

154593

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMİK SANTRAL TABAN KÜLÜNÜN, BENTONİT ve
ZEOLİT ile BİRLİKTE, KATI ATIK DEPOLAMA SAHASI
TABAN MALZEMESİ OLARAK KULLANIMININ
ARAŞTIRILMASI:
AFŞİN-ELBİSTAN ÖRNEĞİ**

İnşaat Yük. Müh. Ayşe SANDIKÇI MOLLAMAHMUTOĞLU

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 30 Nisan 2004

Tez Danışma

Jüri Üyeleri

: Yar. Doç. Dr. İlter AYDINOL TÜRKDOĞAN (YTÜ)

: Prof.Dr. Mustafa ÖZTÜRK (YTÜ)

: Prof.Dr. Mehmet BORAT (İÜ)

: Prof.Dr. Lütfi AKÇA (İTÜ)

: Prof.Dr. İzzet ÖZTÜRK (İTÜ)

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	x ii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konunun Anlam ve Önemi.....	1
1.2 Çalışmanın Gayesi ve Kapsamı.....	1
2. KATI ATIKLARIN TANIMI ve DÜZENLİ DEPOLAMA METODLARI	3
2.1 Katı Atık Tanımı ve Karakterizasyonu	3
2.1.1 Katı atığın boyut ve kütle dağılımı.....	5
2.2 Katı Atık Depolama Alanı.....	7
2.2.1 Katı atıkların bertarafında kullanılan depolama metotları	7
2.2.2 Katı atık boşaltımı için depolama alanının hazırlanması	9
2.3 Türkiye’de Çöp (Katı Atık) Bertaraf Yöntemleri.....	10
2.3.1 Mamak Açık (Vahşi) Depolama Alanı.....	11
2.3.2 İstanbul büyükşehir belediyesi, Odayeri düzenli katı atık depolama alanı	13
3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALARDA, DEPOLAMA ALANLARINDA TABAKA OLARAK KULLANILAN MALZEMELERİN ve SIZINTI SULARININ İNCELENMESİ.....	17
3.1 Ticari Bentonit.....	17
3.1.1 Kil minerallerinin (minerolojik) özellikleri.....	17
3.1.1.1 Killerin fiziko-kimyasal özellikleri	19
3.2 (Tabii) Zeolit	20
3.2.1 Zeolitlerin kimyasal bileşimi ve yapısı	21
3.3 Termik Santral Taban Külü.....	22
3.3.1 Genel özellikleri ile termik santral külleri.....	25
3.3.2 Türkiye’deki kül üretim miktarları.....	26
3.3.3 Termik santral taban külünün özellikleri.....	28
3.3.4 Taban külünün mühendislik özellikleri.....	29
3.3.5 Deneylerde kullanılacak Afşin-Elbistan santrali taban külü	29

3.3.5.1	Afşin Elbistan termik santrali	29
3.4	Doğal Materyallerle Oluşturulan Taban Malzemelerinin İncelenmesi	31
3.4.1	Katı atık sahalarında, taban malzemesi olarak doğal zeolitlerin kullanılması	32
3.4.2	Termik santral taban küllerinin kullanım alanlarını incelenmesi	33
3.5	Kullanılan Yapay Malzemeler.....	37
3.5.1	Geosentetik kil tabakalarının hidrolik iletkenlikleri.....	37
3.6	Sızıntı Suyu Özellikleri	40
3.6.1.1	Yurt içi ve yurtdışı düzenli depolama alanlarındaki sızıntı suyu karakteristikleri.....	44
3.7	Sızıntı Suyunun Arıtımında Madde Adsorbsiyon İzotermine İncelenmesi	50
3.7.1	Adsorpsiyon izotemleri	51
4.	MATERYAL ve METODLAR.....	55
4.1	Uygulanan Deneysel Yöntemler	56
4.2	Deneylerin Yapılışı.....	61
4.2.1	X-Ray. Difraction deneyleri.....	61
4.2.2	Malzemelerin kimyasal özellikleri	69
4.2.2.1	pH değerlerinin belirlenmesi	69
4.2.2.2	Organik madde içerikleri.....	69
4.2.2.3	Malzemelerin bünyesindeki ağır metal içerikleri	69
4.2.3	Standart proktor deneyi	70
4.2.4	Dane çapı dağılımı (elek analizi) deneyi.....	72
4.2.5	Permeabilite katsayısının belirlenmesi (Düşen seviyeli permeametre deneyi)	75
4.2.6	Malzemelerin ağır metal adsorblama kapasitesinin bulunması (Sentetik sıvılarla)	76
4.2.7	Oluşturulan taban malzemelerinden çöp depolama suyunun geçirilmesi (süzdürülmesi)	78
4.2.8	Adsorbsiyon izoterm deneylerinin yapılışı.....	79
5.	ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRİLMESİ	82
5.1	Kullanılan Malzemelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	82
5.1.1	Taban kütünün permeabilite deney sonuçlarının, önceki çalışmalarla kıyaslanması	87
5.1.1.1	Tabakaların geçirimsizlik özelliklerinin, depolama alanı kullanım sürecine (ömrüne) etkileri.....	94
5.1.2	Tabaka malzemelerinin ağır metal adsorblama kapasitelerinin değerlendirilmesi	95
5.1.3	Taban malzemelerinden geçirilen sızıntı suyunun çıkış değerlerinin, daha önce yapılmış çalışmalar ve standart verileri ile karşılaştırılması	100
5.1.4	Adsorbsiyon izoterm deney verilerinin, grafiksel yorumlamaları.....	114
5.1.5	Oluşturulan tabaka malzemelerin maliyet hesapları	118
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	126
KAYNAKLAR:		130

EKLER		137
Ek 1	Odayeri Düzenli Depolama Alanının, 2003 yılına ait, tesisi ve inşaa keşif bedelleri (İstaç A.Ş.).....	137
Ek 2	Taban külü öğütücü makine fiyat listesi (Örnek fiyat teklif belgesi).....	139
EK 3	Zeolit ve bentonite ait piyasa satış fiyat listeleri	140
ÖZGEÇMİŞ		142



SİMGE LİSTESİ

C_c	Sıkışma indeksi
C_0 ve C	Sırası ile,giriş ve çıkış konsantrasyon değerleri
Ft	3.28 m
ha	Hektar
$\dot{I}n$	0.03937 mm.
kPa	Kilo paskal
Lb	0.0022 g.
θ	Hidrolik bekleme
XOC_s	Xenobiyotik Organik Bileşikler
$USCS$	Filtreleme yöntemi
UV	Ultraviöle ışınlar
μg	10^{-6} gr.



KISALTMA LİSTESİ

BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
GCL _s	Geosentetik Clay Liners (Geosentetik kil tabakalar)
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
KOİ	Kimyasal Oksijen ihtiyacı
MSW	Municipal Solid Waste (Evsel katı atık)
NAPL	Non-Aqueow Phase Liquids
PVC	Polivinil Klorit
VOC	Uçucu Organik Bileşikler
FOW	Free On Wagon (Vagon Üzerinde Teslim)
FOB	Free On Board (Borda'ya Teslim)
FAS	Free Alongside Ship (Yükleme Limanı'nda Teslim)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Depolama alanı işletme ve yöntemlerinin kesitsel açıdan tanımlanması	9
Şekil 2.2	Mamak depolama alanı (rastgele çöp dökümü).....	12
Şekil 2.3	Depo alanının oluşturduğu çöp dağı ve buradan sızan sızıntı suyu deresi	12
Şekil 2.4	Odayeri düzenli depolama alanının hazırlanış safhasında geomembranların serimi	13
Şekil 2.5	Dökülen çöpün kompaktörlerle alana yayılıp, sıkıştırılması	14
Şekil 2.6	Çöpün üzerine günlük toprak örtünün serilmesi.....	15
Şekil 2.7	Depolama alanındaki sızıntı suyu ana kolektörleri.....	15
Şekil 2.8	Sızıntı suyu toplama havuzu.....	16
Şekil 3.1	ABD.'de 2000-2001 yıllarında,enerji kaynaklarından elektrik üretim sektörlerinin net üretim payı.....	24
Şekil 3.2	Afşin-Elbistan Termik Santralinden bir görünüş.....	30
Şekil 3.3	Bir geomembranda, sızıntının delikten geçip,alt tabakaya yayılımı	39
Şekil 3.4	Madde izoterm standart eğrisi.	51
Şekil 3.5a	Birinci tip adsorbsiyon izotermi.	52
Şekil 3.5b	İkinci tip adsorbsiyon izotermi	52
Şekil 3.5c	Üçüncü tip adsorbsiyon izotermi	52
Şekil 3.5d	Dördüncü tip adsorbsiyon izotermi	53
Şekil 3.5e	Beşinci tip adsorbsiyon izotermi	53
Şekil 4.1	Düşen seviyeli permeabilite deney aparatı	56
Şekil 4.2	İstanbul'daki aktarma istasyonları ve depo sahalarının konumu.....	61
Şekil 4.3	Zeolite ait X-Ray deney verileri	62
Şekil 4.4	Zeolite ait X-Ray deney verileri	63
Şekil 4.5	Bentonite ait X-Ray deney verileri.....	64
Şekil 4.6	Bentonite ait X-Ray deney verileri.....	65
Şekil 4.7	Bentonite ait X-Ray deney verileri.....	66
Şekil 4.8	Bentonite ait X-Ray deney verileri.....	67
Şekil 4.9	Bentonite ait X-Ray deney verileri.....	68
Şekil 4.10	Taban külüne ait standart proktor deneyinden elde edilen su muhtevası eğrisi	71
Şekil 4.11	Elek analizinden elde edilen zeolite ait granülometre eğrisi	73
Şekil 4.12	Elek analizinden elde edilen taban külüne ait granülometri eğrisi	74
Şekil 4.13	Düşen seviyeli permeametre deney düzeneği.....	75
Şekil 4.14	Malzemelerin ağır metal adsorblama kapasitelerinin, Atomik adsorbsiyon spektrometrede ölçümü.....	77
Şekil 4.15	Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içeriklerinin birbirleri ile karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.16	Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içeriklerinin birbirleri ile karşılaştırılması.....	85
Şekil 4.17	Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal (Fe)içerikleri.....	85
Şekil 5.1	Taban külü+uçucu kül karışımlarının optimum su içeriklerine karşılık gelen permeabilite değerleri	88
Şekil 5.2	Dane dağılımlarına göre malzemelerin sınıflandırılması	89
Şekil 5.3	Farklı sıkışma basınçları altında, %20 bentonit+zeolit karışımının değişen su muhtevalarında hidrolik iletkenlik değerleri	89
Şekil 5.4	Deneylerde kullanıla Taban külüne ait granülometri eğrisi	90
Şekil 5.5	Oluşturulan tabaka malzemesinin, yapılmış farklı çalışmalarla parmeabilite özelliklerinin kıyaslanması	92
Şekil 5.6	Taban külünün dane çapı 1-5mm. ve 0.1-2 mm iken permeabilite değerleri ile daha önce yapılmış çalışmaların eğri denklemlerinin karşılaştırılması.....	93

Şekil 5.7	Taban kılı ve zeolitin, bentonit karışım oranı ile permeabilite değişimlerinin kıyaslanması	94
Şekil 5.8	Taban kılı, bentonit ve zeolitin sentetik sıvılarla, ağır metal adsorbsiyon kapasitelerinin grafiksel olarak gösterimi	96
Şekil 5.9	Yapılan çalışmanın, daha önce yapılmış başka bir çalışma ile TKN, Fe, Zn, Mn giderme açısından karşılaştırılması	97
Şekil 5.10	Kullanılan tabaka malzemelerinin, sentetik sıvılardaki ağır metal adsorblama (%) oranlarının daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması	98
Şekil 5.11	Doğal zeolitin (homoionic), farklı pH derecelerinde ağır metal giderimi (Mier vd.2000)	99
Şekil 5.12	Ca-bentonit, Na-bentonit ve tabi zeolitin, Pb(NO ₃) ₂ ile adsorbsiyon izotermi (Kaya vd. 2004)	99
Şekil 5.13	Al ve Na baz alınarak, zeolitin iyon değiştirme kapasitesinin incelenmesi (Metaxas vd. 2003)	100
Şekil 5.14	Oluşturulan tabakaların, çöp sızıntı suyundaki kirletici parametreleri tutma oranları (%).....	101
Şekil 5.15	Tabakalardan süzülen çöp sızıntı suyunun, KOİ çıkış konsantrasyon değerleri	103
Şekil 5.16	KOİ ve BOİ değerlerinin, yıllara göre değişiminin incelenmesi.....	104
Şekil 5.17	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, AKM çıkış konsantrasyon değerleri	105
Şekil 5.18	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, TKN çıkış konsantrasyon değerleri.....	106
Şekil 5.19	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Org.N çıkış konsantrasyon değerleri.....	106
Şekil 5.20	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, NH ₃ N çıkış konsantrasyon değerleri.....	107
Şekil 5.21	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Toplam.P çıkış konsantrasyon değerleri	107
Şekil 5.22	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Fe çıkış konsantrasyon değerleri.....	108
Şekil 5.23	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Mn çıkış konsantrasyon değerleri	108
Şekil 5.24	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu Cu, Cr, Cd çıkış konsantrasyon değerleri	109
Şekil 5.25	Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Ni, Zn, Pb çıkış konsantrasyon değerleri	109
Şekil 5.26	Tabakalardan süzdürülen sızıntı suyu ağır metal adsorbsiyonu bakımından, elde edilen verilerin daha önceki çalışmalarla kıyaslanması	110
Şekil 5.27	Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri, sızıntı çıkış suyu sınır değerleri ile deney sonuçlarından elde edilen çıkış değerlerinin karşılaştırılması	112
Şekil 5.28	Taban kılı ve zeolitten süzdürülen çöp sızıntı suyu çıkış konsantrasyonları ile, İSKİ havza içi ve havza dışı atık su deşarj standartlarının karşılaştırılması ..	114
Şekil 5.29	Taban kılı+Bentonit karışımından geçirilen Pb(NO ₃) ₂ çözeltisinin, Pb çıkış konsantrasyon değerleri	115
Şekil 5.30	Taban kılı+% 30 Bentonit karışımının, Pb adsorbsiyon izoterm grafiği	115
Şekil 5.31	İzotermilerin sınıflandırılması	116
Şekil 5.32	Taban kılı+(%30) Bentonit karışımının NH ₃ N, çıkış konsantrasyonunun incelenmesi	117
Şekil 5.33	Adsorbsiyon izoterm deneyinin geniş konsantrasyon aralıklarında ki veri grafik yorumlaması	117
Şekil 5.34	Taban kılı ve zeolitin %30 bentonit karışımları ile oluşturulmuş depolama	

	taban malzemesinin uygulanış şeması	120
Şekil 5.35	Odayeri Depolama Alanına ait tabaka malzemeleri teşkil şeması	123
Şekil 5.36 a)	Geomembranın arada konulması	124
Şekil 5.37 b)	Geomembran, geonet ve geotextil'in bir arada kullanılması	124



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Lübnan ve A.B.D'deki ortalama katı atık içeriklerinin kıyaslaması	4
Çizelge 2.2	İstanbul Odayeri Çöp Depolama Alanında ki çöplerin cins ve oranları	5
Çizelge 3.1	Türkiye'deki kömür yakıtlı termik santrallerinin kurulu gücü ve yakıt durumu	27
Çizelge 3.2	Termik santral küllerinin kimyasal analiz değerleri	30
Çizelge 3.3	ermik santral külü ve bağlayıcılar ile hazırlanmış karışımlar üzerinde yapılan permeabilite deneylerinden elde edilen ortalama değerler	36
Çizelge 3.4	Kurulan deney tesislerindeki mevsimsel değerler	43
Çizelge 3.5	Odayeri sızıntı suyu aylık tonaj değerleri.....	44
Çizelge 3.6	Finlandiya ve Orta Avrupa ülkelerindeki sızıntı suyu karakteristikleri	45
Çizelge 3.7	UK ve ABD'de sızıntı sıvı içeriklerindeki metal iyon değerleri	46
Çizelge 3.8	Bazı Akdeniz ülke ve şehirlerinde mevcut çalışmalardan elde edilmiş sızıntı suyu karakteristik özellik değerleri.....	48
Çizelge 3.9	(İtalya) Pomezia atık depolama alanına ait kimyasal değerler	49
Çizelge 3.10	Sızıntı suyu karakteristik örnekleri	50
Çizelge 4.1	Malzemelerin pH değerleri.....	69
Çizelge 4.2	Malzemelerin organik madde içerikleri.....	69
Çizelge 4.3	malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içerikleri.....	70
Çizelge 4.4	Taban külü ve Zeolit Bentonitle belirli oranlarda karışımları ve elde edilen permeabilitedeğerleri.....	76
Çizelge 4.5	İnceltilmiş Taban külü ve Zeolit Bentonit karışım ve permeabilite değerleri.....	76
Çizelge 4.6	Malzemelerin ağır metal adsorblama kapasitesi.....	77
Çizelge 4.7	Çöp sızıntı suyu ile tabakalardan geçirilen süzöntü suyu konsantrasyonlarının karşılaştırılması.(12.08.2003 tarihinde elde edilen deney sonuçları)	78
Çizelge 4.8	Odayeri düzenli katı atık depolama alanında ki çöp sızıntı suyunun,oluşturulan depolama taban malzemelerinden süzdürüldükten sonra, elde edilen çıkış suyu parametreleri.....	79
Çizelge 4.9	Adsorbsiyon izotermi Pb girişi ve çıkış konsantrasyon değerleri	80
Çizelge 4.10	Taban külü+(%30) Bentonit karışımının NH ₃ N adsorblama kapasitesinin, izoterme göre incelenmesi.....	81
Çizelge 5.1	Taban külünün dane çapı 1-5mm. ve 0.1-2 mm iken permeabilite değerleri ile daha önce yapılmış çalışmaların karşılaştırılması	91
Çizelge 5.2	Oluşturulan tabaka malzemeleri permeabilite değerlerinin, geçirgenlik süreleri ile depolama alan ömrünün tesbit edilmesi	95
Çizelge 5.3	Kullanılan tabaka malzemelerinin, sentetik sıvılardaki ağır metal adsorblama (%) oranlarının daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması	97
Çizelge 5.4	Çöp sızıntı suyunun, taban malzemelerinden süzdürüldükten sonra, elde edilen çıkış suyu parametreleri.....	101
Çizelge 5.5	Odayeri düzenli depo sahası sızıntı suyu özellikleri	102
Çizelge 5.6	Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri, sızıntı çıkış suyu sınır değerleri ile deney sonuçlarından elde edilen çıkış değerlerinin karşılaştırılması	111
Çizelge 5.7	Atık suyu deşarj standart limit değerleri ile deneylerde iki ayrı tabaka malzemesinden süzdürülen sızıntı suyu çıkış konsantrasyon verilerinin kıyaslanması	113
Çizelge 5.8	Oluşturulacak taban malzemesini bir araya getirecek malzemelerin birim fiyatları.....	119
Çizelge 5.9	Kullanılacak malzemelerin birim hacim ağırlıkları ve yoğunlukları.....	119
Çizelge 5.10	Oluşturulan depolama taban malzemelerinin fiyat analizleri	121

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımı, başından sonuna kadar, gerek yönlendirmeleri ile, gerek yaptığı bilimsel katkı ve destekleri ile bana yol gösteren Prof. Dr. Mustafa Öztürk'e, yine bilimsel katkıları ile yardımcı olan Prof. Dr. Lütü Akça' ya teşekkür ederim. Tezimin oluşmasında ve her aşamasında değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Yar. Doç. Dr. İler Aydınol Türkoğan' a, doktora öğrenciliğim boyunca desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ferruh Ertürk' e teşekkürü bir borç bilirim. Doktora çalışmamın tez safhasına kadar, destek ve yönlendirmeleri ile bana yol gösteren, ilk danışman hocam, Prof.Dr. Necdet Aral' a çok teşekkür ederim.

Ayrıca yapılan bu tezin, deneysel çalışmaları iki ayrı bilim dalı laboratuvarlarında gerçekleştirildiğinden, öncelikle, Zemin Mekaniği Laboratuvar deneylerinin oluşumunu sağlayan ve bilimsel katkılarını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Murat Mollamahmutoğlu' na ve laboratuvar deneylerinin yapılmasına yardımcı olan Araştırma Görevlisi Yüksel Yılmaz' a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Yine Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında gerçekleştirdiğim tüm deneysel çalışmalarda yardım ve tecrübelerinden faydalandığım, Uzman Uğur Kurt' a, Öğretim Görevlisi Dr. Ahmet Günay ile, Dr. Yaşar Avşar, ve diğer Bölüm Araştırma Görevlilerine teşekkür ederim.

Başta, yaptıkları tüm fedakarlıklarla beni bu günlere ulaştıran, değerli Anne ve Baba'mla birlikte, doktora öğrenciliğim boyunca, gösterdikleri sabır ve anlayışla, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Eşim ve Kızım' a ve ailemin tüm fertlerine gönülden teşekkür ederim.

ÖZET

Atık sahalarında fazla miktarlarda üretilen termik santral taban külleri, bertarafı konusunda, ülke ekonomisi ve çevre sağlığı açısından büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu malzemeyi yine atık olarak depolama yerine, sahip olduğu adsorblama ve permeabilite özellikleri artırılarak depolama geçirimsiz tabaka malzemesi oluşturulması, bu çalışmanın asıl hedefini oluşturmaktadır.

Bu kapsamda, yapılan deneysel çalışmalarda, bilinen en iyi bağlayıcı malzeme olan bentonit ve yine en iyi adsorbentlerden biri olan zeolitle, belirli oranda karıştırılmış, fakat taban külü ile zeolitin dane yapıları fiziksel yönden birbirine benzediği için, bir arada tutunabilme özelliğinin kaybolduğu gözlenmiştir. Bundan sonraki aşamalarda; Taban külü+Bentonit ve Zeolit+Bentonit ayrı ayrı karışımlar oluşturularak, öncelikle geçirgenlikleri en düşük permeabilite değerini verecek en optimum karışım oranları tesbit edilmiş, daha sonra adsorblama kapasiteleri zamana karşı oluşabilecek değişimler gözlenerek, adsorbsiyon izotermi incelenmiştir.

Sonuç olarak, şu ana kadar incelenen literatürde, özellikle taban külüne ait en düşük permeabilite değeri 1×10^{-5} cm/sn. olduğu tesbit edilmiş ve yapılan bu tez çalışmaları ile daha da düşürülmüş, aynı zamanda taban külü,%30 oranla bentonitle karıştırıldığında $8,1 \times 10^{-8}$ cm/sn'lik bir geçirimsizlik değerine ulaşılmıştır. Yine %30 bentonit katkılı zeolit karışımında $1,2 \times 10^{-7}$ cm/sn'lik permeabilite değerine ulaşılmıştır. Ayrıca, hem oluşturulmuş sentetik sıvılarla, hemde İstanbul Odayeri Düzenli Çöp Depolama Alanından getirilen çöp sızıntı suyu ile yapılan deneylerde, her iki malzemenin de adsorblama kapasitesinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan ağır metallerin gideriminde, özellikle taban külünün son derece etkili olduğu gözlenerek, bu oluşturulacak taban malzemelerinin aynı zamanda endüstriyel veya tehlikeli atık depolama alanlarında da kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Termik santral taban külü, bentonit, zeolit, hidrolik iletkenlik, adsorbsiyon izotermi, , düzenli depolama alanı taban malzemeleri, ağır metal giderimi.

ABSTRACT

In this thesis, it is aimed that bottom ash produced in large quantities from the electric power plants in Turkey as a waste product is used at waste disposal areas as liner material by improving its interent properties instead of dumping them here and there.

In this content, iniatly bentonite, one of the strongest binding and zeolite as a good adsorbent are mixed at certain contents. After that, the hydraulic conductivity of bentonite+bottom ash and bentonite+zeolite mixtures at their optimum moisture contents are determined at different properties of mixtures and suitable mixtures giving the lovest acceptable permeability value are obtained. Thereafter, adsorbsiyon izotherm also examined by taking into account the possible variation of adsorbtion capacity with time.

As a result, 30 percent bottom ash with mixed bentonite samples gives rise to $8,1 \times 10^{-8}$ cm/sec permeability value whereas 30 percent bentonite mixed zeolite samples have a permeability value of $1,2 \times 10^{-7}$ cm/sec. In addition leachates from sanitary landfills of İstanbul and chemical solution formed in the laboratory are passed through those specimens mentioned above in order to determine adsorbtion capacity. It is observed that both specimens have a good adsorbtion capacity. Furthermore, bottom ash+bentonite mixtures are more effective than bentonite+zeolite mixture in removing heavy metals from solutions through them. Therefore, it is suggested that bottom ash+bentonite mixtures may be as a liner material in hazardous waste disposal areas.

