin nüfus gruplarında gösterilmiştir.

EK-3 Nüfus grubu ve bertaraf yöntemine göre katı atık miktarı, 2001
A. Belediye sayısı B. Katı atık miktarı (ton/yıl)

Nüfus grubu	Toplam		Bertaraf yöntemi									
			Büyükşehir belediyesi çöplüğü		Belediye çöplüğü		Başka belediye çöplüğü		Düzenli depolama		Kompost tesisi	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Türkiye	2915	25133696	80	3770586	1842	10125442	209	673811	120	8304192	20	218077
-2000	297	184347	1	365	206	120750	8	4996	-	-	-	-
2001-5000	1420	1523832	19	19885	885	954262	121	170715	23	28598	3	4258
5001-10000	545	1423582	15	34583	350	974421	57	135070	10	30790	4	2921
10001-25000	322	2189906	9	68760	219	1472524	16	99445	20	181150	5	54281
25001-50000	132	2287472	6	151290	90	1576848	5	92280	11	190545	-	-
50001-100000	83	2801423	4	62599	58	2116443	1	38310	8	262103	3	35051
100001-500000	99	11348705	19	1998354	34	2910194	1	132995	39	5778382	4	20900
500001-1000000	13	3240371	5	1425638	-	-	-	-	7	1707678	1	100666
1000001-5000000	3	51948	2	9112	-	-	-	-	1	42836	-	-
5000000+	1	82110	-	-	-	-	-	-	1	82110	-	-

EK-3 (Devam) Nüfus grubu ve bertaraf yöntemine göre katı atık miktarı, 2001

Nüfus grubu	Bertaraf yöntemi							
	Açıkta yakma		Dereye dökme		Gömme		Diğer ⁽¹⁾	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Türkiye	133	343591	102	100935	101	481684	351	1115378
-2000	19	10674	14	8953	6	3848	44	34761
2001-5000	64	65844	69	51718	53	44079	198	184473
5001-10000	28	69667	13	20759	19	48662	62	106709
10001-25000	13	85105	4	10744	11	61597	27	156300
25001-50000	6	63567	-	-	6	102956	9	109986
50001-100000	3	48734	2	8761	4	114653	6	114769
100001-500000	-	-	-	-	1	99500	5	408380
500001-1000000	-	-	-	-	1	6389	-	-
1000001-5000000	-	-	-	-	-	-	-	-
5000000+	-	-	-	-	-	-	-	-