Keywords: Electricity power plant bottom ash, bentonite, zeolite, sanitary landfill liners, hydroulic conductivity, adsorbsion isotherm, municipal solid waste, heavy metal removal.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Anlam ve Önemi

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

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

Düzenli bir depolama alanı için depolama tabanını, oluşturacak alt ve üst geçirimsizlik tabaka kalınlığı laboratuvar ve arazi çalışmalarıyla belirlenmektedir. Belirlenen alt ve üst geçirimsizlik tabakasının kalınlığı, çöp suyunu yeraltı zeminine ve yağmur sularını depolama alanına sızdırmayacak şekilde olmalıdır. Laboratuvarda yapılan deney sonuçlarına göre belirlenen değerler doğrultusunda, sağlıklı ve düzenli bir çöp depolama alanı dizaynı yapılmalıdır. Düzenli bir depolama alanı ile geri kazanılabilir malzemeler de sistemli bir şekilde toplanarak ekonomiye katkısı sağlanmalıdır. Bunun için önce atık tanımını yaparak, çöpün içeriği, niteliği ve niceliği belirlenmesi gerekmektedir.

1.2 Çalışmanın Gayesi ve Kapsamı

Bu çalışmanın gayesi, düzenli depolama alanlarında geçirimsiz tabaka oluşumunu sağlamaktır. Ancak burada oluşturulacak tabakalar, gerek taban astar malzemesi, gerekse ara dolgu malzemesi olsun, kullanılacak maksimum geçirimsizlik ile, kirletici tutabilme kapasitesinin yüksek olması amaçlanmaktadır. Bilhassa materyallerden biri olan taban külünün zaten atık malzemesi olması ve bunun yeniden değerlendirmeye tabii tutulması büyük önem arz etmektedir. Yapılan fiyat analizlerinde de ticari toz bentonit ve zeolit dışında ana (% oranı açısından en fazla miktarı oluşturan) malzeme olan termik santral taban külü, elde edilmesinde hiçbir maliyeti olmayan, sadece depolama tabanı oluşturulacak alana kadar

getirilmesi için yapılan taşıma ve inceltme için öğütme giderlerinden ibaret olmasıdır. Bu giderinde minimuma indirgenmesinde, özellikle yaygın bir şekilde bulunan termik santrallerinin, her bölgeye veya şehre en yakın santralden bu külleri temin edilmesi ile sağlanabilmektedir. İnşaat sektöründe bazı alanlarda katkı malzemesi olma dışında pek kullanım alanı olmayan taban külünü, atık yerine atıkları düzenleyen ve geçirimsizliği sağlandıktan sonra, bilhassa sızıntı sıvısını temizleme özelliği ile gayet iyi bir depolama malzemesi olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Atık sahalarında gerek endüstriyel atıklar ve gerekse evsel atıklar için düzenlenen depolama alanlarında, elbette ki geliştirilmiş yeni teknolojilerle geçirimsiz yapay tabakalar oluşturulabilmektedir. Bunlar geomembranlar olup, aslında bu malzemelerin sanıldığı kadar mükemmel olmadığı gözlemlenmiştir.

Yapılmış tüm çalışmalar gösteriyor ki, bu alanda daha önceki çalışmalarda çok farklı malzemeler kullanılmış olsa da, en iyi ve en ekonomik sonuçları veren malzemeler;

Taban külü; Atık olarak üretimi fazla, fakat bertarafı konusunda ise az imkanları olan bir malzeme olup, bilhassa oluşturulan taban malzemelerinde karışım oranı en fazla yüzdeyi tutması ve nakliyesi hariç, elde edilmesi az bir maliyete olmaktadır.

Bentonit; Geosentetik ürünlerin içeriğinde dahi kullanılan, hem şişme hemde hidrolik iletkenlik açısından en iyi performansı veren malzemedir.

Zeolit; Oluşturulacak tabakaların mukavemeti ve hidrolik iletkenlikleri açısından en iyi sonucu veren karışım olduğu gözlenmiş, fakat oluşabilecek sızıntı suyunun konsantrasyonunda değişiklik yapmak (atık sıvısının içeriğini değiştirmek) için bilinen ve gözlenen en iyi katyon değiştiricilerden biri olan “Zeolit”i” üçüncü bir malzeme olarak karışıma gerektiğinde ayrı bir tabaka oluşturulmasında, katılmasına karar verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda da, bu üç malzemenin en iyi permeabilite değerini ve en optimum maliyeti veren bentonit karışım (%) oranı belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen taban külü + bentonit ve zeolit + bentonit karışımlarından, önce laboratuarda hazırlanan sentetik sıvılar, daha sonra çöp sızıntı suları filtre edilerek çıkış suyu konsantrasyon değerleri, hem biyolojik, hemde kimyasal yönden arıtılıp arıtılmadığı gözlenmiştir. Elde edilen veriler farklı çalışmalarla kıyaslanıp, uygulanabilirliği tartışılarak gerekli değerlendirme ve öneriler oluşturulmuştur.

2. KATI ATIKLARIN TANIMI ve DÜZENLİ DEPOLAMA METODLARI

2.1 Katı Atık Tanımı ve Karakterizasyonu

Katı atığın içeriği, esasen üretildiği ortamın, sosyo-ekonomik durumu, coğrafi konumu, mevsimsel şartları, atığın toplama ve depolama metotları, örnekleme ve sınıflandırma yöntemlerine bağlı olarak değişiklik arz etmektedir. Ayrıca bu durum gelişmiş, gelişmekte olan ve geri kalmış ülkelere göre oldukça farklılıklar göstermektedir. Gelişmiş ülkeler, katı atık bertaraf yöntemlerini geliştirmekte olan mukayese edildiğinde oldukça iyi şartlara ulaştırmışlardır. Öncelikle atığın üretilmesini engelleyici yöntemler geliştirmişler, buna göre tüketim malzemelerinin üretim ve ambalajlama safhalarında geri dönüşüm esasına dayanan uygulamalara geçilmiştir.

Daha sonra gerek evsel, gerekse endüstriyel atıkların toplanmasında ayrıştırma metodunu uygulayarak, çöplerin daha atık sahasına gelmeden, organik ve inorganik kısımlar kendiliğinden sınıflandırılmış olmaktadır. İnorganik kısımlar, kullanılabilir olanları ikincil üretime kazandırılmak üzere ilgili firmalara gönderilirken, organik kökenli atıklarda kolayca çürüyebileceği veya kompostlaştırılabileceği ünitelere gelerek bir başka ürüne dönüştürülmektedir. Böylece her türlü atık, yeniden değerlendirilerek ülke ekonomisine katkı sağlanmış olmakta, hem de gereksiz ve inorganik kirliliğe yol açacak atıklar karışık halde depolanıp, fazla depolama alanına ihtiyaç duyulması önlenmektedir. Bu konuyla ilgili olarak yapılan araştırma çalışmasında, gelişmiş bir ülke olan A.B.D de bir atık sahasıyla, gelişmekte olan ülke Lübnan (Beyrut) da katı atıkların türleri ve içerikleri incelenmiş, kıyaslama yapılmıştır (El-Fadel vd., 2002).

Buna göre oluşturulan Çizelge 2.1' de atık karakteristikleri karşılaştırıldığında, özellikle kağıt atıkları A.B.D.'de Lübnan'ınkinden 5 kat daha fazladır. Aynı şekilde metal atıklar ve bahçecilik ürünleri oldukça fazladır. Buna karşın Lübnanda, bilhassa yiyecek (organik) atıkları A.B.D.'ye nazaran 4 kat daha fazla olmaktadır. Yine plastik, naylon ve cam ürünleri de 3-6 katı fazladır.

Çizelge 2. 1 Lübnan ve A.B.D'deki ortalama katı atık içeriklerinin kıyaslaması
(El-Fadel vd, 2002)

<i>Atık Cinsi</i>	<i>Miktarı</i> (%) <i>A.B.D.</i>	<i>Lübnan</i>	
		1. Bölge	2. Bölge
Kağıt/Karton	42	11,3	12,57
Yiyecek atıkları	17,9	-	-
Dokuma/Konfeksiyon/Tekstil	5,2	4,2	0,69
Cam	-	5,6	3,71
Plastik/Naylon	4,5	11,0	11,69
Metaller	11,3	2,9	2,3
Ağaç/Ahşap	4,5	-	0,3
Bahçe artıkları	14,6	-	-
Diğer	-	2,6	0,41
Ortalama nem içeriği (%)	20-30	60	75

Görüldüğü üzere, Lübnan'da ülkemizde olduğu gibi özellikle organik içerikli atıkların daha yüksek oranda olması, dolayısıyla nem yüzdesini de 2-3 kat daha artırmıştır. Ülkemizde bu durum incelendiğinde, bu hususta en iyi örneklemeyi verecek olan yaklaşık 12 milyon nüfusa sahip bir metropoliten olan İstanbul şehrini baz alındığında; Avrupa ve Anadolu yakasında toplanan günlük çöp miktarının 9.000-10.000 ton katı atık (çöp) olduğu görülmektedir (İstaç A.Ş. tanıtım broşürü 2002).

İstanbul'da çıkan çöplerin içeriği semtlere ve mevsimlere göre değişiklik arzetsede, ortalama değerler, Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 İstanbul Odayeri Çöp Depolama Alanında ki çöplerin cins ve oranları
(İstaç A.Ş tanıtım broşürü)

<i>Organik madde</i>	42,97
Kağıt	7,76
Plastik	4,8
Naylon	9,37
Tekstil	5,36
Cam	6,2
Metal	5,8
Çocuk bezi	8,46
Kül v.d.	9,28

2.1.1 Katı atığın boyut ve kütle dağılımı

Öncelikle katı atık sahalarının dizayn ve işletilme proseslerinde, atığın içerdiği yeniden işlenebilir doğal malzemelerin avantajlarının çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Aslında toplum açısından da atıl hale gelmiş ham maddelerin gerek geri dönüşümle gerekse yeniden kazanma açısından üretime katılması ihtiyacı doğmuş, böylelikle doğada azalmaya başlayan ürün hammaddeleri tekrar değerlendirilerek büyük ekonomik kazançlarda elde edilmesi sözkonusu olmuştur. Bunun için öncelikle, atık maddelerin, parça karakteristiği çıkarılmış ve buna göre, atığın şekli, büyüklüğü, ağırlığı ve hammaddesi belirlenerek, kendi aralarında sınıflandırılmaya tabi tutulmuştur (Blottnitz vd., 2002).

Katı atığın parça boyutlarının karakterize edilmesi

Öncelikle katı atıklarda, parça boyutlarının anlamlı bir şekilde tarif edilecek olursa;

1. İnsan yapımı malzemelerin şekilleri genellikle karmaşık olmakta, eleme yöntemiyle boyutların ayrıştırılması, örneğin belli gözenek büyüklüğüne sahip eleğin alt ve üstünde kalan parçacıkların ayrımı,
2. Parçaların büyüklükleri en büyükten en küçüğe doğru karşılaştırma yapılarak bir sıraya konulması,
3. Yumuşak malzemelerin, kauçuk, tekstil v.b. atıklardan gelen ürünleri ayırt edip, bunları farklı mekanlarda koruyucu malzeme olarak kullanıma kazandırmak,

4. Atık işleme yöntemlerinde objelerin karşılaştırılmasında, bilhassa eleme metodunda, elek standartları belirlenmeli ve düzenlenmeli, sadece 80 mm elek üstünde kalan parçacıklar üretime geri kazandırılmaktadır,

5. Son olarak, katı atıkların fiziksel tanımlanması ile ilgili yaklaşımlar, özel temeller ve kurallarla – malzeme ilişkisine dayandırılmaktadır (Alman standardı DIN 220/9 bölüm 1 (1985)).

Kütlesel karakterizasyon

Atık parçacıklarının kütlesel ayrıştırılması ise, boyutsal ayrıştırmadan daha fazla önem kazanmıştır. Özellikle ikincil üretime katılabilir atıkların, boyutundan ziyade kütlesi, içerdiği malzemenin kalite ve türünü belirlemede esas alınıp, çoğunlukla da kütlege ağır olan materyaller (cam, maden, plastik v.s.) ikincil üretime kazandırılabilir nitelikte olduğu gözlenmiştir (İSTAÇ A.Ş. Faaliyet Raporu-2002).

Yapılan bu çalışma incelendiğinde ve ülkemizdeki belli başlı (düzenli depolama) alanlar gözlemlendiğinde özellikle katı atık depolanmasında, çöp içeriğinin, gerek hacimsel, gerek kütlesel ve boyutsal açıdan nedenli önem arzettiği görülebilmektedir.

Çöp (atık) içeriği, dünya standartlarıyla, Türk standartları karşılaştırıldığında, öncelikle coğrafi ve iklimsel farklılık ve buna bağlı olarak tarımsal ürün (desen) farklılığı öne çıkmakta, ikinci ve daha önemli ayrıcalık ise, kültürel ve eğitimsel farklılıkla birlikte buna bağlı gelişen ekonomik ve politik farklılıklar dikkati çekmektedir.

Her şeyden önce Türkiye coğrafi konumu, özellikle batı ve kuzey Avrupa ülkelerine nazaran çok yağmur alan bir ülke değildir. Dolayısıyla son yıllarda kurak kışlarında etkisiyle yağış ve kar suları çöp depolama alanı üzerindeki etkisini yitirmiştir. Diğer bir açıdan ülkemizde iklimsel farklılığa bağlı olarak, ekin ve ürün çeşitliliği ve bolluğu, Avrupa ülkelerine nazaran daha fazladır. Özellikle yaz aylarında güney ve güneydoğu sahillerinde, Ege ve Marmara bölgesinde sıcak ve ılıman iklimin hakim olması sebebiyle sebze ve (bol su içerikli) meyve çeşidi fazla olmakta ve bol tüketilmektedir.

Asıl önemli olan faktör ise, halkımızın, eğitimsizliğinden kaynaklanan, yanlış alım, yanlış kullanım, yanlış saklama koşulları ve çöplerin ayrıştırılmadan hepsi bir arada atılma alışkanlığı, ne yazık ki bu problemi çöp depolama alanına dek büyüterek getirmektedir. Tüm bunlara ek olarak, uygulanan yanlış politikalar veya başka bir deyişle kısa vadeli çıkarlar sebebiyle, özellikle çevresel etkinlikleri içeren yeni kanun ve yönetmeliklerin düzenlenip,

uygulamaya (yaptırım gücünün artıran cezai müeyyideleride) koyulmaması sorunu çözülmez hale getirmektedir.

Çöp depolanması, işletilmesi ve yönetimi ülkemizde belediyelerce yürütülmektedir. Ülke çapında yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, gelişmiş ülke standartlarında bir atık işletim ve yönetim programını uygulayan şehirlerimiz yok denecek kadar az sayıdadır. Bu konuda en iyi uygulamayı koyan İstanbul Büyükşehir belediyesi olmuştur. Öncelikle literatürde katı atık işleme ve yönetme prosedürlerine uygun depolama alanları tarif edilecek, daha sonra bu bilgiler ülkemizdeki ana kentlerde bulunan depolama alanlarıyla kıyaslanacaktır.

2.2 Katı Atık Depolama Alanı

Güvenli ve uzun bir zaman için katı atıkların boşaltımını yapacak, uygun bir işletme yöntemi katı atık yönetiminin önemli bir dalıdır. Katı atık yoketme; atık bileşiminde geri dönüşümün olmaması ve kullanılan maddelerden arta kalanların yeniden depolanıp, uygun yok etme yöntemidir.

Eski dönemlerde bu uygulama, genellikle toprak yüzeyinde gelişi güzel yığınlar oluşturma (vahşi depolama) veya deniz ya da okyanuslara atmak gibi çevreye doğrudan zararlı etkileri olacak şekilde yapılmaktaydı. Günümüzde atıkları; ya atık olmadan önce geri kazanma yöntemine başvurulmakta ki, bu yöntem kaynakta veya merkeze geri dönüşümlü olabilecek (kağıt, cam, maden, ağaç vs) maddeleri çöpten ayırıp, bunları ikincil bir üretime katılması sağlanılmakta, ya da uygun alanlarda zeminin kazılıp katmanlar halinde atıkların istiflenip, alt ve üst tabakaların geçirimsiz yapay malzemelerle örtülmesi ile elde edilen düzenli katı atık depolama sahalarında yok edilmesidir. Modern bir atık depolama sahasının, planlaması, düzenlemesi kurulması ve işletilmesi, değişik bilimsel, mühendislik ve ekonomik prensipleri içeren uygulamaları kapsamaktadır.

2.2.1 Katı atıkların bertarafında kullanılan depolama metotları

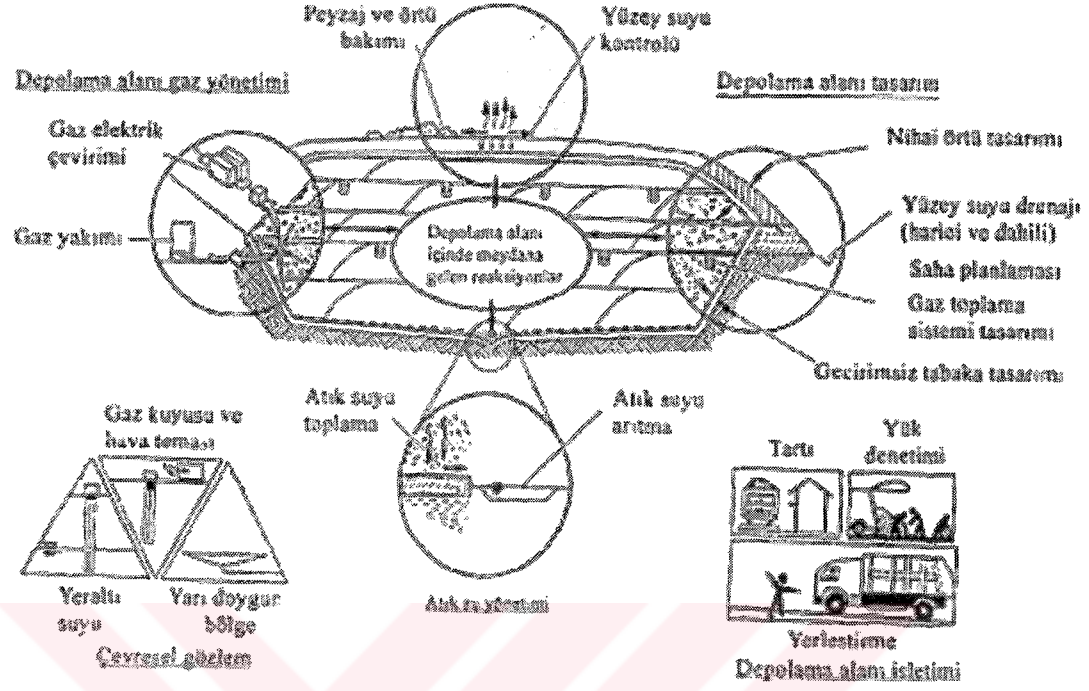
Zeminde atık depolama; yerkabuğunun yüzeyindeki zemine artık maddelerin katı olarak boşaltılıp, depolanması şeklinde fiziksel bir işlemdir. Geçmişte “sıhhi depolama (sanitary landfill)” terimi, katı atıklar konulduktan sonra her günün sonunda üzerinde kaplanan bir depolama alanını belirtmek üzere kullanılırdı. Günümüzde bu terimin anlamı ise; (Evsel) katı atıkların yok edilmesi için, halk sağlığına ve çevresel etkilerini minimize edecek şekilde düzenleme ve işletme yapacak bir mühendislik görevini ifade etmektedir. Zehirli atıkların

boşaltımında kullanılan depolama alanları “güvenli depolama alanları” olarak adlandırılmaktadır (Tchobanoglous vd., 1999).

Hücre veya odacık (cell) terimi ise; atık materyal hacminin genellikle bir gün içinde, içine doldurulduğu zemin odacığı olarak tarif edilebilir.

Bir hücre doldurulmuş katı atık içerip, üzerine günlük örtü malzemesi serilir. Günlük kaplama (Daily cover) genellikle doğal zemin (toprak) veya alternatif malzemelerle (kil tabakalar, geomembranlar v.s.) her işlem sonunda doldurulan alanın yüzeyi kaplama işine denmektedir. Günlük kaplamanın (örtünün) amacı; atık maddelerin rüzgarla uçuşmasını engellemek, fare, sıçan, uçucu haşarat v.b. hastalık yapıcı faktörlerin depolama alanına giriş ve çıkışını önlemek ve işletme süresince depolama alanına su girişini kontrol altında tutmaktır (Mc Bean vd., 1995). Lift, depolama alanının aktif sahasında, hücrelerin tamamlanmış tabakalarına denir. Tipik depolama alanları, yükseltisi fazla ise bunlar bir seri liftlerden oluşmuştur. Depolama alanının tabanında biriken sıvıya da “sızıntı (veya süzüntü) suyu” denir. Derin depolama alanlarında bu sıvı orta noktalarda toplanmaktadır. Genel de sızıntı suyu atıkların kimyasal bozunmasıyla çökmesinden dolayı oluşan süzülme, kontrol edilemeyen yüzey akışı ve sulama suyundan depolama alanına gelen sızmaların bir sonucu olarak oluşmaktadır. Aynı zamanda, en az yeryüzüne sızan su kadar- katı atık içinde de bulunan su, sızıntı suyuna dönüşmektedir. Sızıntı suyu, eriyebilen, çözünebilen maddelerden türeyen değişik kimyasal bünyeler içermekte ve bunun sonucu, depolama alanı içinde kimyasal ve biyokimyasal çoğalmadan dolayı reaksiyonlar oluşmaktadır (Mc Bean vd., 1995).

Depolama alanındaki gaz ise; çeşitli gaz karışımlarının var olmasıdır ki buda; içeriğinde metanın (CH_4) ve karbondioksitin (CO_2) bulunmasıdır. Depolama alan gazının diğer bileşikleri, atmosferik nitrojen, oksijen, amonyak ve eser (iz) organikler içermektedir. Depolama tabakaları (tabi ve yapay) katmanlar halinde olup, en alt tabana ve ara katlara serilir. Tabakalar, genellikle kil ve/veya geomembran katmanlardan oluşan malzemeler olup, özellikle sızıntı suyunun ve depolama gazının yer değiştirmesini, hareketini önlemek üzere dizayn edilirler (Mc Bean vd., 1995). Depolama alanını kontrol yöntemi, tabakaları, sızıntı suyu toplama ve uzaklaştırma üniteleri, gaz toplama ve uzaklaştırma sistemleri ile günlük ve son kaplama (örtü) tabakalarının seçimini içermektedir. Tüm bu süreçleri çevresel açıdan gözlemlenmede ise, depolama alanından elde edilebilecek (toplanacak) sızıntı suyunun ve gazın niceliğini ve niteliğini analiz ederek depolama alanı içindeki oluşan aktiviteleri izlemesini sağlamaktadır. Şekil 2.1’de depolama alanındaki her bir ünitenin işlevi açıklanmıştır.



Şekil 2.1 Depolama alanı işletme ve yöntemlerinin kesitsel açıdan tanımlanması (Mc Bean vd., 1995).

2.2.2 Katı atık boşaltımı için depolama alanının hazırlanması

Sürecin ilk adımı, depolama inşası için sahanın hazırlanmasıdır. Varolan drenajın, yüzeysel akışların depolama alanına girmemesi için doğrultusunun değiştirilmesi gerekmektedir. Drenajın yeniden yönlendirilmesi özellikle saha içinde kanallar açmak önemli bir su seti oluşturabileceğinden, küçük su olukları büyük önem arz etmektedir.

Ek olarak, depolama arazisinin drenajı (oluklama işlemi), öncelikli olarak doldurulan depo alanına gelebilecek suyun yönünü kendiliğinden değiştirmiş olacaktır. Diğer sahada hazırlanan görevler, giriş yollarını ve ağırlık (depolamaya gelen atık ağırlığını) ölçme teçhizatını ve koruyucu çitleri tesis etmektir. Bir sonraki aşama ise; yan alanların ve depolama tabanının hafriyatla kazılarak hazırlanmasıdır. Modern depolama alanları tipik olarak bölmeler (hücreler) halinde inşa edilirler. Odacıklarla çalışmak, sadece küçük bir parça muhafazasız alan yüzeyinde işlem yapmayı sağlar. Buna ilaveten kazı işlemi, bütün depolama tabanını bir seferde hazırlamak (kazmak) yerine, sürekli devam edilmektedir (Mc Bean vd., 1995).