EK-4 Tehlikeli Atık Listesi Genel Atık Kategorileri

- Y1: Hastanelerden, tıp merkezlerinden ve kliniklerden kaynaklanan klinik atıklar,
- Y2: Farmasotik ürünlerin üretiminden ve hazırlanmasından kaynaklanan atıklar,
- Y3: Farmasotik ve ilaç atıkları,
- Y4: Biyosid ve fitofarmasotiklerin üretiminden,
- Y5: Ahşap koruyucu maddelerin üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar,
- Y6: Organik çözücülerin üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar,
- Y7: Siyanür ihtiva eden ısıt işlemler ile sertleştirme işlemlerinden kaynaklanan atıklar,
- Y8: Başlangıçta hedeflenen kullanıma uygun olmayan atık madeni yağlar,
- Y9: Atık yağ/su, hidrokarbon/su karışımları, emülsiyonlar,
- Y10: Poliklorbubifeniller (PCB'ler) ve/veya Poliklorluterfeniller (PCT'ler) ve/veya Polibromlubifeniller (PBB'ler) içeren veya bu maddelerle kirlenmiş atık maddeler ve malzemeler
- Y11: Arıtmadan, imbiklemeden ve herhangi bir ısıt işleminden ötürü ortaya çıkan katranlı artık atıkları,
- Y12: Mürekkep, boya, pigment, lake ve cilaların üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar,
- Y13: Lateks, reçine, plastize edici maddeler ile yapışkanlar/yapıştırıcıların üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar,
- Y14: Tanımlanamayan ve/veya yeni ve insan ve/veya çevre üzerindeki etkileri bilinmeyen araştırma ve geliştirme veya eğitim faaliyetlerinden kaynaklanan kimyasal madde atıkları,
- Y15: Başka bir yasal düzenlemeye konu olmayan patlayıcı karakterde atıklar,
- Y16: Fotoğrafçılıkta kullanılan kimyasal madde ve malzemelerin üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar,
- Y17: Metal ve plastiklere yüzey işlemleri uygulanmasından kaynaklanan atıklar,
- Y18: Sınai atıkların bertarafı işlemlerinden kaynaklanan atıklar,
Aşağıda Belirtilen Metalleri İçeren Atıklar
- Y19: Metal karbonilleri,
- Y20: Berilyum, berilyum bileşikler,
- Y21: Krom VI (Cr VI) bileşikler,
- Y22: Bakır bileşikler,
- Y23: Çinko bileşikler,
- Y24: Arsenik, arsenik bileşikler,
- Y25: Selenyum, selenyum bileşikler,
- Y26: Kadmiyum, kadmiyum bileşikler,
- Y27: Antimuan, antimuan bileşikler,
- Y28: Tellür, tellür bileşikler,
- Y29: Civa, civa bileşikler,
- Y30: Talyum, talyum bileşikler,
- Y31: Kurşun, kurşun bileşikler,
- Y32: Anorganik flor bileşikler-kalsiyum florür hariç,
- Y33: Anorganik siyanürler,
- Y34: Asitli çözeltiler veya katı haldeki asitler,
- Y35: Bazik çözeltiler veya katı haldeki bazlar,
- Y36: Asbest (toz ve lifleri)
- Y37: Organik fosfor bileşikler
- Y38: Organik siyanürler,
- Y39: Fenoller klorofenoller dahil fenol bileşikler,
- Y40: Eterler,
- Y41: Halojenli organik bileşikler,
- Y42: Halojenli çözücüler dışındaki organik çözücüler,
- Y43: Poliklorlu dibenzo furanın herhangi bir türevi,
- Y44: Poliklorlu dibenzo para dioksinin herhangi bir türevi,
- Y45: Bu ekte belirtilen maddelerin haricindeki bir türevi, bileşikler (Y39, Y41, Y42, Y43, Y44)

EK-4 (Devam) Tehlikeli Atık Listesi Genel Atık Kategorileri

Y46: (Ek: R.G. 25.12.1996'de yayınlanan Yön. m.7/a) Evlerden toplanan tehlikeli atıklar
Özel Değerlendirmeye Tabi Tutulacak Atık Kategorileri

Y 47: Eysel atıkların yakılmasından kaynaklanan atıklar.

EK-5 Atığı Üründen Ayıran Kriterler

Aşağıda belirtilen kriterler kapsamına giren maddeler atık olarak tanımlanır.

1. Standart dışı ürünler,
2. Sağlıklı kullanım süresi geçmiş olan ürünler,
3. Dökülmüş, niteliği bozulmuş ya da yanlış kullanıma maruz kalmış olan maddeler (kontamine olmuş maddeler),
4. Aktiviteler sonucu kontamine olmuş ya da kirlenmiş maddeler (temizleme işlemi atıkları, ambalaj atıkları),
5. Kullanılmayan kısımlar (atık piller ve katalizörler),
6. Yararlı performans gösteremeyen maddeler (kontamine olmuş asitler),
7. Endüstriyel proses kalınlıkları (destilasyon atıkları),
8. Kirliliğin önlenmesi amacı ile kullanılan proses kalıntıları (yıkama çamurları, filtre tozları, kullanılmış filtreler),
9. Yüzey işlemleri kalıntıları (torna atıkları ve benzeri),
10. Hammadde işleme proses kalıntıları (petrol soplaları, madencilik ve benzeri),
11. Değerini kaybetmiş olan maddeler (PCB'lerle kontamine olmuş yağlar),
12. İhracatçı ülkenin kanunlarına göre yasak getirilmiş olan maddeler,
13. Yeniden kullanım veya geri kazanım amacı ile getirilen maddeler,
14. Kontamine olmuş alanın iyileştirme çalışmalarından doğan maddeler,
15. Yukarıda bahsedilen kategorilere ait olmayan fakat üretici ya da ihracatçı tarafından atık olarak kabul edilen maddeler,
16. Yukarıda belirtilmeyen üretim atıkları, atıktır.