Kazılan hafriyat malzemesi, hafriyat yapılmamış zeminin üzerinde, çalışılan sahanın yanına stok (depo) edilebilir ve kazıda çökme problemi bu şekilde minimize edilmiş olur. Vadose zon (yer altı yüzeyi ile, yer altı suyu akım alanı arasındaki bölge) ve yeraltı suyu izleme teçhizatları, depolama alanı kaplama tabakası serilmeden önce tesis edilmelidir. Depolama tabanı, sızıntı suyunu drene etmeyi sağlayacak şekilde dizayn edilmeli ve geçirgenliği düşük bir tabaka (kaplama) serilmelidir. Sızıntı sıvısı toplama ve gaz toplama sistemleri, bunların içinde veya serilen tabakanın üstüne tesis edilmelidir. Yatay gaz toplama hendekleri, depolama tabanına tesis edilebilir, özellikle henüz yerleştirilmiş atıktan uçucu organik bileşiklerin (VOC_s) yayılması muhtemelse bu bir problem teşkil edebilir. Bu bileşiklerin ortaya çıkmasını ve yayılmasını en aza indirmek için bir vakum (çekici) yerleştirilmeli ve hava, depolama alanının tamamlanmış kısmına doğru çekilmelidir. Elde edilen gaz, daha sonra kontrol altına alınmış bir düzeneğe yakılmalı ve bu uçucu bileşikler yok edilebilmelidir. Sahaya atık doldurma işlemi başlamadan önce, planlanan sahaya alt rüzgar yönünde bir zemin banketi (rüzgar kırıcı) inşaa edilerek, atıkların uçucu parçacıklarının kontrol altına alınabilmelidir (Mc Bean vd., 1995).

2.3 Türkiye’de Çöp (Katı Atık) Bertaraf Yöntemleri

Ülkemizde gerek coğrafi açıdan, gerekse sosyo-kültürel ve sosyo-ekonomik açıdan, çöp türleri diğer (gelişmiş) ülkelere göre farklılık arz etmektedir. Önceki çalışmalarda da görüldüğü üzere, evsel atıklarda özellikle gıda artıkları (organik kökenli) daha fazla yüzdeye sahiptir. Bunun yanı sıra çöplerin evlerde ayrıştırılmadan karışık şekilde toplanması, içerisinde bulunan madeni, çelik, krom v.b. kaplamalı mutfak veya ev eşyalarının da çöp olarak atılması, her ne kadar “evsel atık” adı altında toplanılsa da, bu bileşikler depolandığında, organik atıkların bozunması (ayrışması) esnasında açığa çıkan sızıntı suları, bu kaplama ve alaşımlı ev eşyalarının da korozyona uğramasını, dolayısıyla organik kirliliğin yanı sıra, inorganik kirliliğe de yol açmaktadır. Ülkemizde karşılaşılan diğer bir önemli çöp bertaraf sorunu da henüz “düzenli katı atık depolama” alanlarına yaygın bir şekilde sahip olamamamızdır.

Ankara’da yapılan araştırma çalışmalarında, Sincan ilçesinde düzenli bir depolama alanı var olduğunu öğrenilmiş, fakat yerinde yapılan incelemelerde bazı hukuki engeller nedeniyle, alt kaplama malzemesi (geomembranlar) serilmiş olmasına karşın, yıllardır tesis tamamlanamadan bekletilmektedir. Ve ne yazık ki zaman ve mevsimsel etkiler nedeniyle önceki yapılmış çalışmalarda zarar görmeye başlamıştır. Ankara çöplerinin büyük bir kısmının boşaltıldığı “Mamak düzensiz (vahşi) çöp depolama alanı, gerek çevreye verdiği

zarar, gerekse bazı önlemlerin alınmaması yüzünden tehlike arz etmesi nedeniyle yıllardır kapatılma çalışmaları sürdürülmektedir.

2.3.1 Mamak Açık (Vahşi) Depolama Alanı

Depolama alanı, şehir merkezine 3 km. uzaklıkta olup, fotoğraflarda da görüntülediği üzere depolama alanının hemen gerisinde konutların yükseldiği görülebilir. Çöpler alana, çöp kamyonlarınca getirip dökülmekte, bundan sonra yapılan tek işlem çöplerin (gelişi güzel) elle ayıklanması olmaktadır. Sırtlarında küfelerle, oldukça sıhhsiz şartlarda çalıştırılan işçiler, çöp yığınlarının ortasında, çöp torbalarını açarak, belli başlı geri dönüşümlü atıkları (pet şişe, kağıt, ahşap, maden v.s) toplamaktadır. Şekil 2.2' de görüleceği üzere ayrıştırılan ve geri kazanıma tabi tutulan çöpler çuvallara doldurulmakta, yeni getirilen balyalama ünitesinde de sıkıştırılarak, ilgili firmalara satılmaktadır. Dikkati çeken bir diğer husus ise, son 10 yıldır Mamak çöp atık sahası ile ilgili, bilhassa gaz sıkışması problemlerinden dolayı, çöp patlama tehlikesiyle karşı karşıya gelindiği bildirilmiştir (Mollamahmutoğlu, 1995).

Son yıllarda alınan bir önlemle belirli aralıklarla açılan kuyulardan gerek çöp sızıntı su çıkışı, gerekse gazı ölçüm aracıyla değerleri alınmaktadır, aynı zamanda da çöp alanının üzerinden geçirilen yüksek gerilim hattı dikkati çekmiştir ki, yetkililer, bu hattın korumasız bir alan üzerinde çok büyük tehlike oluşturduğunu bildirmektedirler. Çöp sahası aynı zamanda (şehir merkezi dışında ki) gecekondu semtine çok yakın bir alanda olup, bu semti besleyen bir dereye, sızıntı sızıntılarını hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan deşarj etmektedir. Şekil 2.2 ve 2.3 de, depo alanının oluşturduğu çöp dağı ve buradan sızan sızıntı suyu deresi görülmektedir. Sızıntı suyu, koyu kahve ve hatta katran görünümünde bir renkte akmaktadır. Çöp içinden elle ayıklamayla belirli oranlarda inört maddeler ayrıştığından, sızıntı su içeriğinde fazla ağır metal konsantrasyonuna rastlandığı belirtilmiştir (Mollamahmutoğlu vd., 2001).



Şekil 2.2 Mamak depolama alanı (rastgele çöp dökümü).



Şekil 2.3 Depo alanının oluşturduğu çöp dağı ve buradan sızan sızıntı suyu deresi

2.3.2 İstanbul büyükşehir belediyesi, Odayeri düzenli katı atık depolama alanı

İstanbul'da Vahşi dökümden kademeli olarak düzenli depolamaya 1995 yılında geçilmiştir. Bu tarihten sonra vahşi döküm alanları birer birer kapatılarak 1998 yılından itibaren katı atıkların tamamen hijyenik bir şekilde düzenli depolama yoluyla bertarafı uygulamasına geçilmiştir. Düzenli depolama alanlarının ilki, Avrupa yakasında Odayeri/Göktürk'de bulunmaktadır. 59 ha'lık bu alanın 25 ha'lık kısmı kullanılmaktadır. Günlük depolama miktarı 6000 tondur. İkincisi ise Anadolu yakasındaki düzenli depolama alanı olup, "Kömürcüoda/Karakiraz" köyü mevkiinde bulunmakta, 61 ha'lık alanın 20 ha'lık kısmı kullanılmakta ve günlük yaklaşık 3000 ton çöp depolanmaktadır (İstaç A.Ş tanıtım broşürü).

Odayeri Düzenli depolama alanının hazırlanışı (İnşası ve tesis safhası)

Öncelikle seçilen alanın nebati toprağı temizlenip yer altı suyu drenajı yapılmıştır. Çevre sularının girmemesi için gerekli tedbirler alınıp, uygun eğime getirilen tabii zemin sıkıştırılıp, sonra iki ayrı kademede, her biri 30 cm kalınlığında iki kil tabakası serilerek (arada bir ıslatılarak) tekrar sıkıştırılmıştır. Bunun üzerine 2 mm kalınlığında yüksek yoğunluklu polietilen folyo kaplanmıştır (Geomembran HDPE). Şekil 2.4 de, Odayeri düzenli depolama alanının hazırlanmış sahasında,geomembranların serimi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Odayeri düzenli depolama alanının hazırlanış safhasında geomembranların serimi

(İstaç faaliyet raporu 2002)

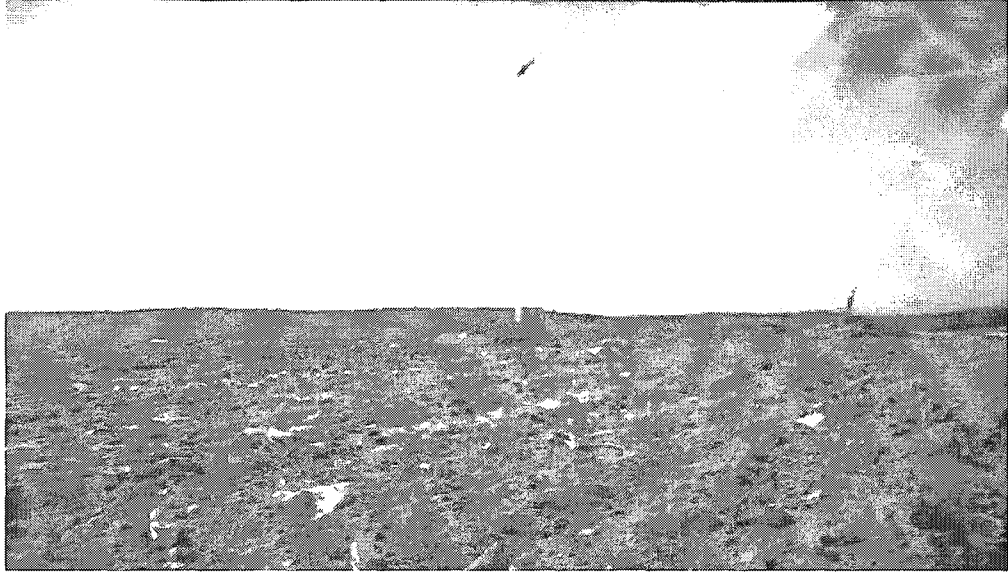
Geomembran üzerine koruyucu tabaka olarak geotekstil (800 gr/m^2) serilmektedir. Bundan sonra tatbikat projesinde hesap edilen çöp sızıntı suyu toplama boruları yerleştirilmektedir. Ardından sahanın tamamında, filtre tabakası olarak granülometrisi ve kalker oranı uygun, ortalama 30 cm kalınlığında çakıl tabakası serilmektedir. Bu düzenleme sonrası, sahaya etkili yarıçapı 50 m olan gaz toplama bacaları yerleştirilmiştir. Yukarıda anlatılan şekilde hazırlanan geçirimsizlik tabakası üzerine ilk yumuşak katı atık (çöp) tabakası 1,5-2 m kalınlığında serilmektedir (İstaç faaliyet raporu 2002).

Döküm alanına getirilen katı atıklar dozerlerle 1/3 eğimde oluşturulan hücre yüzeyine 50-70 cm kalınlığında serilerek kompaktörlerle sıkıştırılmaktadır (Tüm bu veriler yerinde görülüp incelenmiş ve aşağıdaki görüntüler alınmıştır).



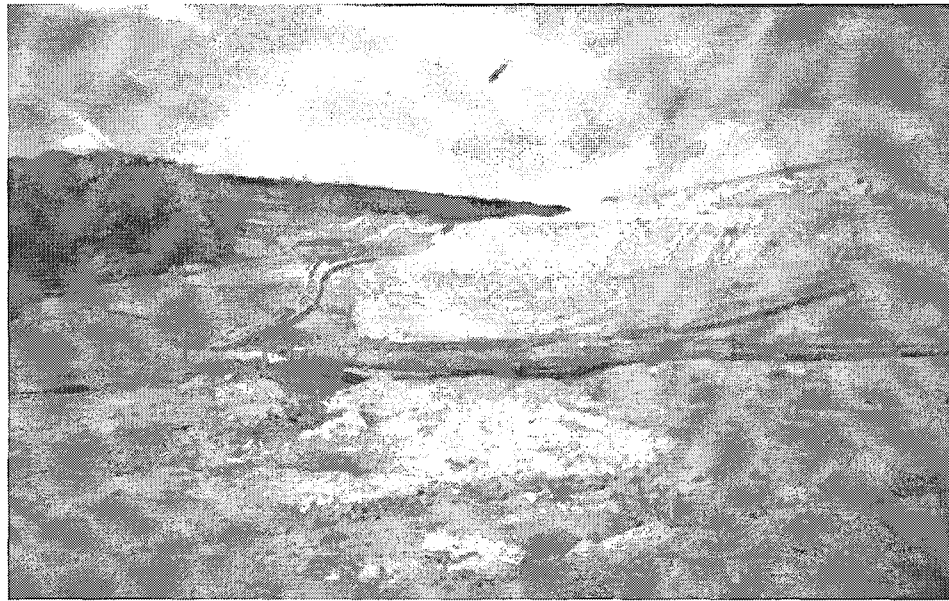
Şekil 2.5 Dökülen çöpün kompaktörlerle alana yayılıp, sıkıştırılması

Böylece aşağıda Şekil 2.6'da görüleceği üzere, çöpün üzerine günlük toprak örtü serilmektedir.



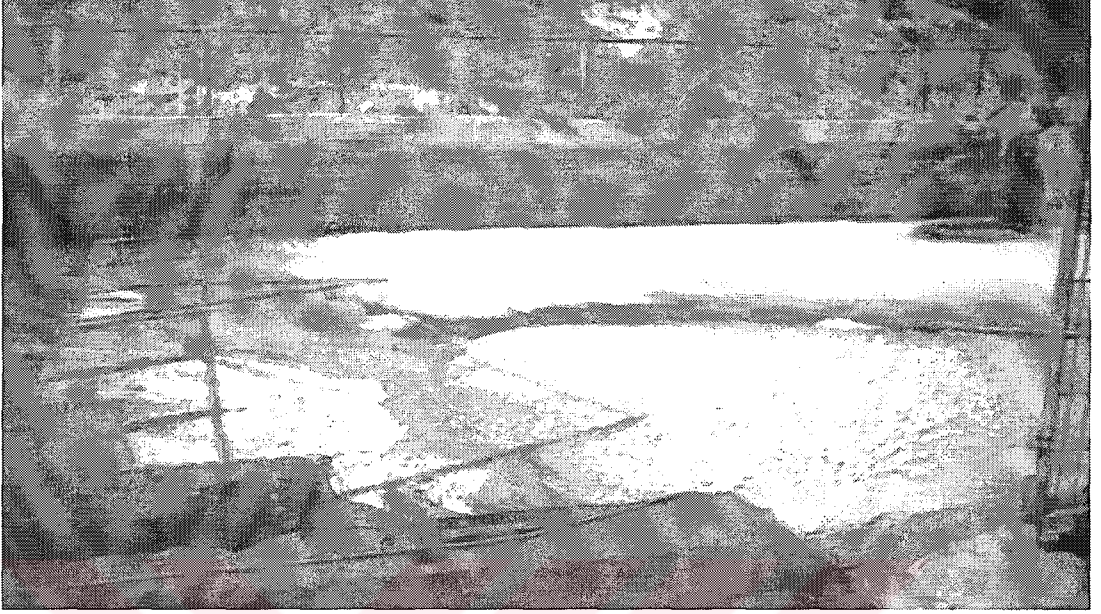
Şekil 2.6 Çöpün üzerine günlük toprak örtünün serilmesi

Bu işlem, alanın nihai kotuna kadar 1/3 eğim tarzına uygun devam edilmektedir. Nihai düzenlemenin arkasından 2 m. kalınlığında kil ve 1 m. kalınlığında toprak serilerek yeşillendirme uygulaması yapılmakta, diğer taraftan, sürekli olarak depolama alanının sızıntı suyu ve gaz çıkışı kontrol altında tutulmaktadır. Sızıntı suyu depolama tabanında dren borularından toplandıktan sonra (Şekil 2.7) ana kolektörlere verilmektedir.



Şekil 2.7 Depolama alanındaki sızıntı suyu ana kolektörleri

Bu kollektörlerde hepsi bir yerde toplanıp, özel olarak tesis edilmiş sızıntı suyu havuzuna (Şekil 2.8) boşalmaktadır.



Şekil 2.8 Sızıntı suyu toplama havuzu

3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALARDA, DEPOLAMA ALANLARINDA TABAKA OLARAK KULLANILAN MALZEMELERİN ve SIZINTI SULARININ İNCELENMESİ

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

Kil, granüler filtre malzemesi, Geotekstil ve kil karışımı, Kil ve geotekstil/geonet karışımı, Kil ve geomembran karışımı, Geomembran ve granüler filtre malzemesi karışımı, Geotekstil ve geomembran karışımı, Geomembran ve geonet karışımı. Öncelikle bu tez çalışmasının inceleme alanı olan Taban kütü, zeolit ve bentonitin, daha önce yapılmış bilimsel araştırmalarda elde edilen genel özellikler aşağıda verilmiştir.

3.1 Ticari Bentonit

Deneylerde kullanılacak “Ticari toz bentonit” adı ile anılan malzeme, aslında bir çeşit “Kil” dir. Bu bağlamda killerin genel olarak yapısının da bilinmesi gerekmektedir.

3.1.1 Kil minerallerinin (minerolojik) özellikleri

Kil minerallerinin büyük bir kısmının kristal kafesleri iki yapısal birimden oluşur. Birimlerden ilki, birbirine yakın sıralanmış iki oksijen yada hidroksil tabakasından oluşan bu iki tabakanın arasında oktahedral koordinasyonlu bir alüminyum, demir yada magnezyum içeren yapıdır. Tek bir oktahedral birimde 6 oksijen yada hidroksil bulunmaktadır. Yapıda alüminyuma bulunduğu, olası boşlukların yalnızca üçte ikisi doldurulabilmekte, böylece gibsit yapısı oluşmaktadır: $Al_2(OH)_6$ Magnezyum arlığında ise yapıdaki pozisyonların tümü dengelenmektedir (Milloc 1970 ve Grim 1967).

İkinci birim yapı ise, silika tetrahedronlarıdır. Silikon atomu, köşelerdeki dört oksijenden (yada yapının dengelenmesine gerek varsa hidroksilden) eşit uzaklıkta ve tetrahedronun ortasında yer alır (Milloc 1970, Grim ve Braje, 1990). Kil minerallerini oluşturan levhalar arasında kimyasal bir bağ mevcut değildir. Levhaların birbirine temas yüzeyleri klavaj düzlemleri olup mineraller kolaylıkla bu düzlemler boyunca ayrılabilir.

Kil minerallerinin şekli ve genel yapıları

Bazı kil minerallerinde (bentonit gibi) bu üniteler arasındaki mesafeler ıslanma ve şişme ile genişler. Diğer bazı killerde (kaolinit gibi) ise üniteler birbirine çok daha sıkı bağlanmışlardır ve çok az bir genişleme gösterebilirler. Kil parçacıkları, tanelerin küçüklüğü nedeniyle çok büyük bir spesifik yüzey sahiptir. Kil parçacıkları her bir parçacığı oluşturan levha şeklindeki

kristal üniteleri arasında da iç yüzeylere sahiptirler. Yani kil fraksiyonunun büyük yüzey alanı sadece parçacıkların küçük oluşundan değil, aynı zamanda sahip oldukları iç yüzeylerden kaynaklanmaktadır. Kil parçacıkları etrafında fazla miktarda su adsorbe edilmiştir. Bu suyun bir kısmı kil parçacıklarına bağlı bulunan katyonların hidrasyonu sonucunda tutulmaktadır. Bir değerlikli katyonlar iki değerlikli katyonlara nazaran daha fazla hidrate olurlar. Ayrıca kil parçacıkları etrafında su tuttukları gibi kristalleri oluşturan levhalarda su tutarlar (Ergene, 1987). Minerallerin minerolojik yapıları; Kil mineralleri, kristal özelliklerine göre genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Saka, 2001).

a.Kaolinit kili: Tüm kil mineralleri gibi kaolinit de bir tabakalı silikattır. Kristal üniteleri, bir gipsit ve bir silika tabakalarının üst üste dizilmesinden oluşur. Her bir tabaka $7,2^{\circ}\text{A}$ kalınlığındadır. Tabakaların yanal boyutları 1000°A – 2000°A ve kalınlığı, 100°A – 1000°A arasındadır ve kaolinitin katyon değişim kapasitesi diğer kil mineral gruplarından daha düşüktür (3-5 mg/100 gr).

b.Montmorillonit kili: Montmorillonit kristali alt ve üstten iki silika tabakası ile kuşatılmış bir gipsit tabakasından ibaret kristal üniterinin üst üste gelmesiyle meydana gelmiştir. Silis ve gipsit tabakaları oksijen atomuyla birbirine bağlanmıştır. Montmorillonit kristalleri iki silika tabakası ve bir gipsit tabakasından oluşan ünitelerden meydana gelmiştir.

c.İllit kili: Doğada en yaygın bulunan kil mineralleridir. Genel yapısı bakımından montmorillonit kiline benzer. Bununla beraber taneciklerin çapı nispeten daha büyüktür. Silis tabakasındaki silisin %15'i alüminyumla yer değiştirir. Potasyum atomlarının kristal üniteleri arasında yer aldığı ve üniteleri birbirine bağladığı kabul edilmektedir.

d.Klonit kili: Yeşil renkli, demir minerali bakımından zengin kil mineralleridir. Bir çok güncel sedimanter havzalarda, topraklarda ve sedimanter kayalarda saptanmışlardır. Hatta bazı çökeltme havzalarının egemen kil minerali olduğu görülmektedir.

e.Halloysit kili: Kaoliniti meydana getiren bileşenlerden oluştuğu kabul edilmektedir. Halloysit beyaz, yeşilimsi ve açık mavimsi renklidir, mavimsi-yeşilimsi taze numuneleri zamanla toz haline gelerek beyazlaşmaktadır.

f.Vermikülit kili: Mikalara benzeyen vermikülit, uzunca bir süre bir trioktahedral mika türü olarak düşünülmüştür. Ancak daha sonra yapılan araştırmalarla bileşimindeki birim tabakaların birbirinden su molekülleri tarafından ayrıldığı saptanmıştır (Saka, 2001).

3.1.1.1 Killerin fiziko-kimyasal özellikleri

a. pH: Yüksek pH değeri kil tanelerini dispers yapmakta ve kil taneleri yüzeyindeki negatif yükü arttırmaktadır. Böylece taneler arasındaki itmeyide güçlendirmektedir. pH değeri, ortamda H^+ veya OH^- iyonlarının bulunma derecesini ifade etmektedir. pH değişimi, zemin/su karışımı oranını önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük pH değeri, toprakta flokulasyonu ve gevşek zemini ifade etmektedir. Yüksek pH değeri ise dispersiyonu ve sıkı zemini belirtir. pH değeri kil tanelerinin adsorpsiyon karakterini etkiler. Asit durumunda adsorpsiyon özelliği artar. Kil tanelerinin köşeleri pozitif yükü yüklenir. pH değerinin düşük olması, kil tane yüzeyinin elektriksel potansiyelini azaltmaktadır (Braja, 1990).

b. Elektriksel iletkenlik: Kil/su sisteminin elektriksel iletkenliği, ortamın elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Kil/su sisteminin elektriksel iletkenliği, karışımdaki iyonları tipi ve sayısı ile ilgilidir. Tane konsantrasyonu artarsa, kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve koloidal tanelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini doğrudan o tanenin yüzey alanı ile ilgilidir. Bu nedenle o tanenin davranışına etki eden elektriksel kuvvetlerin kitle kuvvetlerine göre değeri de tanelerin birim kütlesine düşen yüzey alanı ile ilgilidir. Tane birim kütlesine gelen yüzey alanı tanelerin davranışına etki eden elektriksel yükün mertebesini gösterir (Braja, 1990).

c. Ağır metaller: Metaller, ortam içindeki kil minerallerinin yüzeylerine (katyon değişim kapasitesine göre) yapışarak adsorbe olurlar. Metaller genellikle killere ve organiklere sıkıca bağlıdır. Metal ile kil arasındaki işlemler; metal tipi, zemin tipi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraktaki metal konsantrasyonun ilerlemesi kolaylıkla gözlenebilir. (Braja, 1990).

d. Katyon değişim kapasitesi (KDK): Katyon değişim kapasitesi, izomorfus yer değiştirme kapasitesinin bir ölçüsüdür. İzomorfuz yer değiştirme olayı kristal yapıda herhangi bir değişiklik olmadan iyonların yerlerine eşit veya farklı değerli başka iyonlara bırakmasıdır. Kaolinit kilinde bu tip değişimler az olup kaolinit kil taneciğinin elektriksel yükü göz önüne alınırsa yaklaşık her 400 silikon iyonundan birisinin bir alüminyum iyonu tarafından tutulduğu söylenebilir. Katyon değişim kapasitesi spesifik yüzey alanının artması ile artmaktadır. Katyon değişim hızı mineraline, katyonlarına ve anyonlarına bağlıdır (Braja, 1990).

e. Anyon değişim kapasitesi (ADK): Kil mineralleri, hidroksiller ve organik maddeler üzerine pozitif yükler bulunmakla birlikte, negatif yükler çok daha fazla sayıda olduğundan anyon değiştirme kapasitesi, katyon değişme kapasitesine oranla daha azdır. Bu nedenle anyonların yer aldığı değişim reaksiyonları, katyonları yer aldığı değişim reaksiyonlarından daha az önemlidir (Braja, 1990).

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

3.2 (Tabii) Zeolit

İlk zeolit minerali, İsveç’li mineralog Baron Cronstedt (1756) tarafından bulunmuştur. Bu kristaller ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyun köpürmesinden dolayı Yunanca “Kaynayan Taş” anlamına gelen zeolit adını almıştır. Kristal yapıları x-ışınları kırınımı, IR adsorpsiyonu, NMR, ESR gibi analiz yöntemlerinin gelişmesi sonucu yapılmıştır. Union Carbide Corporation jeologları tarafından 1958 yılında ticari olarak kullanılabilecek tortul kayalar içinde ilk doğal zeolit bulunmuştur (Conner., 1990).

Zeolit; tam anlamıyla çok yönlü bir mineraldir. Tabiatta, 50’den fazla çeşitte tabii mineral grupları bulunmaktadır. Bunlar, özel kristal yapıdan oluşan, gözenekli ama bünyesinde bulundurabileceği su miktarına rağmen bu yapı sağlamlığını koruyabilen minerallerdir. Zeolitler çok amaçlı olarak, farklı alanlarda uygulanabilir. Bu alanlar; su ortamında: balık, üretme çiftliklerinde amonyak tutulması biofiltre ortamlarda, zirai alanlarda, koku kontrolünde, tutulan veya kullanılan hayvanların çevresel kontrolünde, hayvan çiftliklerinde kullanılan besin katkı malzemelerinde, atık su arıtımında, belediye atıklarında ve sularda amonyak giderimi, ağır metal giderimi, septik çamur alanlarında v.b. evsel üretimlerde, evsel koku kontrolünde, evcil ev hayvanlarının kontrolünde, su arıtımında, su filitasyon, ağır metal giderimi, yüzme havuzlarında, endüstriyel üretimde artıkları adsorblanmasında, gazların ayrıştırılmasında gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

O halde, bu kadar çeşitli alanlarda, bu denli çok amaçlı kullanılan zeolitin tam olarak yapısında açıklamak gerekmektedir. Bileşimi, yani terkibi bakımından zeolitler, kil minerallerine benzemektedirler. Çok özel bir durum olarak her ikisinde aliminyum silikatlardan oluşmaktadır (Zeoponix, inc. 2000).

Bunları birbirinden ayıran en önemli fark, sahip oldukları “kristalize” yapısıdır. Bir çok kil çeşidi, tıpkı iskambil destesi gibi çok katlı kristal tabakalardan oluşmakta ve büzülme ve şişme tesiri altında absorblanan su, tabakalar arasında hareket ettirilmektedir. Buna karşın zeolitler sağlam (sert) bir yapıya sahip olup 3 boyutlu kristallerden oluşmakta, tıpkı bal peteğinde olduğu gibi küçük odacıklardan (kafeslerden) ve bunları bir birine bağlayan tünellerden oluşmaktadır. Su bu boşluklarda serbestçe girip çıkmakta, fakat zeolitin bu iskelet yapısı sağlamlığını korumaktadır. Bu yapı hakkında bir diğer özellik ise, boşluk ve kanal boyutlarının aynı oranda olması ve kristallerin moleküler bir elek olarak işlev görmesine izin vermesidir.

Boşluklu zeolit, su moleküllerine ve potasyum, kalsiyum iyonları ve onlar gibi pozitif yüklü diğer değişken iyonlara ev sahipliliği yapmaktadır. Zeolitin bir diğer önemli özelliği ise, katyon değiştirme özelliğine sahip olmasıdır. Bu özellik “katyon değişim kapasitesi” olarak ölçülmektedir. Bunun anlamı kristal yapıdan bir iyonun alınıp, diğerinin yüklenmesi ile oluşan alış veriş demektir. Bu özelliğin ölçülmesi ise “katyon değişim kapasitesi” olarak adlandırılır. Zeolitler yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olup, bir miktar silikatla yapılan çalışmada, alüminyum iyonlarının silikon iyonlarla yer değişiminin oluşum sürecinde artarak devam ettiği gözlenmiştir (ZeoponiX, Ins., 2000).

3.2.1 Zeolitlerin kimyasal bileşimi ve yapısı

Zeolitler, alkali ve toprak alkali elementlerinin kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatları olarak tanımlanır. Adsorpsiyon özellikleri ilginç olan bu kristallerin genel yapısal formülleri;

$M_{x/n} Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$ şeklindedir.

Burada M, n değerlikli bir katyon (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , v.b.) dur. Mol sayılarını gösteren x ve y ise zeolit türüne göre değişir, herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi, SiO_4 yada AlO_4 dörtyüzlüsüdür. Bu dörtyüzlünün merkezinde, oksijenden çok daha küçük olan Silisyum yada Alüminyum iyonu ve dört köşesinde oksijen iyonları bulunur. Silisyum iyonu +4 değerlikli; alüminyum iyonu +3 değerlikli ve oksijen iyonu -2 değerlikli olduğundan, bir silisyum iyonu kendini çevreleyen dört oksijen iyonunun ancak -4 değerliliğini karşılar. Böylece her oksijen iyonunun -1 değeri kalır ve başka bir silisyum iyonu (yada alüminyum iyonu) ile birleşir. Bu şekilde dörtyüzlülerin uzayda zincirleme birleşimlerinden, zeolitin bir bal peteğine benzer gözenek ve kanallar içeren kristal yapısı oluşur. Silisyum iyonunun yerine Alüminyum iyonunun alması sonucu dörtyüzlülerin elektrik yükünün dengelenmesi için ek bir artı (+) yüke ihtiyaç duyulur (Chang vd., 2002).

Bu ek yük, değişebilir katyonlarca (Na^+ , K^+ , Ca^{++}) sağlanır. Zeolitlerin gözenek boyutları kristal yapılarına ve bir dereceye kadar da içerdikleri katyonlara bağlıdır. Çoğu tür zeolitte kristal yapı Si-O-Al atomlarının meydana getirdiği halkalarla bağlanmış gözeneklerden oluşur. Bu halkaların oluşturduğu geçit pencere olarak adlandırılır ve pencere boyutu halkalardaki atom sayısı ile orantılıdır. Pencere 4 ile 12 arasında oksijen iyonu (ve eşit sayıda alüminyum veya silisyum iyonu) içerir. Zeolitlerin kovuk sistemleri, pencerelerle birbirine bağlanmış gözenekler yerine bir kanallar sistemi ile daha iyi tanımlanabilir. Bu durumda kanalların pencere boyutları yine pencereleri oluşturan halkaların eleman sayısına bağlıdır. Zeolitlerin boşluk sistemleri bir, iki yada üç boyutta olabilir (Yörükoğulları, 1997). Zeolitlerin benzer yapıdaki diğer mineral gruplarından ayıran en önemli özelliklerinden biri de yapı içindeki kanallarda su moleküllerinin bulunmasıdır. Yapıda bu su moleküllerinin yer alabileceği birkaç boşluk vardır. Bu boşluklarda, Na^+ , K^+ , Ca^{++} su molekülleri ile çevrilir ve su molekülleri zayıf bağlarla hem artı yüklü katyonlara hemde silikat yapıya bağlıdır. Genellikle kalsiyumlu zeolitler diğerlerinden daha fazla su içerirler. Şabazit, höylandit ve sitbit yapısı içindeki su molekülleri potasyumdan daha çok kalsiyum katyonu ile bağlantılıdır.

Zeolitler ısıtıldıklarında, su moleküllerinin yapısında değişiklik yapmadan, birçok mineralde görülen aksine, belirli sıcaklıklarda, kesikli olarak değil de, sürekli şekilde yapıdan ayrılır. Suyun yapıdan uzaklaşması sırasında, katyonlardan bazıları da dışarı atılırlar. Yapıda elektrik dengesini korumak için bazı katyonlar kanalların çeperlerinde veya kanal yapılarındaki boşluklar içinde yer alırlar ve diğer katyonlarla her zaman yer değiştirebilirler. Su moleküllerinin ve katyonlardan bazılarının atılması kanallardaki tıkanıklıkların giderilmesini sağlar. Ancak tutulan katyonların özellikleri kanal açıklığını büyük ölçüde etkiler. Zeolitlerin kristal yapının belirlediği homojen bir pencereye sahip olduklarından, bir karışım içinde sadece bu pencereden geçebilecek büyüklükteki moleküller adsorplanır, daha büyük boyutlu moleküllü zeolit dışında kalırlar (Chang vd., 2002).

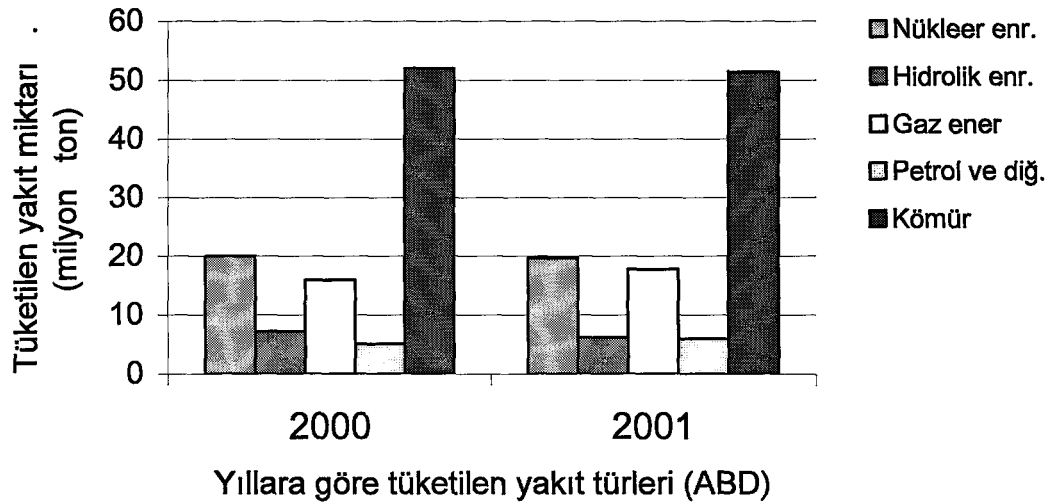
3.3 Termik Santral Taban Külü

Teknolojinin gelişmesi ile hayat standartları da yükselmiş, dolayısı ile gerek evsel, gerek sanayi ve diğer atık cinsleri ve miktarlarında gelişme ve değişme hatta artma göstermiştir. Kullanımdan geçmiş bir madde, atıl hale geldiğinde, özellikle fazla miktarlarda oluşuyorsa, bunun çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi büyük bir problem teşkil etmektedir. Bu sorun ise bilim adamlarını, atıl hale gelmiş maddeleri bir başka maddeye çevirerek veya yine başka kirlenme ortamlarını temizlemek için kullanmak üzere yeniden değerlendirilmesi gündeme getirmeye yöneltmiştir.

Bu bağlamda yine insanlığa hizmet amacıyla kullanılan kömür, özellikle termik santrallerinde kullanımından sonra gerek yakılan, kazan dibinde kalan taban külü (Bottom ash), gerekse bacadan uçup giden gazla tutulabilen uçucu kül (fly ash) olarak büyük miktarlarda atıl malzemeye dönüşmektedir. Hacim itibariyle ele alındığında termik santrallerde yakılan kömürden geriye kalan kül, diğer endüstriyel atıklar arasında birinci sırada yer almaktadır (Buluş, 1998). 1992 yılı itibariyle Türkiye’de kömürle çalışan 12 termik santralin yıllık kömür ihtiyacı 47 milyon tondur. Kömürün yakılmasından geriye kalan külün miktarı kömüre oranla %4-30 civarındadır (Menon vd., 1990 ve Cumpston, vd. 1992). Türkiye’deki termik santrallerde üretilen külün oranı genellikle yüksek olup %17’den (Elbistan Termik Santrali) , %52’ye kadar (Soma Termik Santrali) çıkmaktadır.

Kömür ve dolayısı ile kül üretim boyutlarını şöyle göz atılacak olursa; bu sadece A.B.D.’de kömür üretimi 2001’de toplam 1.121.3 milyon ton olup, 2000 yılından itibaren % 4 oranında artmıştır. Buna karşın kömür tüketimi A.B.D.’de 17.4 milyon tondan, 1.063.5 milyon ton seviyelerine düşmüştür. Kömür tüketiminin % 91’den daha fazlası, elektrik enerji üretme sektöründe olmaktadır (Freme 2002). 969 milyon ton kömür tüketimi yapan Elektrik enerji sektörleri, A.B.D.’deki tüm elektrik enerji üretiminin % 51’ini gerçekleştirmektedir. A.B.D.’de içinde Alabama’yı kapsayan güneydoğu merkez bölgesinin 112.8 milyon ton kömür tüketimi olurken, önceki yıllara göre yaklaşık % 5 oranında bir artış göstermiştir (Edwards J.vd.). Kömürün, özellikle enerji üretim amacıyla sanayilerde yakılmasından iki yan ürün (atık) elde edilmektedir. Uçucu kül ve taban külü. Taban külü, uçucu küle nazaran kaba küle sahip olup kum benzeri bir malzemedir ve kazan tabanından su ile ayrılan kısım olduğundan taban külü denmektedir.

Yine A.B.D.’de ki bir elektrik üretim şirketine (pulliam power plant); yıllık 1.5 milyon ton kömür yakılmakta, yakılan kömürün 60~70 bin tonu uçucu kül, 10 bin ton’u ise taban külünü oluşturmakta, bir diğer üretim şirketine ise (the weston power plant), 2.1 milyon ton yıllık kömür yakılmakta, bundan ise 80~90.000 ton uçucu kül ile 30.000 ton taban külü elde edilmektedir (Wiskonsin public service). Aşağıda, 2000-2001 yıllarında Amerika Birleşik Devletlerinde kömür tüketim oranı, Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Buradan da görüleceği üzere elektrik enerji üretiminde, gelişmiş bir ülke olmasına karşın yine bu ülkede de termik santraller, yani kömür kullanımı yine en yaygın ve diğerlerine göre daha fazla kullanılan enerji kaynağı olup, dolayısı ile atığı da en fazla olan kaynak tipini oluşturmaktadır. Bertarafı konusunda da ne yazık ki tıpkı çöpler gibi gömülme veya yok edilme yoluna gidilmiştir.



Şekil 3.1 ABD.'de 2000-2001 yıllarında, enerji kaynaklarından elektrik üretim sektörlerinin net üretim payı (Wisconsin coal public)

Kömür külü; uçucu kül ve taban külü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Düşük birim hacim ağırlığı, içerdiği bazı iz elementler ve diğer mühendislik özellikleri açısından cazip olması yüzünden, uçucu küller üzerine yapılmış pek çok çalışma vardır (Menon, 1999; Twardowska, 1999; White ve Case 1999; Compton vd. 1992). Türkiye'de yapılmış bir çok çalışmada uçucu küllerin geri kazanılabilir atık maddesi olarak değerlendirilmesi yapılmıştır (Baradan 1984, Nakoman 1988, Bayat 1996; Kayabalı vd. 1998). Taban külü üzerine yapılmış çalışmalar ise oldukça sınırlıdır.

Seals vd.(1972) tarafından yapılan araştırmada taban külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenerek, değişik amaçlı mühendislik çalışmalarında agrega olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Leonards ve Bailey (1982) toz haline getirilmiş kömür külünün yapılarda dolgu maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Taban külünün özgül ağırlığı, F_2O_3 içerdiğinden dolayı yüksek olup, uniformluk katsayısı (Cu) değeride 4,8-26 arasında bulunmuştur. Çalışma sonucunda, taban külünün bir çok uygulama da agrega olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Yalçın ve Mordoğan (1996), Türkiye'deki kömürlü termik santraller ve çevre etkileri hakkında çalışmalar yapmışlar, bu termik santrallerde atık madde olarak çıkan küllerin kullanılabilme imkanları ve bünyesinde bulunan ağır metallerden dolayı meydana gelebilecek çevre problemlerini açıklamışlardır.

Menon vd (1990) uçucu kül ve taban külü ile ıslah edilmiş bitkisel gübrelerden sızan suyun

fiziko-kimyasal karakterizasyonlarını (pH,  ziletkenlik, toplam element konsantrasyonları) belirlenmiştir. Buna göre element konsantrasyonlarının da farklı örneklerde, değişiklikler gösterdiğini saptamışlardır.

Huang ve Lowell (1990), taban külünün dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca atık depolama alanlarının çevresel etkilerini inceleyerek yer altı suyunun kalitesini çok küçük miktarda etkilediği sonucuna varmışlardır.

Simsiman vd.(1982), uçucu kül ve taban külü depolama alanlarında meydana gelen kirlenme ile bağlantılı olarak yeraltı suyu kalitesini araştırmışlardır.

3.3.1 Genel  zellikleri ile termik santral külleri

Termik santrallerde yakılan kömürlerin k l içerikleri önemli ölçüde değişkenlik gösterir. Bu değişkenlik yalnız dünyanın farklı bölgelerinin kömürlerinde değil, aynı zamanda aynı bölgenin kömürlerinde, hatta aynı ocağın değişik damarlarından alınan kömürlerde dahi görülebilir. Bu değişiklik; Külün kaynağını oluşturan kömürün türü ve değişkenliği, kömürün yakılmadan önceki  ğ t lme derecesi, kazan türü, yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametreleri, k l toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişi.

 evre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve bu faktörlerinde zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanmaktadır (Joshi, 1979, Seals, 1977).

Geçmişte uçucu kül genellikle bitümlü kömürlerin yakılmasıyla elde edilmekte iken, günümüzde yarı bitümlü kömür ve linyit gibi kaynaklardan k l oluşumu önemli mertebelere ulaşmıştır. Bu olgunun uçucu kül yapısına, özelliklerine ve çeşitli amaçlarla kullanıldığında davranışına etki büyüktür (Minnick 1979, Faber 1979).

Termik santralde uçucu külün dışında, baca gazlarıyla taşınamayan, yanarak tabana düşen taban külü (linyitli kömürün termik santrallerde yanmasıyla kazan yüzeyinde ısı adsorblayan bölümde oluşur), Siklon tipi kazanlarda yanan kömür külünün ergimesiyle ve suda soğutularak uzaklaştırılması ile oluşan ergimiş k l veya cüruf oluşur. Atıkların yapısına etki eden temel unsur, santralde kullanılan kazan türüdür. Termik santrallerde 2 çeşit kazan kullanılmakta olup, buna bağlı olarak da 2 değişik tip kazan külü ortaya çıkmaktadır. Eğer buhar kazanı kuru tabanlı olarak nitelendirilen tipte ise, oluşan kaba atıklar “taban külü” adını alır. Buna karşılık, ıslak taban veya siklon tipi kazanların dibine düşerek sinterleşen atıklar “kazan altı cürufu”nu oluştururlar. Söz konusu iki atık madde arasındaki en belirgin farklılık, taban külünün tabana düşmeden katılaşması, diğerinin ise ergimiş halde bulunması ve

kazandan sıvı halde uzaklaştırılmasıdır (Nakoman, 1988).

Ergimiş haldeki kül, kazan altında suya bırakılarak soğutulduğunda camsı kristallerden meydana gelen cüruf elde edilir (Moulton 1974, Seals 1977, Usmen 1978). Kazan dibinde bir külhan içine düşen bu malzeme yüksek basınçlı su yardımıyla, gereğinde kırılarak bantlar üzerinde düzenli şekilde kül atma sahalarına taşınır. Taban külü, rengi griden siyaha kadar değişebilen, gayri muntazam şekilli ve gözenekli yüzeye sahip parçacıklardan oluşur. Granülo metrisi kaba partiküllerden, ince partiküllere kadar değişkenlik gösterebilir. Taban külünün yapısı çoğunlukla kabarcıklı olup örnekten örneğe değişen miktarlarda, ezildiği takdirde kum gibi dağılabilen emici partiküller ihtiva eder. Taban külünün aksine, cürufun granülo metrisi ise oldukça üniformdur; özgül ağırlığı da daha fazladır. Ancak, burada sözü edilen kazan cürufu, çelik endüstrisinde elde edilen cüruf ile karıştırılmamalıdır. Esas itibariyle, taban külü ve cürufun kimyasal bileşimleri uçucu külünkine benzer ve zamana ve yere göre değişkenlik gösterir (Usmen 1978). Bu iki atık maddenin de endüstride geri kazanılması ve özellikle yol yapımı başta olmak üzere pek çok alanda değerlendirilmesi mümkündür. Bu nedenle, uçucu külle birlikte taban külü ve cürufun özellikleri, kullanım alanları ve sağlayabilecekleri yararlar konusunda bugüne kadar pek çok araştırma yapılmıştır.

3.3.2 Türkiye'deki kül üretim miktarları

Ülkemizde linyit kalitesinin düşüklüğü kül ve cüruf problemini artırmaktadır. Diğer ülkelerdeki kömür kaliteleri ile kıyaslandığında, konunun önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de kullanılan kömürün ortalama kül oranı % 34 iken diğer ülkelerde bu oran % 12 civarındadır. Ayrıca Türkiye'deki kömürün kalorifik değeri; 1,825 kcal/kg olmasına karşın diğer ülkelerde bu değer asgari 3.000 kcal/kg dır. Bu sebeple, Türkiye'de, aynı miktar enerji üretimi için diğer ülkelere oranla minimum 5 kat fazla kül depolama alanına ihtiyaç vardır. Kül ve cürufun depolama problemi bu tür termik santrallerde genel bir sorundur. Bu sorunun boyutu Çizelge 3.1. termik santrallerin kurulu gücüne bağlı olarak ürettiği kül miktarı açıkça görülebilir (Buluş, 1998).

Çizelge 3.1 Türkiye’deki kömür yakıtlı termik santrallerinin kurulu gücü ve yakıt durumu (Buluş, 1998)

	<i>Kömür yakıtlı termik santraller</i>	<i>1 saatte kullanılan yakıt</i> (ton)	<i>1 yılda kullanılan yakıt</i> (ton)	<i>1 saatte çıkan kül</i> (ton)	<i>1 yılda çıkan kül</i> (ton)
1	Yatağan	900	6300000	225	1580000
2	Afşin-Elbist.	3500	24700000	700	4940000
3	Yeniköy	640	4700000	90	330000
4	Kemerköy	900	6300000	270	1700000
5	Seyitömer	920	6400000	320	2240000
6	Soma A	40	300000	16	110000
7	Soma B	510	10600000	680	4760000
8	Tunçbilek A	90	600000	16	110000
9	Tunçbilek B	300	2100000	120	840000
10	Çayırhan	390	2800000	180	1260000
11	Kangal	650	4600000	160	1120000
12	Orhaneli	260	1800000	80	560000
13	Çatalağzı B	260	1800000	120	840000
	Toplam	10360	73000000	3077	21390000
	Afşin-Elbist. Hariç toplam	6860	48000000	2377	16745000

Bu miktarlar diğer ülkelerle kıyaslandığında yılda 5 kat daha fazla bir miktar ortaya çıkmaktadır. Türkiye’nin, Avrupa Ekonomik Komisyonu’nun verilerine göre 1967 yılı itibariyle kül üretimi 463.000 ton, kullanılan külün üretimdeki payı da %15,4 olarak verilmektedir (Manz, 1970).Türkiye’nin termik santrallerinde üretilen kül miktarı diğer ülkelere kıyasla fazla olmakla beraber, kullanım açısından ülkemiz beşinci sırada yer almaktadır. Türkiye’de çoğunluğu Tunçbilek, Soma ve Çatalağzı gibi termik santrallerde olmak üzere 350.000 ton/yıl mertebesinde uçucu kül üretildiği, bu küllerin siklon ve elektrofiltrelerde toplandığı ve toplam kül üretiminin %10-15’i dolayında da kaba kül elde edildiği belirtilmektedir (Buluş, 1998).

Kül ve cürufun depolanma şekilleri

Termik santral atıklarının belli başlı depolama şekilleri ve Türkiye’den örnekler, aşağıdaki gibidir.

- Boşaltılmış kömür madenine geri vererek (Afşin-Elbistan termik santrali),
- Kül havuzu yaparak, kül tepesi oluşturmak,
- Vadilerde kül barajı teşkil etmek (Çayırhan, Yatağan termik santrali),
- Denizde oluşturulan kapalı havuzlara depolamak (Buluş, 1998).

3.3.3 Termik santral taban külünün özellikleri

Külün sıkışabilirliği ve dayanımı büyük ölçüde kuru yoğunluğa bağlıdır. Geçirgenlik katsayısı da 5×10^{-5} ila 5×10^{-4} cm/sn arasında değişen değerler alır. Taban külü ise belirgin şekilli ve camsı görünüşte tanelerden oluşur. Özellikle kaba tanelerden oluşan bazı türleri kabarcıklı yapıdadır. Puzzolanik aktivite, camsı ince taneli partiküllerle su ve kirecin etkileşimi sonucu oluşur. Taban külünün ince tane oranı, %33-98 ve partiküllerin boyutu 1 inç (25,4 mm)den küçüktür (Leonards and Bailey, 1982).

Huang ve Lovell (1990)’a göre ince tane oranı ise %0-12 arasında değişim göstermekle beraber ince taneli malzemenin plastik özelliği olmayıp nadiren de olsa kaba partiküller (38 mm) içermektedir.