EK-6 Bertaraf Yöntemleri

EK-6A. Kaynak Geri Kazanımına, Yeniden İşlemeye, Arazi Islahına, Doğrudan Tekrar Kullanıma veya Alternatif Kullanımlara Olanak Vermeyen İşlemler

A. Bölümü uygulamada karşılaşılan tüm bertaraf işlemlerini kapsamaktadır.

- D1-A Toprağın altında düzenli depolama (boş maden yatakları ve benzeri),
- D1-B Toprağın üstünde düzenli depolama (arazide depolama ve benzeri),
- D2 Arazi işleme (sıvı veya çamur atıkların toprakta biyolojik bozulmaya uğraması, ve benzeri),
- D3 Derine enjeksiyon (pompanabilir atıkların kuyulara, tuz kayalarına veya doğal olarak bulunan boşluklara enjeksiyonu ve benzeri),
- D4 Yüzey doldurma (Sıvı ya da çamur atıkların kovuklara, havuzlara ve lagünlere doldurulması),
- D5 Özel işlemler arazi depolaması,
- D8 Bu ekte yer almayan ve A Bölümündeki işlemlerden herhangi biri yoluyla atılan nihai bileşiklerin veya karışımların oluşmasına neden olan biyolojik işlemler,
- D9 Bu ekte yer almayan ve A Bölümündeki işlemlerin herhangi biri yoluyla atılan nihai bileşiklerin oluşmasına neden olan fiziksel-kimyasal işlemler (buharlaştırma, kurutma, kalsinasyon, nötrleştirme, çökeltme ve benzeri),
- D10 Yakma (Özel yakma fırınlarında),
- D12 Nihai depolama (bir madende konteyner içine yerleştirme ve benzeri),
- D13 A Bölümünde belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutulmadan önce harman-lama veya karıştırma,
- D14 A Bölümünde belirtilen işlemlere tabi tutulmak üzere yeniden ambalajlama,
- D15 A Bölümünde belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutulmak üzere depolama,

EK-6B. Kaynak Geri Kazanımına, Yeniden İşlemeye, Arazi Islahına, Doğrudan Tekrar Kullanıma veya Alternatif Kullanımlara Olanak Veren Yöntemler

- R1 Yakıt olarak kullanma (doğrudan yakma dışında) veya enerji üretimi için diğer şekillerde yararlanma,
- R2 Solvent (çözücü) ıslahı/geri kazanımı,
- R3 Solvent olarak kullanılmayan organik maddelerin ıslahı/yeniden işlenmesi,
- R4 Metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı/yeniden işlenmesi,
- R5 Diğer anorganik maddelerin ıslahı/yeniden işlenmesi,
- R6 Asitlerin veya bazların geri kazanımı,
- R7 Kirliliğin azaltılması için kullanılan parçaların geri kazanımı,
- R8 Katalizörlerin parçalarının geri kazanımı,
- R9 Kullanılmış yağların yeniden rafine edilmesi veya önceden kullanılmış yağların diğer kullanımları,
- R10 Ekolojik iyileştirme veya tarımcılık yararına sonuç verecek arazi ıslahı,
- R11 R1-R10 arasındaki işlemlerden elde edilecek artık maddelerin kullanımı,
- R12 Atıkların R1-R11 arasındaki işlemlerden herhangi birine tabi tutulmak üzere değişimi,
- R13 Maddelerin B Bölümünde belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutulmak üzere biriktirilmesi,

EK-7 Tehlikeli Atık Üretilmesine Neden Olan Aktiviteler

Ziraat Çiftçilik Endüstrisi

A100	Ziraat, orman işletmeciliği
A101	Toprak işlenmesi (Nadas)
A102	Hayvancılık
A103	Orman idaresi ve ağaç kesimi
A110	Gıda sektöründe üretilen et ve sebze ürünleri
A111	Et endüstrisi, mezbaha
A112	Süt (mandıra) endüstrisi
A113	Hayvan ve sebze yağı ve içyağı endüstrisi
A114	Şeker endüstrisi
A115	Diğerleri
A120	İçki endüstrisi
A121	Alkol ve ispiroto distilasyonu
A122	Bira mayalama
A123	Diğer içkilerin imali
A130	Hayvan yemi imalatı
Enerji	
A150	Kömür endüstrisi
A151	Kömür ve kömür ürünlerinin üretimi ve hazırlanması
A152	Koklaştırma işlemleri
A160	Petrol endüstrisi
A161	Petrol ve doğal gazın ekstraksiyonu (özütleme)
A162	Petrol rafinasyonu
A163	Petrol ve doğal gazın rafinasyonunda oluşan petrolün ve ürünlerinin depolanması
A170	Elektrik üretimi
A170	Merkezi ısıtma tesisleri
A172	Merkezi hidrolik tesisleri
A174	Diğer merkezi elektrik tesisleri
A180	Su üretimi
Metalurji-Makina ve Elektrik Mühendisliği	
A200	Metalik cevherlerin ekstraksiyonu
A210	Demir metalurjisi (izabeciliği)
A211	Dökme demir üretimi (kok fırını)
A212	Ham çelik üretimi (pik demiri)
A213	Birincil çelik değiştirme (haddehane)
A220	Demir dışı metalurji (demirsiz maden izabeciliği)
A221	Alüminyum üretimi
A222	Alüminyum metalurjisi
A223	Kurşun ve çinko metalurjisi
A224	Değerli metallerin metalurjisi
A225	Demir dışı diğer metallerin metalurjisi
A226	Demirli pirinç endüstrisi
A227	Elektrodların üretimi
A230	Dökümhane ve metal işleme işlemleri
A231	Demirli metal dökümhaneleri
A232	Demir dışı metal dökümhaneleri
A233	Metal işleme (makina ile ilgili olanlar hariç)
A240	Mekanik, elektrik ve elektronik yapımı
A241	Makinede işleme
A242	Isıl işlem
A243	Yüzey işlemi
A244	Boya tatbiki
A245	Montaj, tel döşeme
A246	Batarya ve kuru pillerin üretimi
A247	Elektrik telleri ve kablolarının üretimi (Kaplama, galvanizleme, izolasyon)

EK-7 (Devam) Tehlikeli Atık Üretilmesine Neden Olan Aktiviteler

A248 Elektronik parçaların üretimi

Non-Metalik Mineraller-İnşaat Malzemeleri Seramik-Cam

A260 Metal dışı minerallerin madenciligi ve taş ocağı işletmeciliği

A270 Seramik, cam, inşaat malzemelerin yapımı

A271 Kireç, çimento ve sıva üretimi

A272 Seramik ürünlerin imali

A273 Asbest-çimento karışımı ürünlerin imali

A274 Diğer inşaat malzemelerinin üretimi

A275 Cam endüstrisi

A230 İnşaat, inşaat alanları, yeşil saha

Birincil Kimya Endüstrisi

A300 Birincil Kimyasalların ve kimyasal hammadde stoklarının üretimi

A301 Klor endüstrisi

A351 Gübre üretimi

A401 Birincil anorganik endüstriyel kimyasalların diğer üretimleri

A451 Petrol ve kömür endüstrisi

A501 Temel plastik malzemelerin üretimi

A551 Diğer birincil organik kimyasal üretimi

A601 Yağların kimyasal arıtımı, deterjanlar için gerekli esas maddelerin üretimi

A651 Farmasotiklerin, pestisidlerin, biyosidlerin ve yabani ot öldürücülerin üretimi