Taban külü kum boyutunda bir malzeme olup üniformalık partiküller (38 mm) içermekte ve üniformalık katsayısı (C_u) = 7-33 arasındadır. Üniform taban külünde ise bu değer 3,7’dir. taban külü içerisinde iri taneli kaba partiküller çakıl boyutunda olup nispeten iyi dereceli çakıl-kum boyutunda malzemedir. Taban külünün özgül ağırlığı ise (ASTM-D 854) 1,94-3,46 arasındadır. Özgül ağırlık kimyasal karbon içeriği düşük özgül ağırlığa işaret eder. Taban külünün fiziksel görünüşü poroz ve mısır patlağı görünümünde, permeabilite değeri ise $5 \cdot 10^{-3}$ - $4 \cdot 10^{-1}$ cm/s arasındadır (Huang ve Lovell 1990).

Taban külünün kimyasal kompozisyonları: Başlıca bileşenleri,

SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O , MgO ve eser elementleridir.

Taban külünün kimyasal bileşimi de uçucu külde olduğu gibi zaman ve yere göre değişiklik gösterir. Kimyasal kompozisyon olarak da başlıca silika ve alüminyumdur. Minerolojik bileşimi ise başlıca kristalin ve camsı içeriklerden ibaret olup camsı içerik %66-88 ve kristalin

yapıda kuvars, manyetit, hematit bulunur (Nakoman, 1988).

3.3.4 Taban külünün mühendislik özellikleri

Taban külü tane boyu ince taneli kumdan – ince taneli çakıla kadar değişmektedir. Özgül ağırlığı Fe_2O_3 içeriğine göre artışlar göstermektedir. Taban külü ve cürufun üniformluk katsayıları ise sırasıyla şu şekildedir (Seals, 1972).

Permeabilite katsayısı $= 2,5 \cdot 10^{-2} - 9,4 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sn}$,

$C_u = 4,8-26$ ve $C_u = 3,8-4,7$ 'dir.

optimum nem içeriği $= \%13,8-26,2$,

maksimum kuru yoğunluk $= 1,139-1,829 \text{ Mg/m}^3$ ($11,17-17,94 \text{ kN/m}^3$),

boşluk oranı (n) $= 0,66-1,05$,

içsel sürtünme açısı (ϕ) $= 38-42,5^\circ$

maximum kuru birim hacim ağırlığı $= 1,086-1,824 \text{ Mg/m}^3$ ($10,65-17,89 \text{ kN/m}^3$) dir.

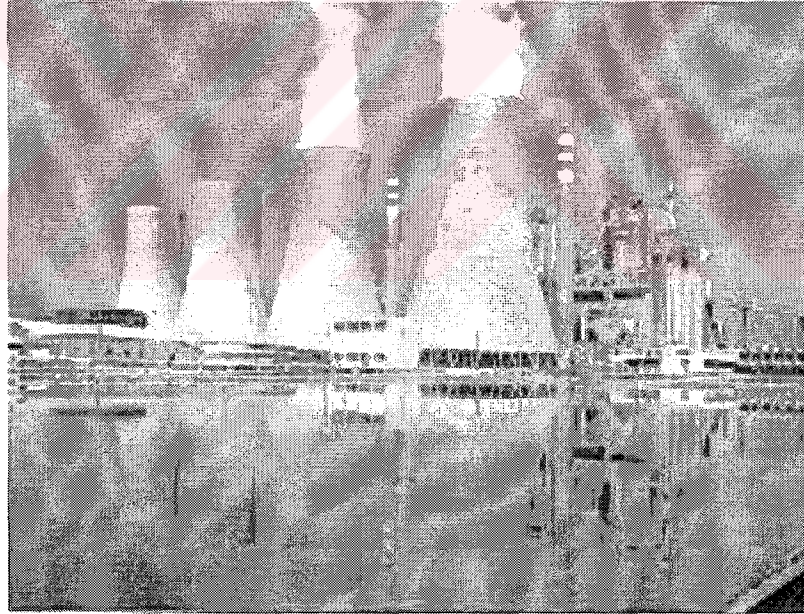
3.3.5 Deneylerde kullanılacak Afşin-Elbistan santrali taban külü

3.3.5.1 Afşin-Elbistan termik santrali

1360 MW gücündeki Afşin-Elbistan termik santrali linyit kömürü ile çalışmaktadır. Bu santralde 18,6 milyon ton linyit tüketilmekte ve 4.960.000 ton kül açığa çıkmaktadır. Termik santral atıkları bantlarla alınan kömür madenine geri verilmektedir. Bölgede litolojik birimler başlıca (yaşlıdan gence doğru) işletme sahasında tabanda üst kretase yaşlı kireçtaşı (pembe ve kristalize) bu formasyonunda üzerinde Neojen formasyonları yer almaktadır. Neojen formasyonları havzanın batı kesiminde yaygın, bazı yerlerde de Kuvaterner yaşlı çökeller tarafından örtülmüş durumdadır. Santral atıkları yukarıda bahsedildiği gibi, alınan linyit madenine geri verildiğinden kireçtaşı biriminin üzerinde yer almaktadır. Yer altı suyu bulundurmak potansiyeli olan kireçtaşı biriminin üzerinde atıklardan dolayı kirlenme sözkonusu olabilir (AEL, 1994).

Çizelge 3.2 Termik santral küllerinin kimyasal analiz değerleri
(TEAŞ'ın analiz sonuçlarından derlenmiştir)

Kimyasal İçerik	Afşin-Elbistan	Sınır değerleri
SiO ₂	15,14	20-60
Al ₂ O ₃	7,54	10-35
Fe ₂ O ₃	3,30	5-35
CaO	23,66	1-20
MgO	4,5	0,3-4
Na ₂ O	0,28	1-4
K ₂ O	0,57	1-4
SO ₃	13,22	0,1-12
TiO ₂	1,03	-



Şekil 3.2 Afşin-Elbistan Termik Santralinden bir görünüş

3.4 Doğal Materyallerle Oluşturulan Taban Malzemelerinin İncelenmesi

Atık Çamuru ve Kalıp Kumu Kullanılarak Oluşturulan Tabakaların İncelenmesi

Saka (2001) yaptığı çalışmada, Eczacıbaşı Fabrikasından temin edilen atık çamuru ve Toprak Demir döküm Fabrikasından temin edilen kalıp kumu kullanılmıştır. Bu atıklar, kireç, zeolit gibi ilave malzemelerle belirli oranlarda karıştırılmıştır. Sonuç olarak; laboratuarda yapılan stabilizasyon çalışmaları sonucunda, en iyi mukavemeti değerini atık çamuru + kalıp kumu (%20) + kireç (%10) karışımı verdiği belirtilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi karışımlar olarak, atık çamuru + kalıp kumu (%20) + zeolit (%10) karışımı ve atık çamuru + kalıp kumu (%20) + zeolit (%10) + geomembran karışımı verdiği belirtilmiştir.

Kum, bentonit, tabii zeolit ve mikroçimento ile oluşturulan tabakaların tehlikeli (sıvı) atıkların etkisi

Tehlikeli atıkların zemin tabakalarının permeabilitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi için yapılan başka bir araştırma çalışmasında (Kayabalı vd., 2000), altı farklı katı (zemin) çeşidi test edilmiştir. Karışımlar daneli kum ve kırılmış (ufalanmış) tabii zeolit içermektedir. Bağlayıcı malzeme olarak çeşitli yüzeylerde Bentonit ve mikroçimento kullanılmıştır. Deneylerde permeabiliteyi ölçmek için Deri Endüstri sıvıları ve Belediye atık sıvıları gibi yüksek asidik sıvılar geçirgen (akışkan) olarak kullanılmıştır. Test etmede, kompaksiyon (mold) akım ölçer ve düşen seviyeli akım ölçer sistemleri kullanılmıştır. Buna göre elde edilen veriler, % 5 Bentonit ve kum karışımının, optimum su içeriği ile sıkıştırılmasından istenilen (güvenilir) sonuçlar elde edilmemiştir, çünkü bu oranlardaki karışımın çok yüksek permeabilite (sızma) sı olduğu gözlenmiştir. Deri Endüstrisi atık sıvısı kullanılarak, karışımların permeabilitesi (sızdırmalılığı) gözlenildiğinde değerler 10^{-5} den 10^{-9} cm/s ye arasında değişmekte olduğu gözlenilmiştir (Kayabalı vd., 2000). Sonuç olarak; Kum + Bentonit karışımında; bentonitin kum'a olan oranı azaldıkça (Bentonitin %'desi düştükçe) yüksek asidik çözeltilerin permeabiliteye olan etkisi arttığı, deri endüstrisi sıvı atıkları ve evsel sıvı atıkların ise, karışımların permeabilitesi üzerinde önemli derecede etki yapmadığı gözlemlendiği belirtilmiştir. Test edilen karışımlar arasında, %15 Bentonit + Kum ile %Bentonit + tabii zeolit karışımlarının yüksek asitle çözeltilere karşı duyarlı olabildiği görülmüş, her ne kadar mikroçimento, zemin iyileştirme çalışmalarında iyi bir geçirimsiz malzeme olarak bilinse de, kum ve tabii zeolitle karıştırılarak kullanılmasında, hidrolik iletkenliklerinde istenilen sonuçlar elde edilemediği belirtilmiştir.

Uçucu kül ve Bentonit'in atık depolama sahalarında taban veya üst kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği

Bu çalışmada (Mollamahmutoğlu vd., 2001), bağlayıcı malzeme olarak kullanılacak toz bentonitin şişme kabiliyetinin olumsuz şekilde etkilenmemesi amacıyla, bünyesinde en az miktarda Ca bulunduran düşük kireç oranlı, F tipi Çatalağzı uçucu külü ve bentonit birlikte kullanılmıştır.

Deney bir ay boyunca yürüterek, karışımların nihai permeabilite değerlerinde, saf Çatalağzı uçucu külü için, ortalama 1.0×10^{-5} cm/s, %10'luk karışım için 7.3×10^{-6} cm/s ve % 30'luk karışım için ortalama 3.0×10^{-6} cm/s olarak elde edildiği belirtilmiştir. Ulaşılan sonuç, % 20'lik bentonit-Çatalağzı uçucu külü karışımının atık depolama sahalarında taban kaplama malzemesi olarak gerekli kriterleri sağladığı ancak, kimyasal sıvılar altında permeabilite değerlerinde artma eğilimi gösterdiği tesbit edildiği belirtilmiştir (Mollamahmutoğlu vd., 2001).

3.4.1 Katı atık sahalarında, taban malzemesi olarak doğal zeolitlerin kullanılması

Aydemir, vd.(1999) yaptıkları çalışmada, özellikle Gördes ve Bigadiç yöresine ait doğal zeolitlerle, Eskişehir yöresi Bentoniti kullanılmıştır. Çalışmada, katyon değişim kapasitesi yüksek olan zeolitlerin katı atık sahalarında sentetik geomembranlara alternatif astar malzemesi olabilirliği araştırılmıştır. Zeolit/Bentonit oranı 0,10 olarak alınmış ve bu karışım sonucunda yapılan deneylerde hidrolik iletkenlik değeri 6×10^{-7} cm/sn ve etkin katyon değişim kapasiteside 134 meq/100 g olarak tayin edilmiştir. Tüm çalışma sonunda da tavsiye edilen, özellikle sentetik (geomembran) malzemelerin ekonomik olmaması sebebiyle, yukarıdaki değerleri veren Zeolit/Bentonit karışımı geçirimsiz taban (astar) malzemesi olabileceği öngörülmüştür.

Kayabalı,. (1997) yaptığı çalışmada, farklı bir depolama taban malzemesi olarak bentonit ve inceltirilmiş zeolit, mühendislik yönünden incelenmiştir. Burada baz alınan tabi zeolit türü balıkesir yöresi, gördes zeolitidir. Yine bu çalışmada da zeolitın dane boyutu 0.075-2 mm. arasına indirildiği belirtilmiştir. Bentonit katkısı, % 5 ila % 40'a kadar değişen oranlarda kullanılmış ve B/Z karışımına ait permeabilite değerleri ise, 2×10^{-8} ila 4×10^{-8} cm/sn. arasında değerler verdiği belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada, zeolit ve bentonitin iyon değiştirme kapasiteleri incelenmiş ve bentonite ait iyon değiştirme kapasitesinin 55-60 meq/100 gr.iken, zeolit ile belirli oranlarda karıştırıldığında bu kapasite ancak 0.05-0.1 oranında arttığı belirtilmiştir. Ayrıca oluşturulan bu taban malzemesinin, esnek ve granül olması sebebi ile

hem dış, hemde iç basınç kuvvetlerine daha dayanıklı olacağı, özellikle bentonit katkı oranı % 0.5 iken kohezyon ve basınç dayanımı 20 kPa olup, bentonit katkı oranı % 40'a kadar çıkarıldığında bu değer 210 kPa'a ulaştığı belirtilmiştir.

Zeolitle yapılmış bir diğer çalışma ise, Mier, vd. (2000) tarafından gerçekleştirilmiş olup, doğada en yaygın şekilde bulunan doğal zeolit çeşidi olan klinoptilolit kullanılmıştır. Farklı pH değerlerinde ağır metal giderim kabiliyetleri incelenmiş ve düşük pH (asidik) ortamlarda, Pb ve Cd giderimi oldukça yüksek olduğu ancak, Cr ve Fenol gideriminde en fazla %35 başarı sağlandığı belirtilmiştir.

Otal vd., (2003) yaptığı çalışmada, hem doğal zeolitle, hemde uçucu külden elde edilmiş sentetik zeolitle, atık sulardaki Pb, Zn ve Ni ağır metallerin giderimi incelenmiştir.

Kaya. vd., (2004), Ca-Bentonit, Na-Bentonit ve doğal zeolit oluşturulan malzemelerin adsorbsiyon kapasitelerini incelemiş ve zeolitin $Pb(NO_3)_2$ adsorbsiyon değerlerinin, Ca-Bentonit ve Na-Bentonit'e göre çok daha düşük olduğu belirtilmiştir.

3.4.2 Termik santral taban küllerinin kullanım alanlarını incelenmesi

Türkiye'de yapılan bir çalışmada, yeni bir beton katkı maddesi elde edilmesi araştırılmıştır. Buna göre, bor tuzu yani kolomanit (Kütahya-Emet), uçucu ve taban külleri (Seyitömer termik santralinden), Klinker ve cipsiyumun oluşturduğu Çimento malzemesi (Balıkesir) bir araya getirilerek, farklı oranlarda karıştırılmış sonucunda çimento malzemesinin özelliklerine etkileri incelenmiştir (Kula vd., 2001). Sonuç olarak bor tuzu ve demir filizi ile karışımlara nazaran, portlant çimentosunun gerek uçucu kül ile gerekse taban külü ile yaptığı karışımların basınç dayanımlarının en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir.

Taban külünü içine alan diğer bir çalışma ise Tayvan'da gerçekleştirilmiş olup (Lin vd., 2002), bir termik santralde kullanılan Linyit kömürünün taban külü, adsorblama özellikleri incelenmiştir. Buna göre, Cu_2 ve KOI içeren sentetik (yapay) atık su solisyonu ile bir depolama alanından alınan (doğal) sızıntı suyu adsorbent olarak kullanılmıştır. Deneyler değişik faktörler (zaman, pH, ilk solisyon konsantrasyonları, sıcaklık v.b) altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; kömür taban külü, özellikle Cu_2 ve KOI içeriği açısından oldukça iyi sayılabilecek adsorblama kapasitesine sahip olup, aynı zamanda sızıntı sıvılarında da değişik kirleticilerin konsantrasyonlarını indirgeyebildiği gözlenmiştir. Taban külünün her bir gramının adsorblama kapasitesi;

Cu₂ için 0,48 mg

(pH 4’de ve 25° sıcaklıkta)

KOI için 7,5 mg

(pH 5’de ve 25° sıcaklıkta)

olduğu belirlenmiştir. Diğer bir işleme tabii tutulan sızıntı suyunda da, taban külünün adsorblama özelliği gözlemlendiğinde, KOİ, NH₃N, Toplam Kjeldah Nitrojen, Fosfor, Fe⁺³, Mn⁺² ve Zn⁺² değerlerinin konsantrasyonları da oldukça etkili yüzdelere indirildiği belirtilmiştir. Bu çalışma sonucuna göre, termik santrallerinde kullanılan kömürün taban külünün, özellikle atık su ve sızıntı sularındaki kirletici konsantrasyonlarını indirgeme ve adsorplama özelliğinden dolayı atık su arıtımında kullanılabilirliği tavsiye edilmiştir.

Yine aynı deney grubunca (Lin vd., 2001), yapılan bir başka çalışma da bu kez üç farklı termik santralden alınan taban külü, sütun (kolon) ve kısım deneylerinde kullanılarak adsorblama kapasiteleri kıyaslanmıştır. Burada adsorblama yapılacak maddeler, hidrojen sülfat gazı ve üç ayrı depolama alanında toplanan sızıntı sularının konsantrasyonları olmuştur. Yapılan deney sonuçlarına göre, kömür taban külü atık gazdan her bir gramı için 10.5 mg H₂S, giderebilmekte, yine işlemde geçirilmiş sızıntı sularından da, özellikle KOİ % 36.4~50, NH₃N % 24.2-39,4, toplam kjeldhal hidrojeni % 27-31.1, P % 82.2-92.9, Fe⁺³ % 93.8-96.5, Mn⁺² % 93.7-95.4 ve Zn⁺² % 80.5-82.2 değerleri arasında etkili bir şekilde giderilebildiği gözlemlenmiştir.

Her ne kadar sızıntı sularında kül dozajı arttıkça, kirletici konsantrasyon gideriminin etkisi artsada, diğer taraftan taban külünün kütle yüzdesinin adsorblama etkisi (kapasitesi) azaldığı belirtilmiştir. Ancak bu çalışmada sadece ağır metal giderim kapasiteleri incelenmiş olup, permeabilite özelliği araştırılmamıştır (Lin vd., 2001).

Çin’de yapılan bir araştırmada (Wang. vd., 1999), Çin’de bulunan bir termik santralden ham kömür, uçucu kül ve taban külleri alınıp, aynı zamanda laboratuvar şartlarında kömürün 850° C’de yakılmasıyla elde edilen yapay küller kullanılmıştır. Bu hem doğal ortamdan alınan hemde yapay oluşturulan küllerden ve ham kömürden, farklı pH değerleri altında çeşitli sızıntı suları süzdürülmüştür. Daha sonra süzülen sıvıdaki iz elementler, süzme işleminden önceki sıvı konsantrasyonlarıyla kıyaslanmıştır. Buna göre; zamana bağlı olarak ham kömürden süzülen sızıntı suyunda, özellikle Zn (çinko) değeri sürekli olarak yükseldiği belirtilmiştir. Diğer elementler (Sr, Ni) belli bir süre konsantrasyonları artıp, daha sonra azalmaya başladığı, yine laboratuvar şartlarında oluşturulan (yapay) kömür külünün verdiği sonuçta Zn zamanla konsantrasyonunu arttırdığı belirtilmiştir. Buna karşın taban külü ve uçucu külle yapılan deneylerde, As, Sr ve Ni elementlerinin konsantrasyonları belli bir zamana kadar artma

eğilimi gösterdiği, daha sonra azalmaya başladığı ve her iki deneyde Pb değeri zamana göre doğrudan azalma gösterdiği belirtilmiştir. Buna göre, özellikle uçucu kül ve taban küllerinin zehirli etkisi bulunan As, Ni, Zn, Pb, eser (iz) elementlerinin konsantrasyonlarını indirgeme özelliklerine sahip olduğu belirtilmektedir (Wang vd., 1999).

Edil vd.(2000), F ve C tipi uçucu kül ile taban külü ve kumu belirli oranlarda karıştırarak depolama tabaka malzemesi oluşturmuşlar ve buradan çıkan sonuçta, permeabilitede istenilen veriyi elde edilemediği, yani 10^{-7} değerine yaklaşılamadığı görülmüştür. Bu defa uçucu kül oranı % 20-30 arttırılmışsa da yine bu değere ancak yaklaşılmış ama tam olarak 10^{-7} değeri elde edilememiştir. Buna ise, karışım su içeriğinin, optimum su muhtevassından yüksek olmasının sebep olduğu düşünülmüş, daha sonra küllerin karışım oranları değiştirilmiş, % 38 C sınıfı uçucu kül ve % 31 taban külü (kumun yerine) ve geri kalan miktar içinde F tipi uçucu kül kullanılmıştır.

Ayrıca bu yapılan çalışmanın saha uygulamalarında, yüksek geçirgenlik riskinin daha da artabileceği ve özellikle uçucu külünün tabaka halinde kullanımında bilhassa Cr ve Se gibi metallerin sızıntı suyu bünyesine geçebileceği öngörülmüştür (Edil vd., 2000).

Avrupa ülkeleri ve ABD'deki uygulamalarda ise, kömür küllerinin önemli bir bölümü düzenli depolama (sanitary landfill) alanlarında depolanmaktadır. Bu da, atık depolama alanlarının özel jeolojik şartları gerektirmesi, depolama masraflarının ekonomik açıdan fazla oluşu, depo yerinde fazla yer işgal etmesi ve farklı atık türleriyle etkileşimle çevreye zarar verebilmesi nedenlerinden dolayı, depolanacak atıklarının miktarının asgariye indirgenmesini zorunlu kılmaktadır. Buna binaen yapılan çalışmalarda bu malzemeyi hem çevreye zarar vermeden depolayacak, hemde atıl halden faydalı bir malzemeye dönüştürecek çalışmalara yönlendirmişlerdir. Özellikle uçucu ve taban küllerinin düzenli depolama alanlarında geçirimsiz taban malzemesi olması yakın zamanda gündeme getirilmiş ve yapılan araştırmalarda bu tür çalışmalar yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Yapılan bu tez çalışmasına ışık tutabilecek en yakın araştırma, Buluş (1998) yaptığı çalışma olup, burada dört değişik termik santralden (Afşin-Elbistan, Çayırhan, Çatalağzı, Yatağan) alınan taban külünün, düzenli depolama alanlarında dolgu malzemesi ve taban astarı olabilirliği incelenmiştir. Taban küllerine bağlayıcı olarak Ticari toz bentonit, sönmüş kireç ve doğal kil malzemesi ilave edilmiştir. Bağlayıcı maddeler ile farklı oranlarda karıştırılan taban külü üzerinde sıkıştırma (standart proctor) ve titreşimli tokmak deneyleri yapılmıştır. Yine oluşturulan bu düzenden sızıntı sınırları geçirilerek konsantrasyonları kıyaslanmıştır. % 12'lik bentonit katkısı ile, % 20'lik kil katkısına ait deneysel veriler ve sonuçları Çizelge

3.3 'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere, her bir santral külü farklı pH değerlerinde etkili olmakta, bu sonuçlara göre de, Elbistan taban külünün %12'lik bentonit katkısı ile yaptığı karışımın, diğer santral küllerine göre daha iyi sonuç verdiği ve süzülen suyun çıkışındaki kimyasal element konsantrasyonlarının daha az olduğu gözlenmektedir. Yine elde edilen verilerden çıkarılabilecek sonuçlar şunlar olup; Karışımların en düşük permeabilite değerleri, (10^{-5} cm/sn) yüksek bentonit ve doğal kil oranlarının kullanıldığı durumlarda ve en yüksek permeabilite değerleri (10^{-3} cm/sn) düşük sönmüş kireç oranlarının kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir. Genel olarak karışımların ortalama permeabilite değerleri 10^{-4} cm/sn civarındadır. Bu çalışmada en son varılan sonuç ise taban külü + bağlayıcı (kil + sönmüş kireç) karışımlarının hidrolik iletkenliklerinin yüksek oluşundan dolayı katı atık depolama sahalarında astar olarak kullanılmaya pek fazla elverişli olamadığı görülmüştür (Buluş, 1998).