A669 Nihai kimyasalların diğer üretimi

Birincil Kimyasallara Bağlı Ürünleri Üreten Endüstriler

A700 Mürekkep, cila, boya, yapışkan maddelerin üretimi

A701 Mürekkep üretimi

A702 Boya üretimi

A703 Cila üretimi

A704 Yapışkan madde üretimi

A710 Fotoğrafçılığa ait ürünlerin imali

A711 Işığa duyarlı fotoğraf camı üretimi

A712 Fotoğraf iyileştirme (arıtım) ürünlerinin imali

A720 Parfüm endüstrisi ve sabun ve deterjan ürünlerinin imali

A721 Sabun ürünlerinin imali

A722 Deterjan ürünlerinin imali

A730 Nihai lastik ve plastik maddeler

A731 Lastik endüstrisi

A732 Nihai plastik maddeler

A740 Asbestli ürünlerin imali

A750 Barut ve patlayıcı maddeler üretimi

Tekstil ve Deri - Ağaca Dayalı ve Mobilya Endüstrisi

A760 Tekstil ve kumaş endüstrisi

A761 Tekstil liflerinin ayrılması

A762 İplikleme, eğirme-bükme, örme

A763 Ağartma, boyama, baskı

A764 Kumaş imalatı

A770 Deri ve kürk endüstrisi

A771 Tabakhaneler, tabaklama (deri)

A772 Kürk ticareti

A773 Ayakkabı ve diğer deri ürünlerinin imalatı

A780 Ahşap ve mobilya endüstrisi

A781 Bıçkılıhane, ahşap levhaların üretimi

A782 Ahşap ve mobilya ürünleri imalatı

A790 Çeşitli ilgili endüstriler

Kağıt-Mukavva-Baskı

A800 Kağıt ve mukavva endüstrisi

A801 Kağıt hamuru imali

A802 Kağıt ve mukavva imalatı

EK-7 (Devam) Tehlikeli Atık Üretilmesine Neden Olan Aktiviteler

- A803 Nihai kağıt ürünleri ve mukavva
- A810 Baskı, yayıncılık, fotoğrafçılık laboratuvarları
- A811 Baskı, yayıncılık
- A812 Fotoğrafçılık laboratuvarları
- Ticari Hizmetler
- A820 Çamaşırhaneler, temizleyiciler, boyahaneler
- A830 Ticarethaneler
- A840 Ulaştırma, otomobil bakım ve onarım tesisleri
- A841 Otomobil bakım ve otomobil onarım tesisleri
- A842 Taşıma
- A850 Otel, restoran, kahvehaneler
- Genel Hizmetler
- A860 Sağlık hizmetleri
- A861 Sağlık Hizmetleri (Hastaneler, poliklinikler, huzur evleri, laboratuvarlar),
Veterinerlik Hizmetleri
- A870 Araştırma merkezleri
- A871 Araştırma merkezleri (araştırma laboratuvarlarını içerir)
- A880 İdari hizmetler, bürolar
- Evsel Üretim
- A890 Evsel üretim
- Kirlilik Kontrolü-Atık Bertarafı
- A900 Kamuya açık alanların bakım ve temizliği
- A910 Kentsel su arıtım tesisleri
- Kentsel atık su arıtım tesisleri
- A930 Endüstriyel Atıksu Arıtım tesisleri
- A931 Yakma
- A932 Fiziksel Kimyasal arıtma
- A933 Biyolojik arıtma
- A934 Atıkların Katılaştırılması
- A935 Atıkların toplanması ve/veya yeniden işlenmesi
- A936 Yerüstü ve yeraltı depolama işlemleri
- Yeniden Üretim-Geri Kazanım
- A940 Yeniden üretim işlemleri
- A941 Yağların yeniden üretimi
- A942 Çözücülerin yeniden üretimi
- A943 İyon değiştirme reçinelerinin yeniden üretimi
- A950 Geri kazanma işlemleri

EK-8 Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri

	Tehlikeli Atık	İnert Atık
PH	4 – 13	4 - 13
Toplam organik karbon	40 - 200 mg/l	<200 mg/l
Arsenik III	0.2 - 1.0 mg/l	<0.11 mg/l
Kurşun	0.4 - 2.0 mg/l	
Kadmiyum	0.1 - 0.5 mg/l	1.04 ile 1.10 arasında
Krom VI	0.1 - 0.5 mg/l	yer alanların toplamı
Bakır	2 - 10 mg/l	<5 mg/l ⁽¹⁾
Nikel	0.4 - 2.0 mg/l	
Civa	0.02 - 0.1 mg/l	
Çinko	2 - 10 mg/l	
Fenoller	20 - 100 mg/l	<10 mg/l
Florür	10 - 50 mg/l	<5 mg/l
Amonyum	0.2 - 1.0 g N/l	<50 mg/l
Klor	1.2 - 6.0 g/l	<0.5 g/l
Siyanür ⁽²⁾	0.2 - 1.0 mg/l	<0.1 mg/l
Sülfat ⁽³⁾	0.2 - 1.0 g/l	<1.0 g/l
Nitrit	6 - 30 mg/l	<3 mg/l
Halojenli organik bileşikler ⁽⁴⁾	0.6 - 3.0 mg/l	<0.3 mg/l
Tiner ve çözücü ve sökücü maddeler ⁽⁵⁾	0.02 - 0.10 mg Cl/l	<10 µg Cl/l
Pestisidler ⁽⁵⁾	1 - 5 µg Cl/l	<0.5 µg Cl/l
Yağda çözülen maddeler	0.4 - 2.0 mg/l	<1 mg/l

1)Ağır metallere ait inert atık değerlerinin hiçbiri, tehlikeli atık için verilen alt sınır değerini geçemez.

2)Kolay ayrılan/uçucu.

3)Mümkünse <500 mg/l olmalıdır.

4)Organik şekilde bağlı olup adsorbe olan halojenler.

5)Klorlanmış

İnert Atık: Fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak önemli derecede herhangi bir değişime uğramayan, çözünmeyen, yanmayan, fiziksel veya kimyasal olarak reaksiyona girmeyen, biyolojik bozulmaya uğramayan veya temas ettiği maddeleri çevreye veya insan hayatına zarar verecek şekilde etkilemeyen ve toplam sızıntı kabiliyeti ve ekotoksitesi önemsiz miktarda olan, özellikle yüzey ve yeraltı suyu kirliliği tehlikesi yaratmayan maddeleri

Ek-9 Değişik Sanayi Sektörü Atık Sularında Bulunan Bazı Ağır Metaller

Ağır metal	Sektör	Sayı
KURŞUN (Pb) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn) KADMIYUM (Cd)	Maden Sanayii (Demir ve Demir Dışı Metal Cevherleri, Kalsiyum Florür, Grafit ve Benzeri Cevherlerin Hazırlanması)	1
BOR (B)	Metalik Olmayan Maden Sanayii (Bor Cevheri)	2
KURŞUN (Pb) ÇİNKO (Zn) KADMIYUM (Cd)	Maden Sanayii (Seramik ve Toprakta Kap-Kaçak Yapımı ve Benzerleri)	3
KROM (Cr ⁺⁶)	Maden Sanayii (Çimento, Taş Kırma, Toprak Sanayii ve Benzerleri)	4
KURŞUN (Pb)	Cam Sanayii	5
ÇİNKO (Zn)	Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri	6
ÇİNKO (Zn)	Tekstil Sanayii (Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri)	7
KROM (Cr ⁺⁶)	Petrol Sanayii (Petrol Rafinerileri ve Benzerleri)	8
KROM (Cr ⁺⁶)	Deri, Deri Mamulleri ve Benzeri Sanayiler	9
BOR (B)	Kimya Sanayii (Perborat ve Diğer Bor Ürünleri Sanayii)	10
KROM (Cr ⁺⁶) ÇİNKO (Zn) KURŞUN (Pb) KADMIYUM (Cd)	Kimya Sanayii (Boya Hammade ve Yardımcı Madde Üretimi ve Benzerleri)	11
ÇİNKO (Zn) BAKIR (Cu) KROM (Cr ⁺⁶) KURŞUN (Pb) KADMIYUM (Cd)	Kimya Sanayii (Petrokimya ve Hidrokarbon Üretim Tesisleri)	12
KURŞUN (Pb) ÇİNKO (Zn)	Metal Sanayii (Demir-Çelik Üretimi)	13
KURŞUN (Pb)	Metal Sanayii (Demir-Çelik İşleme Tesisleri)	14
KROM (Cr ⁺⁶)* KURŞUN (Pb)* KADMIYUM (Cd)* BAKIR (Cu)* ÇİNKO (Zn)*	Metal Sanayii (Genelde Metal Hazırlama ve İşleme)	15
KROM (Cr ⁺⁶) KURŞUN (Pb) BAKIR (Cu) GÜMÜŞ (Ag) ÇİNKO (Zn) KADMIYUM (Cd)	Metal Sanayii (Galvanizleme)	16
KROM (Cr ⁺⁶) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn)	Metal Sanayii (Dağlama İşlemi)	17
KROM (Cr ⁺⁶) ÇİNKO (Zn)	Metal Sanayii (Elektrolitik Kaplama)	18
KROM (Cr ⁺⁶)	Metal Sanayii (Metal Renklendirme)	19
ÇİNKO (Zn) KADMIYUM (Cd)	Metal Sanayii (Sıcak Galvanizleme Çinko kaplama)	20
KURŞUN (Pb) KROM (Cr ⁺⁶) BAKIR (Cu)	Metal Sanayii (İletken Plaka İmalatı)	21