Çizelge 3.3 Termik santral külü ve bağlayıcılar ile hazırlanmış karışımlar üzerinde yapılan permeabilite deneylerinden elde edilen ortalama değerler (Buluş, 1998)

Bağlayıcı cinsi	Bağlayıcı (%)	ÇATALAĞZI	ÇAYIRHAN	ELBİSTAN	YATAĞAN
BENTONİT	4	$1,8 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-4}$
	8	$3,4 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-4}$
	12	$1,4 \times 10^{-4}$	$6,1 \times 10^{-4}$	$2,8 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-4}$
	16	$6,3 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{-5}$	$5,8 \times 10^{-4}$	$6,2 \times 10^{-5}$
	20	$1,4 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-4}$
SÖNMÜŞ KİREÇ	4	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-4}$
	8	$5,6 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-3}$	$9,4 \times 10^{-4}$	$5,7 \times 10^{-4}$
	12	$1,4 \times 10^{-4}$	$6,0 \times 10^{-4}$	$6,5 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-4}$
	16	$2,8 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	$6,5 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-5}$
	20	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$
KİL	5	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-4}$	$9,4 \times 10^{-4}$	$8,8 \times 10^{-4}$
	10	$5,6 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$	$7,1 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-4}$
	15	$2,4 \times 10^{-4}$	$4,4 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$	$6,4 \times 10^{-5}$
	20	$2,8 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$5,5 \times 10^{-5}$
	25	$2,8 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$6,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$

3.5 Kullanılan Yapay Malzemeler

Zemin davranışını iyileştirme amacıyla kullanılan bütün sentetik (yapay) malzemelere geosentetik denmektedir (Rowe, 1998). Geosentetik türlerinin başlıcaları; geotekstil, geomembran, geonet (geoağ), geohasır, geokompozittir. Geotekstiller, geçirimli ve esnek malzemelerdir. Özellikleri, mekanik olarak çekme dayanımını, gerilme-deformasyon özellikleri, sünme, delinme dayanımı, yırtılma dayanımı ve patlama dayanımıdır. Ayrıca U.V. ışığı, ısı, su, kimyasal madde ve mikroorganizma açısından dayanıklıdır. Bunun yanında geotekstillerin kalın türleri drenaj ve geomembranların delinmeye karşı korunması için kullanılır. Geomembranlar, geçirimsiz ve esnek malzemelerdir. HDPE'nin kimyasal etkilere ve U.V. ışınlarına dayanımı, arazide birleştirmenin kolay oluşu, farklı kalınlıklarda bulunabilmesiyle düşük maliyetli olması nedeniyle sık kullanılır (Ruhl vd, 1997).

Ayrıca, PVC (polivinil klorür) geomembranları da düzenli depolamalarda kullanılır. HDPE, kimyasal maddelere yüksek dayanımları nedeniyle taban kaplamasında daha çok kullanılır. Depolama alanlarında geomembranlar düşük geçirgenliğe sahip olduğundan, örtü tabakalarında yer altı suyuna sızıntının önlenmesinde taban ve üst örtü tabakasında sızdırmazlık için kullanılır. Geonet, drenaj ürünleri plastik formunda kalıptan çıkmış tabakalardır (Daniel vd., 1993).

Her ne kadar, GCL_s hidrolik iletkenliği suya göre çok düşük olsa da, bazı durumlarda diğer temiz sulara nazaran sıvıların akımlarında bu iletkenlik sınırlı kalmaktadır. Örneğin sahil kıyısındaki arazi dolgularında, uygun bir arazi ortamı bulununcaya kadar, katmanların oluşturulması zorlaşır. Bu durumlarda, tabaka olarak GCL_s sıvının geçirgenliği tespit edilmeden önce deniz suyu ile kullanılabilir (Shan vd., 1991).

3.5.1 Geosentetik kil tabakalarının hidrolik iletkenlikleri

Mevcut bulunan çalışmalar incelendiğinde, GCL_s nin atık (kirli sıvıların) etkilerini mühendislik yönünden özelliklerini görebiliriz. Bir çok araştırma hidrolik iletkenliğinin değişebildiğini konusuna odaklanmıştır. Örneğin Schubert (1987), Shan ve Daniel (1991), Daniel vd (1993) ve Ruhl ve Daniel (1997), tabi veya yapay zemin tabakalarının değişik kimyasal çözeltilerle sızdırmalılığı (geçirgenliği) GCL_s ile gözlenmiştir. Katyonlar, geçirgenliğin dielektrik sabiti veya konsantrasyonu ve hidradlaşan akım, GCL_s'den bentonin hidrolik iletkenliğine kuvvetli etki ettiği gözlenmiştir.

Shan ve Daniel (1991), hidratlaştırılmış musluk suyunu bir GCL_s örneğinden, 0,25 M CaCl₂

çözeltisi ile birlikte 35 Kpa bir basınç altında geçirgenliğini denemişlerdir. GCL_s örneğinin hidrolik iletkenliği yaklaşık 10 kat artmış olduğu gözlenmiştir. Ruhl ve Daniel (1997) bu inceleme ve deneylerinden çıkarttıkları netice, en önemli faktör GCL_s'nin kimyasal çözeltilerin, hidratlaşmış sıvıları geçirme kabiliyetini engellemek üzere düzenlenebildiği, kullanılabilirliği belirlenmiştir. GCL_s diğer sıvılarla da denenmiş ve genel sonuç itibariyle hidrolik iletkenlikleri oldukça düşük bulunmuştur ($10^{-11} \sim 10^{-10}$ m/s).

Jo vd.(2001), GCL_s örnekleri üzerinden, oluşturulmuş farklı tuz çözeltilerini geçirerek, şişme ve hidrolik iletkenlik deneylerini gözlemlemişlerdir. Onların bulguları göstermiştir ki, GCL_s'den iki ve üç değerlikli katyonlar içeren çözeltiler geçirildiğinde; tek değerlikli çözelti veya de iyonlaştırılmış suyun geçirildiği değerlerden daha yüksek hidrolik iletkenliğe ve daha düşük şişme oranlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca pH değerinin, özellikle pH<3 veya pH>12 olması halinde hidrolik iletkenliğe ve şişme oranlarına oldukça etki ettiği sonucuna varılmıştır. Bundan başka, diğer yapılan gözlem, deney ve incelemelerde GCL_s'nin diğer su içerikli olmayan sıvılarla (Non-Aqueous Phase Liquids-NAPL) ne gibi etkileşim göstereceği araştırılmıştır. Yeni çağ bilimcileri (1989) gazolin, dizel yakıt ve jet (uçak) yakıtını GCL_s örneğinden geçirerek şu sonuca ulaşmışlardır. 207 kPa (30 Psi) basınç altında hidrolik iletkenlik 1×10^{-11} m/sn'nin altında olduğu görülmüştür.

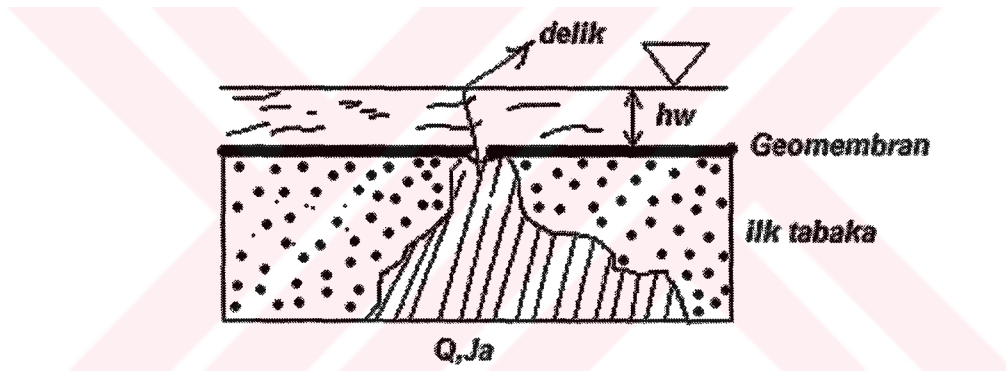
Shan ve Lai (2001), en son yaptıkları çalışmalardan biri ise, Geosentetik kil tabakalarının hidrolik özelliklerine hidratlaştırılmış sıvıların etkileri araştırılmıştır; özellikle sahil şeridinde oluşturulacak tabakaların asit yağmurlu ortamlarda göstereceği performansı bir seri testle incelenmiştir.

Özet olarak GCL_s, hidrasyon sıvıları olarak asidik su, deniz suyu veya atık sızıntı sularının bulunabileceği ikincil kirlenme ortamlarında ve yer altı tabakaları olarak uygulama alanlarında "hidrolik bariyer" (su geçişini engelleyici) etkisi açısından kullanılabilir. Genel olarak geosentetik tabakalar uygulama esnasında, özellikle hidrolik iletkenlik açısından en az geçirgenliğe sahip materyaller arasında olup, kullanım alanı hayli geniştir. Türkiye standartlarında hem koruyucu ve en az geçirgen olup, hem de bulunması, tesis edilmesi ve kullanımı en ucuz olabilecek malzemeler tercih edilmektedir. Bu da bizleri doğada hazır bulunan ve genelde diğer atık ürünlerinde bir araya getirilmesi ile oluşturulabilecek zemin tabaka oluşturulmasına yöneltmektedir.

Geomembranlarda oluşan hasarların geçirimsizliğe etkisi

Kirleticilerin geomembranlara doğru taşınmasında, iki öncü mekanizma olup bunlar; oluşan

deliklerden sızıntının yol alması ve bozunmamış geomembrana doğru moleküler diffüzyon (yayılma) olmasıdır. Geomembranın bünyesinde bulunabilecek delik ve kusurlar, aynı zamanda geomembranların birleşim (dikiş) yerlerinde de kusurların ve hataların oluşmasına sebebiyet vermekte, sivri ve yontulmuş malzemeler, sağlam geomembran tabakalarını delebilmekte veya diğer serilen malzeme ve düzeneye zarar verebilmekte, aynı zamanda tabakalar üzerine serilen atığın yerleşim şeklide, gerilme kuvvetlerine sebep olabilmektedir (Shan vd. 1999). Örneğin yüklemelerin zamanla yer değiştirmesi veya farklı yapılması, bu tabakaların verimsizliğine sebep olabilmektedir (Katsumi vd., 2001). Giroud ve Bonaparte (1989), geomembranlardaki kusur ve noksanlıkları incelemişler, buna göre yapılan müzakerelerde, 8-10 delik (kusur)/ha'lık bir oranın genelde iyi kalite güvencesi sayılabileceği, 17 delik (kusur)/ha'lık bir zarar oranının membran kalitesinin zayıflatacağı yargısına varıldığı, ayrıca geomembran kalitesinin mükemmel olduğu garanti edilse bile yinede, 1-2 delik (kusur) /ha'lık hasarlardan bile kaçınılması gerektiği öngörülmüştür.



Şekil 3.3 Bir geomembranda, sızıntının delikten geçip, alt tabakaya yayılımı (Katsumi vd. 2001).

Yine, Katsumi vd., (2001) yaptığı aynı çalışmalarda, killerin sıkıştırılması ile oluşturulmuş tabakanın, sızıntı suyu geçirimsizliği ve aynı zamanda sızıntı suyu konsantrasyonların değişimi incelenmiştir. Elde edilen veriler, bir önceki geomembran tabakaların özellikle, bünyesinde bulunan üretim hatalarından dolayı var olan hasar ve deliklerden veya sonradan gerek tesis edilmesinde, gerekse atık dökümünden sonra, atıkların içinde bulunan delici, kesici, sivri materyallerin etkisi ile, veya kimyasal içerikli malzeme yada sıvıların, reaksiyona girerek geomembranda yapabileceği hasar ve deliklerden sızıntı sıvısının rahatlıkla ve oldukça yüksek permeabilite değerlerinde sızabileceği, hatta alt katmanlara çok hızlı bir şekilde ulaşabileceği saptanmıştır.

Geomembranlar sadece sızdırmazlığa karşı korucu olarak üretildiğinden, yukarıdaki sebeplerden herhangi biriyle oluşabilecek sızıntının, miktarının hem fazla, hem içeriğinin gerek ağır metal konsantrasyonu, gerek organik madde miktarları ve gerekse toksik madde içeriği yönünden herhangi bir ön işlem yapılmadığından, bu içerik aynen alt tabakalara ve belkide yer altı su seviyesine karışıp, su ve toprak kirliliğine sebep olabilmektedir. Hatta depolama altında iyi bir drenaj sistemi oluşturulmuş olsa bile, bu defa bir yerde toplanan sızıntı sularının, ayrıca arıtım ünitelerinde işlemlere tabi tutulmasında ek bir işletme maliyeti getirmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında membran sisteminin arıtma ünitesiyle birlikte oluşturacağı maliyet) kıyaslandığında daha ucuza mal olabileceği görülebilir. Ancak daha da önemlisi, doğadan gelen doğal malzemenin, atıl hale geldikten sonra yine doğada kullanılarak yer işgal etmesi engellenmiş olacak, aynı zamanda doğa dengesi de çevrecilik yönünden korunmuş olacaktır.

3.6 Sızıntı Suyu Özellikleri

Depolama alanındaki suyun iki kaynağı vardır. Depolama alanına doldurulan atıkların bünyesindeki su ve alana dışarıdan giren su. Atık hacminin içerdiği su yerine, depolama alanına giren su kaynakları daima göz önünde bulundurulmuş ve daha çok önem arz etmiştir. Bu su kaynakları;

Depolama alanının yüzeyinden süzülen sular,

Depolama alanının kenarlarından (yatay akışla) giren sular,

Depolama alanının tabanından yukarı doğru yükselen yer altı suyu,

Özellikle ıslak (yağışlı) mevsimlerde, yeraltına atık bünyesiyle giren su, dış etkilerle depolama alanına giren su tarafından önemsiz bırakılmıştır, Böylece uzun dönemde dışarıdan su girişi kontrolü daha fazla önem arz etmiştir, bunun direk sonucu da, sızıntı suyu miktarının tahmin ve hesap edilmesinde kütle dengesinin, su seviyesi, giren nem ve yüzeysel akış miktarı belirleyici olmaktadır.

Depolama alanına sızan su miktarı, depolama alanının yüzeyindeki su dengesinin bir fonksiyonudur. Bu da hidrolik su dengesinin bir sonucu olup, yüzey su akışının formasyonu, atmosfere doğrudan buharlaşma (evaporasyon), bitki yüzeylerinden atmosfere doğru olan buharlaşma (Transpirasyon) veya kaplama yüzeyine olan sızma ve depolama yüzeyinde oluşan

birikimlerdir. Nihai evaporasyon ve transpirasyon için yüzeysel zeminde tutulan sızan sular, kapiler hareketlenmelere bağlı olarak; kuru ortamlarda bitki köklerine doğru akararak veya yüzeysel etkilerden kaçarak katı atık içine doğru süzülüp, en sonunda sızıntı sıvısına dönüşmektedir.

İlk oluşan sızma, sızıntı suyu miktarına etki eder, fakat bu depolama alanı içindeki suyun hareket (seyahat) süresini hesap ve tahmin etmek güç olmaktadır (Mc Bean, vd., 1995). İdealize edilmiş bir sistemde, her bir tabakanın, özellikle nem oranının diğer bir tabakaya inmemesi için tüm alana ulaşabilecek kapasitede olması istenmektedir. Gerçekte ise, depolama alanı homojen (karma) olmamakta, örneğin bazı objeler (kağıt vs) suyu veya nemi hızlıca emmekte, bazıları ise tam tersi etki yapmaktadır (metal, cam, plastic vs). Bundan başka, ıslanmış yüzeylere doğru suyun akışını sağlayabilecek delikler, boşluklar ve kanallar mevcut olmaktadır (Mc Bean, vd.1995).

Depolama alanı su dengesinin hesaplanması;

Su dengesi (Water balance) aşağıdaki ifadelerin yerine konması ile hesap edilmektedir.

(Bagchi, 1990. chap 11)

$$\Delta S_{SW} = W_{SW} + W_{TS} + W_{CM} + W_{A\oplus} - W_{LG} - W_{WV} - W_E - W_{B(L)}$$

Denklemdaki her bir ifadenin anlamı ise;

ΔS_{SW} = depolama alanındaki katı atığın içerdiği (depolandığı) su miktarındaki değişme = lb/yd³

W_{SW} = depolama alanına giren katı atığın içindeki nem = lb/yd³

W_{TS} = Bitki işleme çamurundaki su miktarı = lb/yd³

W_{CM} = Kaplama malzemelerindeki su içeriği = lb/yd³

$W_{A\oplus}$ = Elektra (fazladan) gelen su (depolama alanının üstünde kalan, özellikle beklenenden fazla olan yağışlarla eriyen karlarla kalan su) = lb/yd³

W_{LG} = Depolama içinde oluşan gaz formasyonlarıyla oluşan su kaybı = lb/yd³

W_{WV} = Depolama gazıyla doymuş su buharı olarak kaybolan su = lb/yd³

W_E = Yüzeysel evapirasyon (buharlaşıma) ile kaybolan su = lb/yd³

$W_{B(L)}$ = Elementlerden ayrılan su lb/yd³

Burada kullanılan birimler, günlük kullandığımız birimlere çevrilirse;

$$lb = kg \times 2,2046 \Rightarrow \frac{lb}{2,2046} = kg$$

$$yd^3 = \frac{m^3}{0,7645} \Rightarrow yd^3 \times 0,7645 = m^3$$

Bir diğer hesap yöntemi ise; aşağıdaki gibi formülünüp, içeriğindeki ifadelerin anlamları bir önceki denklemle hemen hemen aynıdır (Hoqiwist, vd.).

$$L = (P + W_m + B) - (R + E_t + G) \mp \Delta S$$

Buradaki ifadeler;

L= Sızıntı suyu oluşumu,

P= Yağış,

W_m = Atığın başlangıç nem içeriği,

B= Kimyasal ve biyolojik su üretimi,

R= Yağmurun emilerek üst yüzeyden akışa geçen kısmı,

E_t = Buharlaşma,

G= Gazda buharlaşma kaybı,

ΔS = Depolamadaki değişiklikler.

Sızıntı suyu miktarındaki mevsimsel değişimler

Depolama alanında sızıntı suyunun oluşumunun önemli ikinci etkeni de, katı atık cinsi ve içerdiği nem oranıdır. Bu ikinci etkende, birinci (yüzeysel akış ve sızan sular) etkenin tersine mevsimsel yağış miktarına bağlı olmamaktadır. Birinci etkende özellikle bahar ve kış aylarında gerek yağmur suyu, gerek kar erimelerine bağlı olarak depolama alanına gelen su miktarı da artma göstermekte idi. Ama ikinci etmen, katı atık bünyesindeki su muhtevası; genellikle yaz aylarında artış göstermektedir. Bunun nedeni ise, özellikle evsel atıklarda, çoğunlukla mutfak ve yiyecek artıkları, yaz aylarına binaen (kışa nazaran) daha fazla su içerikli gıdaların posaları (karpuz, kavun, meyva, taze sebze, içecekler v.s.) olmaktadır. Depolama alanında sıkışan bu artıklar, içeriğindeki fazla suyu sızıntı suyuna dönüştürmektedir.

Baştürk ve Gönüllü (1988)'nin yaptıkları bir çalışmada, sızıntı suyu inorganik kirletici özelliklerinin zamanla değişimini incelemişler ve bir modelleme oluşturmuşlardır. Bu çalışmalarda oluşturulan iki kolona, birinde yaz sezonundaki içerikleri kapsayan atıklar, diğerinde ise kış sezonunda da atıkları yerleştirmişler, bunlardaki zamana göre oluşan sızıntı sınırlarını ve atık hacimsel değişikliğini gözlemlemişlerdir. Buna göre oluşturulan veriler aşağıda Çizelge 3.4 'de mevsimsel değerler olarak görülebilir.

Çizelge 3.4 Kurulan deney tesislerindeki mevsimsel değerler
(Baştürk ve Gönüllü, 1988)

<i>Birimler</i>	Yaz Kolonu	Kış Kolonu
Kolon kesiti A.m ²	0,0731	0,0731
Kolon yüksekliği, H. cm	100	100
Katı atık yüksekliği, h, cm	75	70
Katı atık hacmi, V, lt	55	51
Katı atık yaş yoğunluğu, kg/m ³	840	680
Katı atık kuru yoğunluğu, kg/m ³	504	498
Katı atık rutubet muhtevası, %	40,1	26,8
Katı atık ağırlığı, kg	46	35
Organik madde muhtevası, %	56	37
Kül + toprak muhtevası, %	16,5	42
Kolonda başlangıçta mevcut rutubet, lt	18,5	9,4
Kolonu doyurmak için ilave edilen su, lt	10,3	13,9

Görüldüğü üzere, katı atığın özellikle rutubet muhtevası ile, organik madde içeriği yaz kolonunda daha yüksek bulunmuş, bilhassa kolondaki başlangıç su muhtevası, yaz sezonunda kış sezonuna göre hemen hemen 2 kat arttığı görülebilmektedir. Diğer taraftan Kül+toprak muhtevası ise kış kolonunda 3 kat daha fazla olduğu görülmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesinin kurduğu “Odayeri Düzenli (atık) depolama sahası” dan son 4 yıla ait sızıntı suyu üretim değerleri aşağıdaki Çizelge 3.5 de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Odayeri sızıntı suyu aylık tonaj değerleri

<i>ton/ay</i>	<i>Ocak</i>	<i>Şubat</i>	<i>Mart</i>	<i>Nisan</i>	<i>Mayıs</i>	<i>Haziran</i>	<i>Temmuz</i>	<i>Ağustos</i>	<i>Eylül</i>	<i>Ekim</i>	<i>Kasım</i>	<i>Aralık</i>
1997	14367	11987	9823	10102	12922	14056	13355	14695	15075	17565	22410	10215
1998	8295	13436	4650	19830	28635	25483	29010	30765	29438	19245	20440	15443
1999	22866	18390	26164	23550	20329	18841	27059	25844	27505	27692	28832	36714
2000	26787	31205	35545	45493	38633	37508	36535					

3.6.1.1 Yurt içi ve yurtdışı düzenli depolama alanlarındaki sızıntı suyu karakteristikleri

Gerek yurt içinde, gerekse yurt dışında bulunan evsel katı katı atık depolama alanları, sızıntı sızımları açısından incelendiğinde aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

Finlandiya’da seçilen 12 adet katı atık depolama alanında (Niininen vd., 1995), dolgu yapılan alanlardan sızan sızıntı sularının içeriği ve kalitesi incelenmiş, ayrıca bu sızıntı sularının yeraltı suyuna olan etkileri araştırılmıştır. Sızıntı su örnekleri inceleme sonuçları; Finlandiya’da belirlenen 12 adet depolama alanlarından alınan sızıntı suyunun karakteristikleri belirlenmiş ve bunlar ayrıca İngiltere ve Almanya’da yapılmış benzeri çalışmalarda elde edilmiş sızıntı suyu özellikleriyle Çizelge 3.6’da kıyaslanmıştır (Niininen vd., 1993).

Çizelge 3.6 Finlandiya ve Orta Avrupa ülkelerindeki sızıntı suyu karakteristikleri (Niininen vd., 1993).

Parametreler	İngiltere (15 alan)	Almanya (20 alanda)	Finlandiya (26 alan)	Finlandiya (12 alan)
E.İ. (ms/m)	-	-	240 (170)	214 (5-580)
KOI _{mn} (mg/l)	-	-	99 (77)	230 (7-1200)
Fe (mg/l)	0,1-360	15-925	42 (67)	77 (<0,1-692)
BOİ (mg/l)	<2-8000	180-13000	300 (520)	270 (1-3900)
NH ₄ -N (mg/l)	5-730	741	53 (35)	88 (1-480)
TOP-P (mg/l)	<0,02-3,4	5,7	1,4 (3,0)	0,5 (<0,02-3,9)
Cl (mg/l)	70-2777	2119	250 (170)	170 (1-600)
Mn (mg/l)	0,3-26,5	0,7-24	2,5 (1,7)	1,9 (0,1-7,4)
Mg (mg/l)	12-480	250-600	-	41,8 (23,8-59,8)
Ca (mg/l)	165-1150	80-1300	170 (79)	67 (65-69)
Zn (mg/l)	<0,1-1,0	0,6-5,6	0,5 (1,2)	0,2 (<0,1-1,4)
Cd (mg/l)	<50-160	275	33 (32)	9 (<1-134)
Ni (mg/l)	50-160	166	41 (19)	98 (<3-394)
Pb (mg/l)	50-220	87	29 (35)	14 (<1-42)
Cu (mg/l)	10-150	65	31 (34)	4 (<1-56)
pH	6,2-7,4	6,1-8,0	7,1 (0,5)	7,1 (3-8)

Sızıntı suyu ile yapılmış diğer bir çalışma ise İngiltere’de gerçekleştirilmiştir (Alker vd., 1993). İngiltere’de oldukça eski olan atık depolama sahalarında dolgu alanlarının, özellikle sızıntı suyunun depolama kaplama tabakalarından zemine doğru süzülme meydana gelen yerlerde “sulandırma ve dağıtma” (dilute and disperse) prensibine göre yeniden işler hale dönüştürülmüştür. Çevredeki metal iyonların konsantrasyonu aynı zamanda yaşayan organizmalar üzerinde toxic (zehir) etkisi ürettiği de görülmüş, ve izlemelerde, ileriki ölçümlerin, özellikle çevreye zarar vermeden potansiyel bir işleme tabi tutulmak üzere, sızıntı sıvısının ürettiği metal iyonların miktarına bir sınırlama getirilmesi gerektiği ve sızıntı sıvı kompozisyonu (içeriği) zamana bağlı olarak değişmekte olduğuda belirtilmiştir.

Sızıntı suyu, fazla oluşan yağmur suyunun atık katmanlarına sızmasıyla oluşan, birleştirilmiş fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal yöntemlerin atıktaki kirleticilerin atık malzemelerinden sızan suya taşınımıdır (Christensen vd., 2001). Çözünmüş Organik Madde, kimyasal oksijen

ihtiyacı olarak açıklanmış (KOİ) veya toplama Organik Karbon (TOC), CH₄ içeriği, uçucu yağ asitleri ve çok inatçı bileşikler.