Ek-9 (Devam)

KURŞUN (Pb) KADMİYUM (Cd) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn)	Metal Sanayii (Akü İmalatı)	22
KROM (Cr ⁺⁶) KURŞUN (Pb) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn) KADMİYUM (Cd)	Metal Sanayii (Sırlama, Emayeleme, Mineleme Tesisleri)	23
KROM (Cr ⁺⁶) KURŞUN (Pb) KADMİYUM (Cd) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn)	Metal Sanayii (Metal Taşlama ve Zımparalama Tesisleri)	24
BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn)	Metal Sanayii (Metal Cilalama ve Vernikleme Tesisleri)	25
KROM (Cr ⁺⁶) KURŞUN (Pb) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn) KADMİYUM (Cd)	Metal Sanayii (Laklama/Boyama)	26
ÇİNKO (Zn)* KURŞUN (Pb)* BAKIR (Cu)* KROM (Cr ⁺⁶)* ARSENİK* KADMİYUM (Cd)*	Metal Sanayi (Alüminyum Hariç Olmak Üzere Demir Dışı Metal Üretimi)	27
KADMİYUM (Cd)* ÇİNKO (Zn)* KURŞUN (Pb)* BAKIR (Cu)* KROM (Cr ⁺⁶)* ARSENİK*	Metal Sanayii (Demir ve Demir Dışı Dökümhane ve Metal Şekillendirme)	28
KURŞUN (Pb) KROM (Cr ⁺⁶)	Seri Makina İmalatı, Elektrik Makinaları Ve Techizatı, Yedek Parça Sanayii	29
KROM (Cr ⁺⁶) KADMİYUM (Cd) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn) KURŞUN (P)	Taşıt Fabrikaları (Otomobil, Kamyon, Traktör, Minibüs, Bisiklet, Motosiklet ve Benzeri Taşıt Aracı Üreten Fabrikalar)	30
KROM Cr ⁺⁶)	Tersaneler ve Gemi Söküm Tesisleri	31
KROM (Cr ⁺⁶) KURŞUN (Pb) KADMİYUM (Cd) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn)	Karışık Endüstriyel Atık Sular (küçük ve büyük organize sanayi bölgeleri ve sektör belirlemesi yapılamayan diğer sanayiler)	32
KROM (Cr ⁺⁶) KURŞUN (Pb) BAKIR (Cu) ÇİNKO (Zn) KADMİYUM (Cd)	Endüstriyel Nitelikli Diğer Atık Sular	33

Ek-10 Su Kalite Parametreleri

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
	I	II	III	IV
İnorganik kirlenme parametreleri				
1. Civa ($\mu\text{g Hg/l}$)	0.1	0.5	2	> 2
2. Kadmiyum ($\mu\text{g Cd/l}$)	3	5	10	> 10
3. Kurşun ($\mu\text{g Pb/l}$)	10	20	50	> 50
4. Arsenik ($\mu\text{g As/l}$)	20	50	100	> 100
5. Bakır ($\mu\text{g Cu/l}$)	20	50	200	> 200
6. Krom (toplam) ($\mu\text{g Cr/l}$)	20	50	200	> 200
7. Krom ($\mu\text{g Cr}^{+6}/\text{l}$)	Çok Az	20	50	> 50
8. Kobalt ($\mu\text{g Co/l}$)	10	20	200	> 200
9. Nikel ($\mu\text{g Ni/l}$)	20	50	200	> 200
10. Çinko ($\mu\text{g Zn/l}$)	200	500	2000	> 2000
11. Siyanür (toplam) ($\mu\text{g CN/l}$)	10	50	100	> 100
12. Florür ($\mu\text{g F}^{-}/\text{l}$)	1000	1500	2000	> 2000
13. Serbest klor ($\mu\text{g Cl}_2/\text{l}$)	10	10	50	> 50
14. Sülfür ($\mu\text{g S}^{-}/\text{l}$)	2	2	10	> 10
15. Demir ($\mu\text{g Fe/l}$)	300	1000	5000	> 5000
16. Mangan ($\mu\text{g Mn/l}$)	100	500	3000	> 3000
17. Bor ($\mu\text{g B/l}$)	1000	1000	1000	> 1000
18. Selenyum ($\mu\text{g Se/l}$)	10	10	20	> 20
19. Baryum ($\mu\text{g Ba/l}$)	1000	2000	2000	> 2000
20. Alüminyum (mg Al/l)	0.3	0.3	1	> 1
21. Radyoaktivite (pCi/l)				
alfa-aktivitesi	1	10	10	> 10
beta-aktivitesi	10	100	100	> 100

Ek-11 Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri

Ağır Metal	PH<6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	PH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır *	50 **	140 **
Nikel *	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Civa	1 **	1,5 **

* pH değeri 7'den büyük ise Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

EK.12. Literatürde içme suyunda bulunmasına müsaade edilen maksimum kirletici miktarları [1]

¹Kamon, e al. (1991), ²Kern, et al. (1988), ³ Environment Canada (1979), ⁴ Pardus (1988),

⁵ Water Environment Federation (WEF) (1993), ⁶ Resmi Gazete (1991).

Metaller	Japon Temiz Su Kanununa Göre ¹ (mg/1)	USEPA İçme Suyu Standardı ² (mg/1)	İçme Suyu Standardı ³ (mg/1)	İçme Suyu Standardı ⁴ (mg/1)	Avrupa Topluluğu İçme Suyu Standardı ⁵ (mg/1)	Kıta İçi Su Kaynakları Kontrolü ⁶ (ppm)
Arsenik (As)	0.5	0.05	-	<0.01	0.04	1
Bakır (Cu)	3	-	1	<0.2	0.1	0.2
Baryum (Ba)	-	1	-	-	-	-
Demir (Fe)	10	-	17	-	-	1.0
Civa (Hg)	-	-	-	-	0.001	-
Çinko (Zn)	5	-	5	0.1-0.3	0.1	0.5
Kadmiyum (Cd)	0.1	0.01	-	<0.01	0.005	0.01
Krom (Cr)	0.5	0.05	-	<0. 1-0.3	0.05	0.2
Kurşun (Pb)	1	0.05	0.05	<0.1	0.04	0.05
Mangan (Mn)	10	0.05	-	-	-	2.0
Nikel (Ni)	3	-	-	0.35	0.05	0.2
Selenyum (Se)	-	-	-	-	0.01	-
Florür (F ⁻)	-	-	-	-	1.5	-
Siyanür (CN ⁻)	-	-	-	-	0.05	-
Nitrat (NO ₃ ⁻)	-	-	-	-	50	-
Aromatik Hidrokarbon				-	0.0002	-

EK.13. Literatürde çöp deponi alanı sızıntı suyu içinde bulunmasına müsaade edilen maksimum kirletici miktarları [1]

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

^aFoxworthy, et.al. (1996); ^bTaha (1993) ve Morgan (1984); ^cRay, et al. (1986); ^dSchurger (1985)
TCLP: U.S. EPA Toxicity Characteristic Leaching Procedure (SW-846, Method 1330), ASTM: American Society of Testing Materials,
EP Toxicity: U.S. EPA Extraction Procedure Toxicity Test Method (SW-846, Method 1320).