İnorganik Bileşikler: Ca, Mg, Na, K, NH₄, Fe, Mn, Cl, SO₄²⁻ ve HCO₃,

Ağır metaller: Cd, Cr, Cu, Pb, Ni ve Zn,

Aşağıdaki Çizelge 3.7 de İngiltere ve ABD’ de sızıntı sıvı içeriklerindeki metal iyon değerleri (mg/l) verilmiştir.

Çizelge 3.7 UK ve ABD’ de sızıntı sıvı içeriklerindeki metal iyon değerleri (mg/l)
(Alker vd., 1993)

Ülke	Alan/Kaynak	Na	Mh	K	Ca	Cr	Cd	Fe	Cu	Pb	Zn
U.K.1.	Compton Bassett	1320	159	858	94	0,06	0,01	9,8	0,17	0,13	0,62
U.K.2.	Bryn posteg	904	85	195	477	0,1	0,1	242	0,13	0,1	4,9
U.K.2.	Karewood Whin	1150	820	900	2900	0,17	0,01	560	0,05	0,45	0,32
U.K.2.	Chapel Farm 1	1360	420	900	1040	0,05	0,02	340	0,04	0,2	0,09
U.K.2.	Chapel Farm 2	1210	310	840	1030	0,06	0,04	126	0,03	0,13	0,22
U.K.3.	Seamer Carr	2400	420	2050	4100	1	0,003	2050	0,05	0,61	130
U.K.4.	Brofiskin					1	0,2	28	0,04	0,1	0,2
U.K.4.	Maendy					0,2	0,2	300	0,2	0,1	10
U.K.4.	Eastfield Quarry					30		3000	5	3	50
U.K.4.	Rainham					0,3	0,05	1000	0,2	1	10
Switzer land 5	Uttigen-Berne						2,78	9,0	0,25	0,12	0,71
U.S.6	EPA	0	16,5-	2,8-	5-			0,2-	0-	0-	0-
		7700	15600	3770	4080			5500	9,9	5	1000
U.S.6	Steiner	100-						200-			1-135
		3800						1700			
U.S.6	Genetelli	450- 500	160-	295-	900-		0,4	210-	0,5	1,6	10-
			250	310	1700			235			30
U.S.6	Ham	106-	22-	107-	111-			20-	0,04-		0,04-
		357	62	242	245			60	0,1		0,5
U.S.7	Illionis	1360	650	1140	3750	18	0,1	2200	0,48	1,25	104

Depolama sahalarından alınan sızıntı suyunda bulunabilecek diğer bileşikler, B, As, Se, Ba, Li, Hg ve Co. Fakat genelde bu bileşikler oldukça düşük konsantrasyonlarda olup, ikincil derece önem taşımaktadırlar.

Yunanistan'da yapılmış yeni bir çalışmada ise (Tatsi vd., 2002), Yunanistanın 1.000.000'u aşkın bir nüfusa sahip ikinci büyük kenti "Selanik" deki atık depolama sahası incelenmiştir. Katı atığın depolama alanına ortalama depolama miktarı toplam 1200 ton/gün olmakta, bunların yaklaşık %50'si evsel orijinli organik atıklar oluşturmakta, aynı zamanda kağıt, plastik ve metal içeriklerde toplam atığın % 6'sını oluşturmaktadır (Diamandopoulos, 1994). "Taze", sızıntı suyunda KOİ değeri yaklaşık 70.000 mg/l olmasına karşın "Eski" depolama alanına ait sızıntı suyunda KOİ oranı 5300 mg/l'ye düşmüş olduğu, aynı zamanda BOİ₅ değerleri de taze ve eski sızıntı suyu örnekleri için sırasıyla 27000 ila 1000 mg/l arasında değiştiği belirtilmiştir. Hidrolojik ve kalite açısından incelenen sızıntı suyu için varılan sonuçlarda; Uygulanan konvensiyonel (göreneksel) fiziko-kimyasal işleme yöntemleri, örneğin flokülasyon (pıhtılaştırma-çökeltme) işlemi ile bilinen standartlarda istenilen başarıya ulaşılmasının beklenilmemesi gerektiği belirtilmiştir. Özellikle inatçı organik bileşik kalıntılarının giderimi oldukça güç olduğu, benzer şekilde, aynı konvensiyonel arıtma yöntemleri istenilen performansı gerek etkili bir şekilde, gerekse ekonomik ölçülerde beklenileni sağlamadığı belirlenmiştir. Düşük BOİ₅/KOİ oranı eski (yaşlı) sızıntı su örneğinde, fazladan bir (etkili) arıtma işlemine ihtiyaç duyulduğunu, özellikle yardımcı kimyasalların eklenerek ikincil bir işlemde geçirilmesi veya uygun ön hazırlama yöntemleri uygulanması gerekliliği ve böylece biyolojik ve fizikokimyasal işleme (arıtma) yöntemlerinin kombinasyonu etkili bir sonuç elde edilmesini sağlanabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 3. 8 Bazı Akdeniz ülke ve şehirlerinde, mevcut çalışmalardan elde edilmiş sızıntı suyu karakteristik özellik değerleri (Tatsi. vd ,2002)

Parametreler	Fransız karışık alan	İspanya Depolama alanı	Atina depolama alanı	Patras Depolama alanı	Depolama alanı	
					Yaşlı	Genç
PH	5,2-8,6	6,1-8,7	8-8,5		7,3-8,8	4,9-6,7
İletkenlik	3,2-82,1	0,7-17,6			6,2-34,0	23,0-35,5
Bulanıklılık		0,1-670			76-1150	1100-2700
Renk	5-250		2720-9375		955-15142	6250-20000
Alkalinity			1100-3500		923-8070	3540-26200
TS			9000-196000		3100-18000	32100-77000
DS			8740-19250		3800-21800	31200-76000
SS		0-1870	90-470	105-1220	10-5900	400-1900
Cl ⁻	611-72400	12-5010	760-2350		1162-9209	580-10100
N-NH ₄	22-3300	0,04-1431	474-3870	784-2744	39-1750	1400-10250
TKN	46-3400	11-1420			370-1800	2023-10558
Total P		0-17	5-15	14,4-24,9	1,27-19,9	1,6-655
KOİ	400-73300	15-7950	3000-8810	3940-22930	685-15000	44000-115000
BOİ	30-3470	2-1920	450-1150		50-4200	9500-80795
NO ₃ ⁻		0,1-184	14-91		2,5-300	10-840
SO ₄ ²⁻	3-9170	0,4-712	70-350		55-500	400-2500
Fe	0-65	0,1-176	5-22,2		0,11-25,0	146-160
Mn		0,02-14,6			0,05-0,42	13,22-16,2
Zn	0-2,5	0,02-4,4		0,012-0,145	0,07-0,20	1,2-36,0
Cr		0,02-1,08	0,7-2,84	0,045-0,235	0,20-0,20	0,01-3,7
Cu		0,02-0,58	0,09-0,28	0,098-0,356	0,10-0,53	0,18-6,0
Ni		0,2-0,98	0,67-1,35	0,056-0,903	0,08-5,1	0,20-7,8
Cd		0,02-0,22		0,015-0,079	<DL ^e	0,02-6,5
Pb		0,02-1,84		0,098-0,467	<DL ^e	0,23-2,1
Ca ²⁺	15-7280	9,1-616			3,8-138	1727-3324
Mg ²⁺	0-343	11-183	85,2-140		0,02-193	285-443

İtalya’da yapılan diğer bir yeni çalışmada ise (Calace vd., 2001), yine evsel atık depolama alanı sızıntı suları incelenmiş, ayrıca sızıntı sularının depolama zeminine yaptığı etkilerde araştırılmıştır.

Çizelge 3.9 (İtalya) Pomezia atık depolama alanına ait kimyasal değerler
(Calace vd., 2001)

	1. Örnek (10 yıllık depodan)	2. Örnek (8 yıllık depodan)	3. Örnek (4 yıllık depodan)
pH	8,5	8,7	6,4
KOİ (mg/l)	2400	2870	9100
Cu (mg/l)	10	12,5	3
Pb (mg/l)	32	26,	16
Zn (mg/l)	60	58	120
Ni (mg/l)	284	162	55
Cd (mg/l)	0,5	0,7	0,2

İncelemeler sonucunda, sızıntı suyunda bulunan öğeler tarafından zemin sızıntı suyu emme kabiliyeti belirlenmekte ve küçük moleküler ağırlıklı içeriklerin yok olmasıyla beraber, yüksek moleküler ağırlıklı içeriklerin emme kabiliyetini arttırabildiği bildirilmiştir.

Türkiye’deki düzenli katı atık depolama alanlarında yapılmış araştırma çalışmalarında, Gaziantep düzenli katı atık depolama sahasından alınan sızıntı suyu örnekleriyle suyun içeriği incelenmiştir (Çeçen ve Gülsoy, 2000). Sıvı karakteristikleri Çizelge 3.10’da görüldüğü üzere sıvıda, bir yıllık depolama sonunda yüksek organik miktarı oluşmuş ve genç bir depolama alanı karakteri göstermektedir. Ağır metal KOİ ve Amonyak konsantrasyonlarının giderilmesi amacıyla değişik metotları kullanılmış bunlardan bazıları ise; Kireçleme, Alum (şap), Alum+kireç, FeCl₃+Kireç, FeSO₄+kireç, orta kararlılıktaki (6-7) sızıntı sıvıları kullanılarak deneyler yapılmış, bunlara göre, ilk KOİ değerleri 2200-3300 mg/l iken, bu oran %30 ila 50 arasında indirildiği bildirilmiştir. Buradan da depolama sızıntı suyu karakteristiği depo yaşına göre değişiklik arz ettiğinden, sızıntı suyu işleme (arıtma) yöntemlerinin de ileride yeniden geliştirilmesine ihtiyaç duyulacağı belirtilmiştir.

Çizelge 3.10 Sızıntı suyu karakteristik örnekleri (Çeçen vd., 2000)

Örnekleme tarihleri	21/01/97	24/02/97	09/05/97		23/07/97		16/09/97	
Örnekleme noktaları	B	A	B	A	B	A	B	B
Örnek	1	2	3	4	5	6	7	8
Parametreler								
KOİ (mg/lt)	18860	9630	12710	3784	12850	2431	3312	37024
BOİ (mg/lt)	10055	2400	7380	1100	6350	500		15625
TKN (mg/lt)	1116	1628	1144	1543	871	1602	2122	2730
NH ₄ -N (mg/lt)		1604	979	1500	734	1379	1828	2430
NO _x (mg/lt)		147	136	52	2256	60,7	200	285
pH	7,50	7,78	7,9	7,70	7,97	7,90	8,00	7,30
Cl ⁻ (mg/lt)	5499	5705	4762	5489	4688	5725		9702
Alkalinite CaCO ₃ (mg/lt)	10571	12084	9540	11752	9418	12897		18150
Sertlik CaCO ₃ (mg/lt)	4801	1675	1675	1140	1746	1634		3556
Cu (mg/lt)	0,27	0,09	0,19	0,01	0,03	0,26	0,11	1,45
Pb (mg/lt)	0,79	0,49	0,76	1,00	0,90	0,67	1,20	1,91
Fe (mg/lt)	11,23	9,56	8,94	4,30	8,10	2,66	6,60	25,2
Mn (mg/lt)	0,83	0,32	0,25	0,47	0,30	0,20	0,36	0,85
Zn (mg/lt)	0,51	0,29	0,49	0,43	0,51	0,47	0,16	2,20
Ni (mg/lt)	2,90	2,20	2,40	2,30	2,20	1,23	2,01	5,80
Cr (mg/lt)	0,40	0,20	0,50	0,35	0,50	0,00	0,29	2,24
Cd (mg/lt)	0,15	0,08	0,10	0,22	0,17	0,12	0,08	0,25

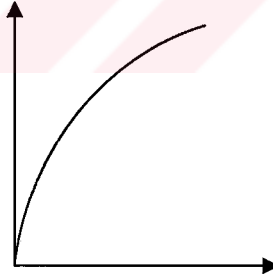
3.7 Sızıntı Suyunun Arıtımında Madde Adsorpsiyon İzoterminin İncelenmesi

Adsorpsiyon, genel olarak iki faz arasındaki yüzeyde bir gaz veya çözünenin birikimidir; ya da bir başka deyişle arayüzeyde derişim değışmesi denilmektedir (Voyutsky, 1978; Berkeii; ve Baykut, 1984). Kömür üzerinde gazların adsorpsiyonu 18.YY'ın başlarında C. Scheele tarafından ileri sürülmüştür. Bir çözeltiden maddelerin adsorpsiyon olayına ilk defa 1785'de Rus bilim adamı Lovitz tarafından işaret edilmiştir, 1814'de isveçli bilim adamı Saussure, tüm gözenekli yapıların, gazları adsorplama kapasitesi olduğunu ve bu durumda genellikle ısı

açığa çıktığını bulmuştur. 19.YY'in sonlarında Amerikan fizikçi Gibbs, adsorpsiyonun, genel termodinamik kuramı üzerinde çalışılmıştır. 20.y.y. da adsorbsiyon olayı, I. Langmuir, M. Polanyi, J. deBoer, L. Gurvich, N. Shilov, M. Dubinin, A. Kiselev, S. Brunauer, P.H. Enmett, E. Teller, .Kipling, C. H. Giles ve diğerleri tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir (Voyutsky, 1978). Adsorpsiyon olayları iki ana gruba ayrılabilir, fiziksel adsorpsiyon ve kimyasal adsorpsiyon. Fiziksel adsorpsiyon daima tersinirdir. Kemisorpsiyon ise genellikle tersinmez bir süreçtir. Kemisorpsiyonda, adsorplanan moleküller adsorbana büyük kimyasal kuvvetlerle bağlıdır ve doğal olarak adsorbanın yüzeyinde hareket edememektedirler. Buna "lokalize adsorpsiyon" da denir. Katı tarafından adsorblanan madde miktarı, adsorbe eden ve edilen yapısına, adsorbe edenin yüzey özelliklerine, işlem sıcaklığı ve basıncına, adsorbe edilenin yığın derişimine bağlıdır. Adsorbsiyon verileri genellikle "adsorbsiyon izotermi" şeklinde sunulur. Sabit sıcaklıkta birim adsorbent miktarı tarafından adsorblanan miktarın denge çözelti derişimi (veya basıncı) ile ilişkisi "adsorbsiyon izotermi" olarak bilinir (Albayrak, 1990).

3.7.1 Adsorpsiyon izotemleri

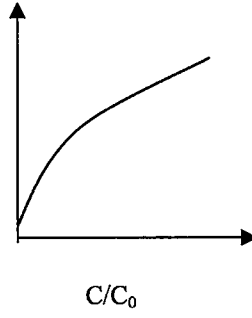
Sabit bir sıcaklıkta denge basıncı veya denge derişimine karşı, adsorban tarafından adsorplanan madde miktarının grafiği adsorpsiyon izotermi olarak bilinir (Hill, 1977, Berkem ve Baykut, 1984).



Şekil 3.4 Madde izoterm standart eğrisi (Albayrak, 1990).

Adsorpsiyon izotermi Brunauer, Deming, Deniing ve Teller tarafından beş ana kategoriye ayrılmıştır. Buna BDDT olarak (Şekil 3.5) sınıflandırılması da denir (Albayrak, 1990).

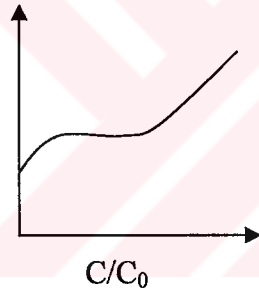
I.Tip izotermi Langmuir tipi olarak bilinir ve muhtemelen tek tabaka oluşumuna karşılık gelen bir sınırlayıcı adsorpsiyon değerine, monotonik bir yaklaşım ile karakterize edilirler.



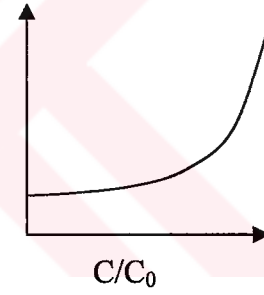
Şekil 3.5a Birinci tip adsorbsiyon izotermi (Albayrak, 1990).

Bu tip davranış kemisorpsiyon için beklenen bir olaydır. Diğer izotermelerde bu tek tabaka tamamlanmasına karşılık gelen bir doygunluk sınırına erişilmez.

II. Tip Normal olarak fiziksel adsorpsiyonda gözlenen çok tipik bir örnektir. B noktası (eğrinin düz kısmı) kabaca tek tabakanın tamamlanmasına karşılıktır.



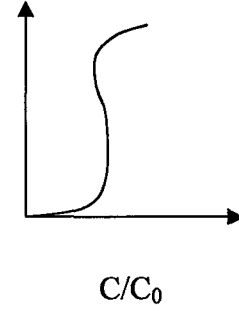
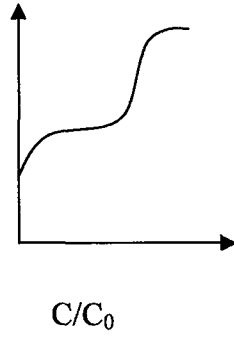
Şekil 3.5b İkinci tip adsorbsiyon izotermi



Şekil 3.5c Üçüncü tip adsorbsiyon izotermi

IV. Tip davranış II. Tipe benzer ve sağ tarafta ordinata yatay yaklaşım ile sınırlı gözenek hacmini belirtir. Bu tip eğri nispeten gözenekli yapılarda gözlenir.

III. ve V. Tiplere bağlı olarak daha az rastlanır. Bunlar tek tabaka adsorpsiyonunu oluşturan kuvvetlerin bağlı olarak zayıf olduğu durumlardır (Hill, 1977).



Şekil 3.5d Dördüncü tip adsorbsiyon izotermi

Şekil 3.5e Beşinci tip adsorbsiyon izotermi

1. Freundlich izotermi

Adsorplanan madde miktarı ile denge derişimi ilişkisini göstermek üzere Freundlich tarafından 1907 'de kendi adıyla anıları şu bağıntı önerilmiştir (Albayrak, 1990).

$$x/m = k \cdot C^n \quad \text{burada;}$$

x : m gram katı tarafından adsorblanan madde

C: Çözelti denge derişimi

K, n : Denel sabitler

2. Langmuir izotermi

1915 yılında I. Langmuir tarafından verilen ve kuramsal bir bağıntı olan Langmuir izoterm denklemleri gaz-katı adsorpsiyonunda her basınç aralığında kullanılmaktadır. Eşitlik Langmuir tarafından kinetik, Volmer tarafından termodinamik ve Fovler tarafından da istatistiksel olarak türetilmiştir

Langmuir izotermi oldukça idealleştirilmiş adsorpsiyon tiplerine karşılık gelir ve analizler aşağıda belirtilen ana varsayımlara dayanır

İzoterm, başlangıç eğimlerine göre dört ana sınıfa ayrılır Bu dört ana sınıf; S, L (Langmuir tipi), H (high affinity) ve C (constant partition) izotermi olarak isimlendirilir (Albayrak, 1990).

S TİPİ: Bu tür izotermde şu hallere rastlanır:

a) Çözücünün kuvvetle adsorblandığı haller,

b) Adsorbent tabakalar arasında ki çekim kuvvetlerinin büyük olduğu haller,

c) Adsorblanan moleküllerin tek fonksiyonlu olduğu haller.

L Tipi: Bu izoterme yüzeydeki merkezlere çözücünden kuvvetli bir rekabet olmadığı hallerde rastlanır. Bu izoterme sahip sistemlerde adsorblanan moleküller doğrusal veya düzlemsel yapıda olup S tipinin aksine, ana eksenleri yüzeye paraleldir.

H tipi: Adsorblanan ile adsorban arasında kuvvetli bir eğilimin (affinity) olduğu hallerde rastlanır. Bu izoterme sahip sistemlerde, çözeltinin çok seyreltik olduğu hallerde bile kemisorbsiyon söz konusudur.

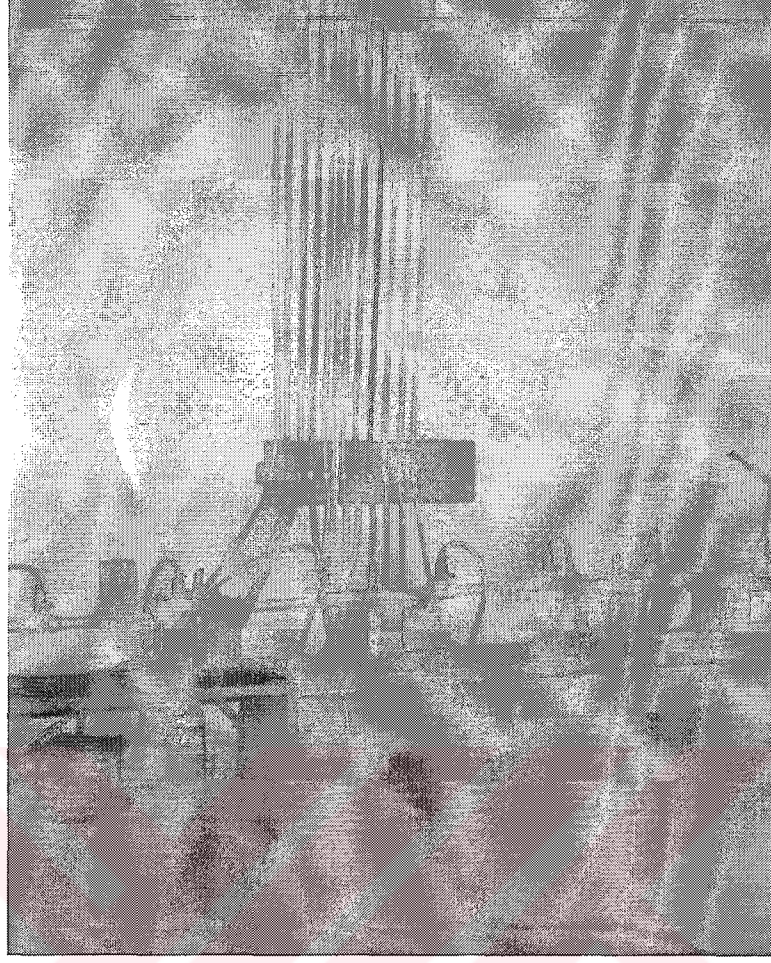
C tipi: Bu tür izoterm, çözelti ile adsorban arasında adsorblanan sabit paylaşımı gösterir ve özellikle tekstil elyafında gözlenir (Giles vd.,1960).



4. MATERYAL ve METODLAR

Deney Düzeneginin Tanıtımı

Bu çalışmada hedeflenen, atıl halde bulunan taban külünün, düzenli çöp depolama alanlarında geçirimsiz tabaka olarak kullanımının sağlanması olduğundan, bu amaçla öncelikle malzemelerin permeabilite özellikleri belirlenmiştir. Çalışmanın temelini oluşturan, permeabilite düzenegi aşağıda Şekil 4.1’de görüldüğü üzere düşen seviyeli permeametre aparatı olarak kurulmuştur. Burada permeabilitesi belirlenecek her bir malzeme karışımı için bir mold düzenegi olmak üzere, toplam onaltı adet aparat kullanılmıştır. Moldlar, taban çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm. olan, 0.6 m³ lük içiçe geçmiş çelik silindirlerden oluşmuş ve yan alt kısmında bir su çıkış borusu ile yükselen su seviyesi ölçülen bir sistemdir. Bu düzenekte öncelikle taban külü+zeolit+bentonit karışımının, üç malzemenin de bir arada kullanılarak, her karışım oranında farklı mold düzenegi oluşturulmuştur, fakat istenilen permeabilite değeri elde edilemediği için bu defa karışımlar, taban külü+bentonit ve zeolit+bentonit olarak iki farklı karışım olarak deneyler yürütülmüştür. Bentonit katkı oranı, her iki ana malzemede de geçirimsizlik sağlanıncaya kadar arttırılmıştır. Deneyler, Türk standartları Zemin Mekaniği deney metodlarına (TS 1900/Nisan 1987) göre yapılmıştır. Düşen seviyeli permeametre düzeneginde, gerek zeolit ve bentonit, gerekse taban külü ve bentonit karışımları önce (uygun dane çapına getirdikten sonra) ayrı bir yerde gereken farklı (%) oranlarda karıştırıldıktan sonra moldlara konularak sıkıştırılmakta ve en son permeabilitesini ölçmek için su verilmektedir. Verilen su, molda bağlı olan boruda yükselme seviyesi sabitleşinceye kadar devam etmektedir. Permeabilite seviyesi belirlendikten sonra ikinci aşamada ise, Çevre mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olup, buradaki deneylerde de, malzemelerin bireysel özellikleri ile, tabaka malzemeleri halinde sentetik sıvılar ve çöp sızıntı suları ile, aynı zamanda adsorblama özellikleri araştırılmıştır. Çöp sızıntı suyu, Odayeri Düzenli Depolama Alanından getirilmiştir.



Şekil 4.1 Düşen seviyeli permeabilite deney aparatı

Yapılacak deneylerde kullanılacak 3 ana materyal bulunmaktadır. Tabaka malzemelerini;

Ticari toz bentonit

(Tabii) zeolit

Termik santral taban külü olmak üzere üç grupta toplanabilir.

4.1 Uygulanan Deneysel Yöntemler

Yapılan bu çalışmada, iki aşamalı deney sistemi gerçekleştirilmiştir. Çalışılan konunun Çevre-Geotekniği üzerine kurulması nedeni ile, deneyler, Geoteknik laboratuvarlarında ve asıl çalışma alanı olan, Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin geoteknik açıdan incelenmesinin gereği, geçirgenlik (permeabilite) kat sayısının belirlenmesi açısından önemlidir. Permeabilite deneyleri, uygulanacak malzemelerin öncelikle uygun dane çapı dağılımı (granülometre) ve optimum su içeriği (sıkışabilirlik) oranının belirlenmesinden

sonra gerçekleşebilmektedir.

Standart proktor deneyinin genel amacı, mekanik ve fiziksel kuvvetlerle yapay olarak, bir zeminin yapısındaki havanın dışarı atılması ile danelerin birbirine yaklaşması, dolayısı ile daha sıkı hale gelmesini sağlamak ve boşlukların azaltılması ile karışımların düşük permeabilite değerine ulaşması amaçlanmıştır. Böylece zemin daha yüksek kesme kuvveti, daha düşük sıkışabilirlik ve böylece daha az permeabilite değerine ulaşmaktadır. Sıkıştırmanın esasında, kuru karışıma su verildiğinde danelerin etrafına adsorbe su tabakası kaplamakta; su miktarı artırıldığında dane etrafındaki bu su tabakasının kalınlığının artmasıyla, daneler etrafındaki sürtünme enerjisi en aza düşmektedir. Böylece danelerin birbiri üzerinden kaymasıyla yerleşme daha kolay olmaktadır. Bu durum optimum su içeriğine kadar olup, deneydeki gerçek maksat ise karışımların farklı su içeriklerinde sıkışabilme özelliğinin ve bu arada maksimum sıkışmaya tekabül eden, maksimum kuru yoğunluk ve bu andaki optimum su içeriğinin saptanmasıdır (Yayla N.ders notları). Özellikle taban külünün mühendislik malzemesi olarak kullanılabilirliği, malzemenin sıkışabilme yeteneği, kayma direnci, hidrolik iletkenlik gibi özelliklerine bağlıdır. Bunun için daha önce hiç yapılmadığı gözlenen taban külüne ait standart proktor (sıkıştırma) deneyi ile yine buna ek olarak bentonite ait standar proktor deneyi yapılmıştır.

Daha sonra malzemelerin elek analizi yapılarak optimum dane aralık (granülometri) eğrisi çıkarılmıştır. Elek analizi deney amacı ise; endüstriyel atıkların dane çapı dağılımı, atıkların iyileştirme tekniklerinin seçimini doğrudan etkilediği gibi, iyileştirme sonrası yeniden kullanılabilirlik alternatiflerinin belirlenebilmesi içinde oldukça önemlidir. İyi derecelenmiş granülometri eğrisine sahip atık veya zeminler, yüksek mukavemet gibi mekanik özelliklere sahiptir ve stabilizasyon sonu atıkların değerlendirilebilmesi mümkün olmaktadır. İnce tane yapısına sahip atık veya zeminler, genellikle iyi işlenebilme özelliklerine sahiptir ve daha çok absorbent malzemeler içerdiği için iyi bir kimyasal stabilizasyon sağlamaktadır. Burada bu çalışmaya özel olarak her malzemenin, optimum dane dağılımı elek analizi ile belirlenmiş, elde edilen dağılıma göre deneyler gerçekleştirilmiş, ama ilk permeabilite deneylerinde geçirgenlik istenen seviyeye (10^{-7}) getirilemediği için, dane çapı yukarıda belirtildiği üzere inceltirme yoluna gidilmiştir. İnceltme işlemi, taban külünde yapılmış olup, proktorlarda tokmaklamak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Dane boyutu bu defa 0.1 ila 2 mm. arasında bir dağılıma indirgenmiştir.

Bundan sonra ise asıl hedeflenen permeabilite katsayısını bulmak üzere, permeabilite deneylerine geçilmiştir. Permeabilite katsayısı zeminin fiziksel ve yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı değerler aldığı için, tabii zeminlerin permeabilitesinin deneysel olarak ölçülmesi gerekli olmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş laboratuvar ve arazi permeabilite deneyleri mevcuttur. Permeabilite katsayısını belirlemek için kullanılan başlıca iki tür deney vardır.

a)Sabit seviyeli permeametre b)Düşen seviyeli permeametre.

Deneylerde Düşen Seviyeli Permeametre kullanılmıştır. Bentonit, zeolit ve taban külünü, yapılacak geçirimsiz taban malzemesi için, öncelikle üçünü birden belirli oranlarda bir araya getirerek, karışımlar oluşturulup daha sonra bu karışımlardan su geçirerek permeabilite deneylerini gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu üç malzeme hangi oranda karıştırılırsa karıştırılsın, permeabilite değeri 1×10^{-5} ila 1×10^{-4} arasında olup, istenilen geçirimsizlik özelliği sağlanamamıştır. Bunun sebebi olarak, özellikle taban külü ile zeolitin gerek dane dağılımı, gerekse şekil yönünden birbirine benzer granüle malzemeler olmasıdır. Böylelikle fiziksel açıdan birbirleri yerine ikame edebilecek bu iki malzemeyi bir araya getirerek, zaten tutunma özelliği az olan malzemelerin sıkışma özelliği daha da yok edilmiş olmaktadır.

Bundan sonra deneylere her iki ana malzemenin bağlayıcı malzemeyle ayrı ayrı karıştırılarak farklı katmanlar elde etmek ve geçirimsizlik özelliklerini arttırarak istenilen permeabilite değerine ulaşmak amaçlanmıştır. Buradan yola çıkarak, önce taban külü + bentonit, daha sonra zeolit + bentonit belirli oranlarda karıştırılmıştır. Bu karışımlarda taban külü ve zeolit doğal şekilleriyle (herhangi bir işlemten geçirilmeden, dane çapları 1 ila 5 mm arasında tutularak) yapılmıştır ve bu kez permeabilite değerleri (Çizelge 4.6), geçirimsizlik değeri en fazla 1×10^{-6} elde edilmiştir. Aslında bu safhadan sonra, bilhassa taban külünün en fazla 1×10^{-6} değerini vermesi umutsuzluğa götürmüştür. Bunun üzerine, daha önce yapılmış benzer çalışmalar incelenmiş, taban külünün gerek depolama alanlarında, gerek farklı alanlarda sadece doğal serim malzemesi olarak kullanıldığı ama geçirimsiz bir malzeme oluşturulamadığı gözlenmiştir. Bu çalışmaya benzer, farklı malzemelerle yine taban külünün bir araya getirme çalışması olarak (Edil vd. 2000), bilhassa F ve C tipi uçucu kül ile taban külü ve kumu belirli oranlarda karıştırarak depolama tabaka malzemesi oluşturmuşlar ve buradan çıkan sonuçtan da (bu çalışmada olduğu gibi) permeabilitede istenilen veriyi elde edilemediği, yani 10^{-7} değerine yaklaşılamadığı görülmüştür.

Tüm bu verilerin ışığında bu kez, her iki granüle malzeme, tokmaklamak suretiyle daha da ezilerek, dane dağılımlarını 0.1 ile 2mm arasına düşürülüp, bir nevi inceltme yoluna

gidilmiştir. Ayrıca verilen karışım oranlarında, özellikle ana malzemelerin (Taban kılı veya Zeolit) bağlayıcı malzemeye oranı değiştirilmiştir. Buna göre, ağırlıkça oranlar, yani bağlayıcı (katkı) malzemesinin, ana malzemeye oranı tayin edilip buda, örneğın 100 birim taban kılıne 20 birim bentonit katılarak gerçekleştirilen deneyin karışım oranı “ % 20 bentonit katkı” olarak tanımlanmıştır. Burada bentonitin tüm karışım oranı ise 20/120 olup bir başka değişle, bağlayıcı malzemenin tüm karışım oranı, % 16,6 olmaktadır. Bu çalışmalarımızda verilecek oranlar malzemelerin ağırlıkça birbirine (bağlayıcı, yani katkı malzemesinin ana malzemeye olan) % oranlarıdır.

Malzemeler inceltildikten sonra, Taban kılı + Bentonit ve Zeolit + Bentonit oranları biraz daha arttırılarak deneyler yenilenmiş ve görölmüştür ki, bentonit ince daneli malzemeye daha fazla bir araya gelerek şıkışabilmekte ve geirimsizlikte bu oranda artmaktadır. Taban kılı ve zeolit önce hiç katkısız (saf olarak) permeabilite deneyine tabi tutulup, kendi doğal geçirimsizlikleri belirlenmiştir.

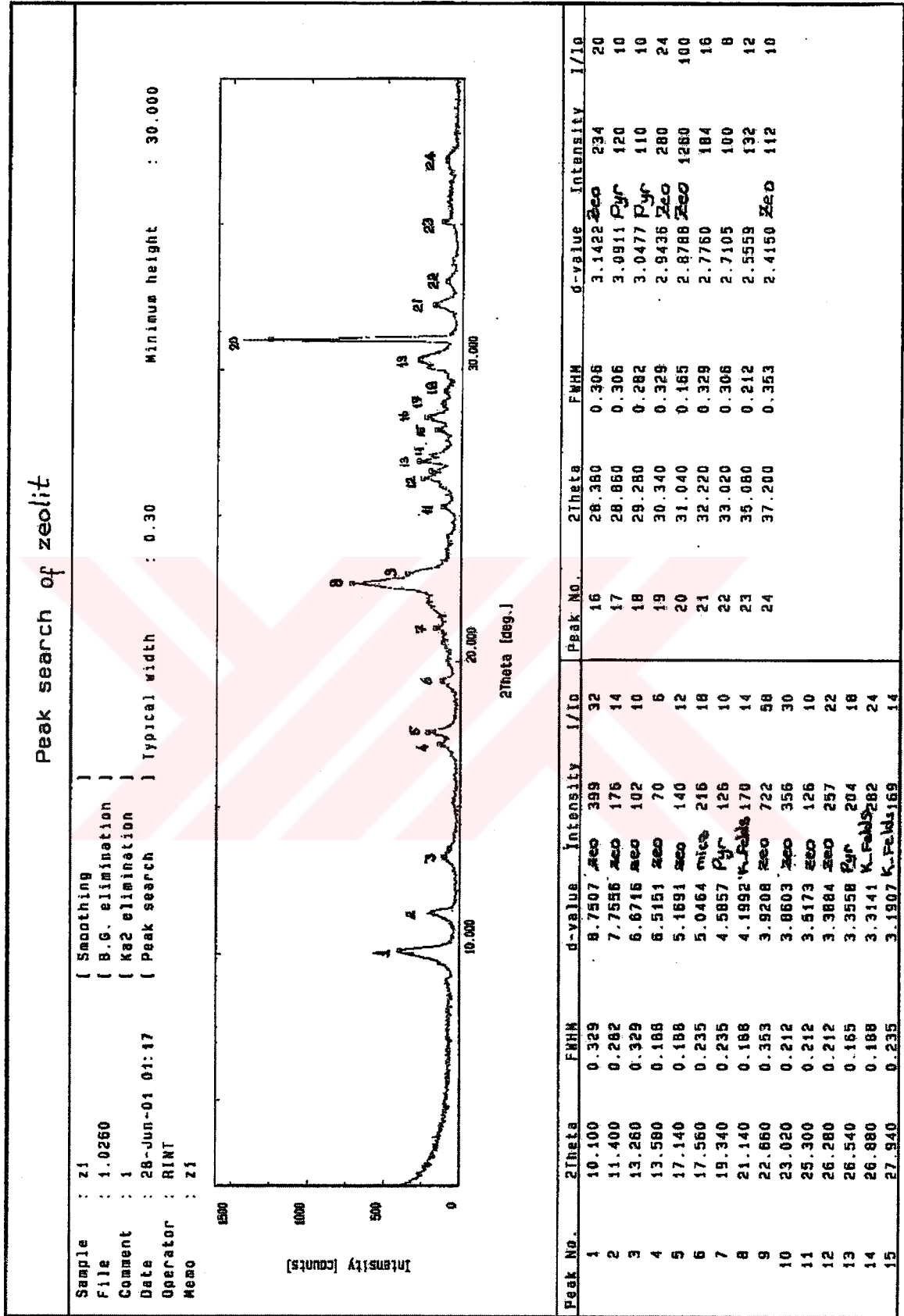
Bentonit katkısı arttırıldıkça, geirimsizlikte o denli arttırmakta, fakat bu doğru orantı maliyetle de aynı yönde artmaktadır. Elde edilen aralıklardan özellikle taban kılı + bentonit karışım oranında % 30 oranı, elde edebileceğimiz en optimum permeabilite değerini ve en ekonomik karışımı vermektedir.

Geçirimsizlik istenilen standartlarda sağlanıldıktan sonra, bu çalışmanın ikinci kısmı olan malzemelerin çevresel etki ve verimliliğini belirlemek üzere evre Müh. Laboratuvarları deneylerine geçilmiştir. Uygun dane çapı, karışım oranları ve permeabilite katsayısı belirlenen taban malzemelerinin, çöp alanında oluşacak sızıntı sıvılarının içeriğindeki kirletici parametreleri temizlemesi açısında kabiliyetleri ölçölmüştür. Bunun için çöp sızıntı suyunu tabakalardan süzdürmeden önce, her bir malzemenin, özellikle ağır metaller olmak üzere diğer kirletici parametreleri tutabilmeleri açısından bireysel olarak kabiliyetleri ölçölmüştür. Bu amaçla laboratuarda hazırlanan sentetik sıvılar, her bir malzeme ile ayrı ayrı standart metotlara (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA,AWWA,WEF, 19th Ed.,1995”) göre deneye tabi tutularak,ağır metal adsorblama kapasiteleri belirlenmiştir.

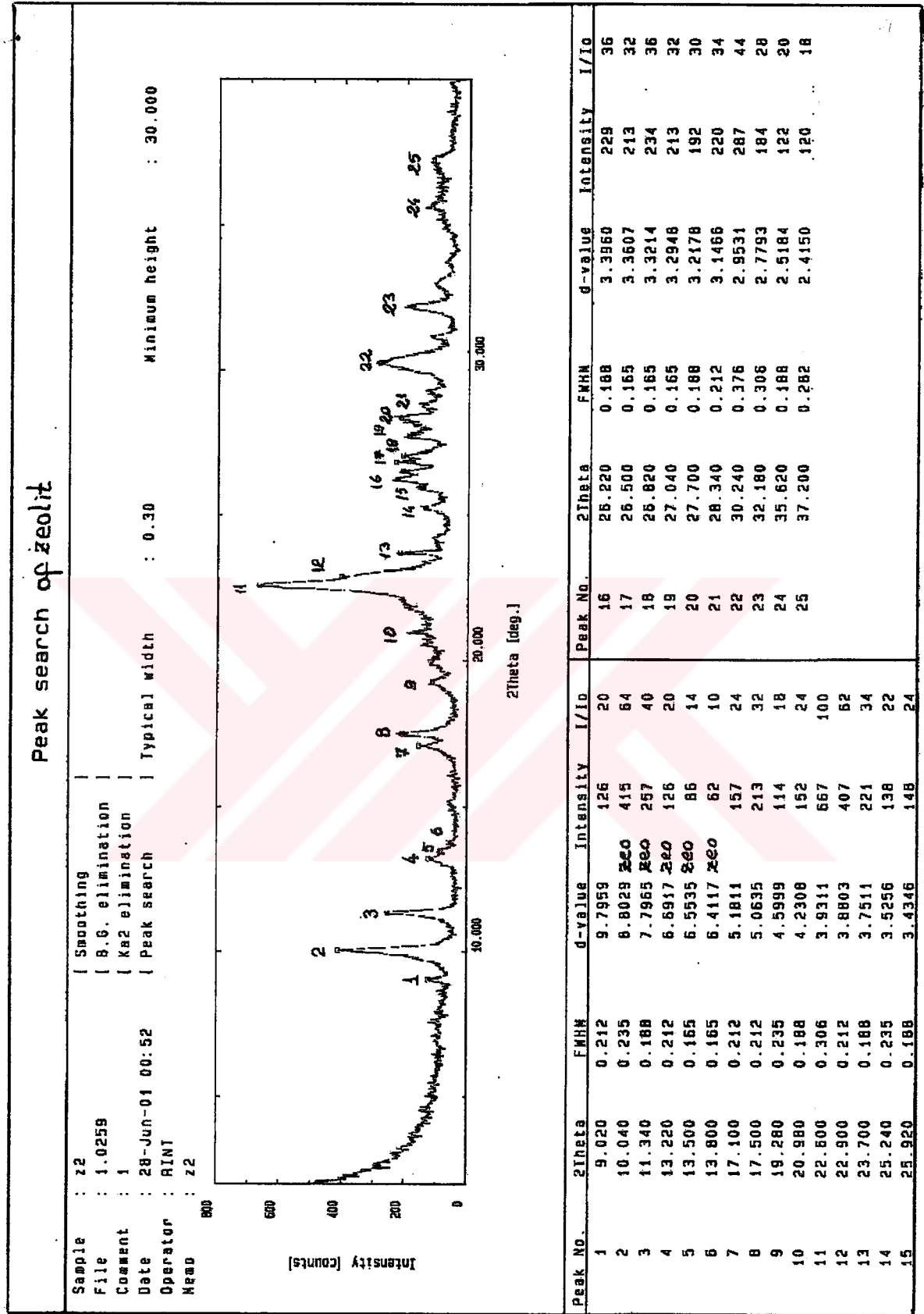
Bir diğer aşamada ise, Odayeri öp depolama alanından getirilen sızıntı sıvılarını, başta elde edilen en uygun dane çapı ve karışım oranlarında bir araya getirilmiş tabakalardan, hem oluşturulan kolonlardan, hem de düşen seviyeli permeabilite deney aparatından geçirilerek elde edilen çıkış (süzöntü) suyunu atomik adsorbsiyon spektrometrede okutulmuştur. Düşen

seviyeli permeabilite deney aparatından, “Bentonit +Zeolit” ve “Bentonit + Taban k   ” ayrı ayrı denenmiştir, çıkış suyu konsantrasyonunda ağır metal ve kirletici parametreleri tutabilmeleri açısından, her iki karışımında da % 30’luk oranları en optimum sonuçları vermiştir. İlk aşamada sızıntı suyu verilmesi üç ay devam ettirilmiş, fakat bentonit +zeolit karışımından çıkışta ancak 20 ml.lik s   nt   suyu toplanabilmiştir ve bu miktarla pek fazla deney gerçekleştirilememiştir. Sonuç olarak, permeabilite değeri zamanla azalmakta, yani geçirimsizlik artmaktadır. Bunun sebebide, tabakalar su ile beslendikçe bentonitin şişmesi devam etmekte, aynı zamanda da çöp suyunun bünyesindeki partik  ller boşlukları doldurarak, azda olsa var olan geçirimliliği yok etmektedir. Dolayısı ile hem zeolit hemde taban k    karışımlarından elde edilmek istenen temizlenmiş (s   nt  ) su çok fazla toplanamamıştır. Bundan sonra deneyler 6 ay daha devam ettirilmiş, bu süre içinde toplam olarak verilen 10 lt.lik çöp sızıntı suyunun, kurulan sekiz ayrı permeabilite aparatından toplam olarak, yaklaşık 950 ml s   nt   suyu elde edilmiş, bununla ise aşağıdaki deneyler ger ekleştirebilinmiştir. Tüm deneyler, standart metotlara (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA,AWWA,WEF, 19th Ed.,1995”) göre yapılmıştır. Fakat zaman ilerledikçe ve tabaka malzemeleri sızıntı suyu ile beslendikçe, elde edilen çıkış (s   nt  ) su miktarı daha da azalmaya başlamıştır. Bilhassa zeolit + bentonit karışımı hemen hemen hiç çıkış suyu vermemeye başlamış ve artık permeabilite değerleri 10^{-11} gibi çok düşük değerler düşmüş olduğu gözlenmiştir. Aynı geçirimsizlik olayı zamana bağlı olarak taban k    + bentonitte (aynı oranda olmasa da) karşılaşılmış ve bu karışımdada geçirimsizlik değerleri 10^{-9} ’a kadar inmiştir.

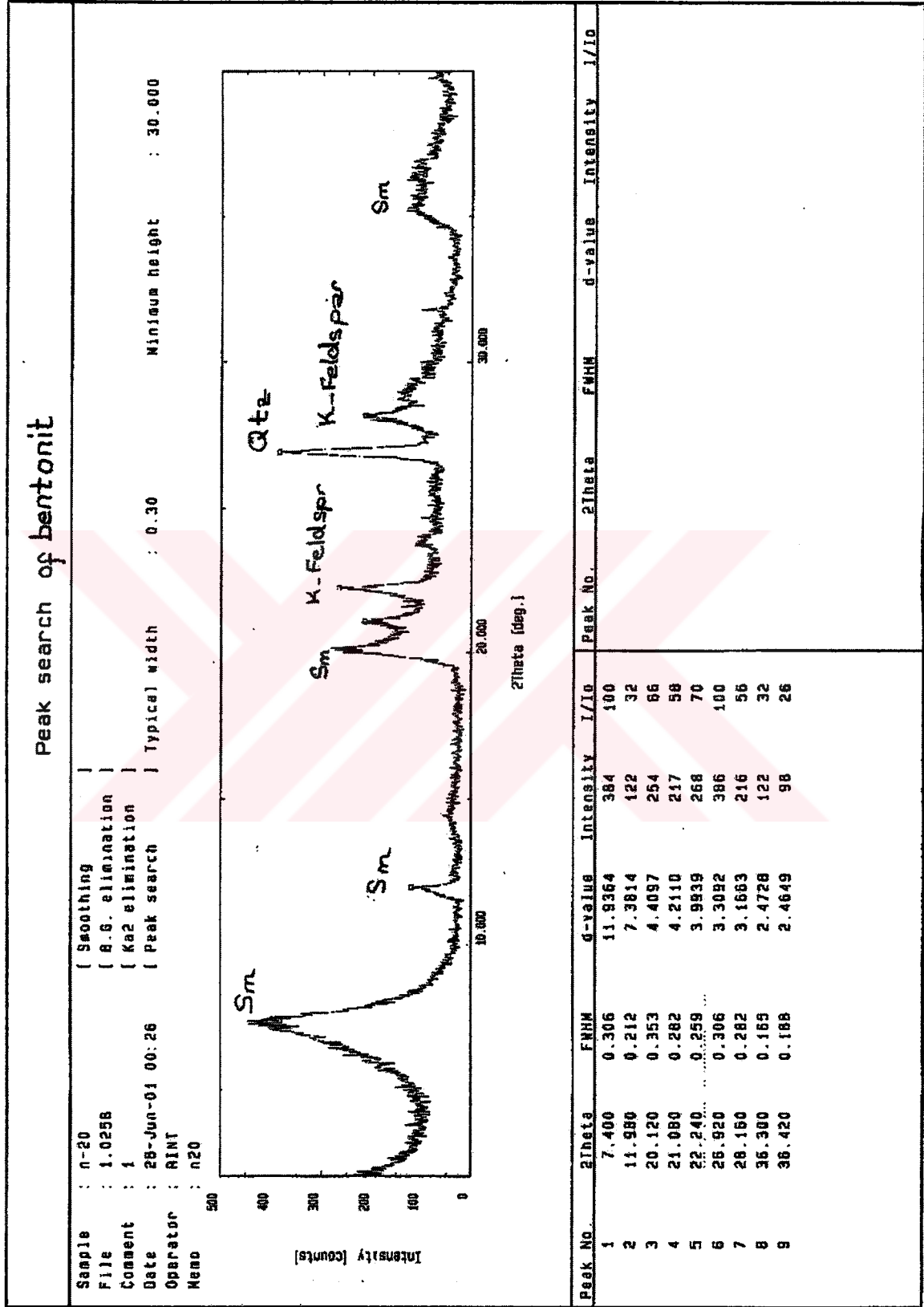
Son olarak malzemelerin adsorbsiyon izoterm eğrileri incelenmiştir. Bunun için ilk önce deneylerde referans malzemesi olarak gösterilen, Taban k    + Bentonit adsorblayıcı olarak, adsorblanan madde içinse, ağır metallerden toksik etkisi bulunan Pb (kurşun) seçilmiştir. Yapılan bu adsorbsiyon deneyinde, idealize edilen izoterm eğrisi elde edilemediği için, deneyde Pb yerine Amonyak azotu (NH_3N) kullanılmıştır. Daha sonra sonuçlardan da görüleceği üzere NH_3N  ıkış konsantrasyonu, tüm aralıklarda hemen hemen aynı sonucu vermiş ve yaklaşık % 96’lık sabit bir giderim sağlanmıştir.



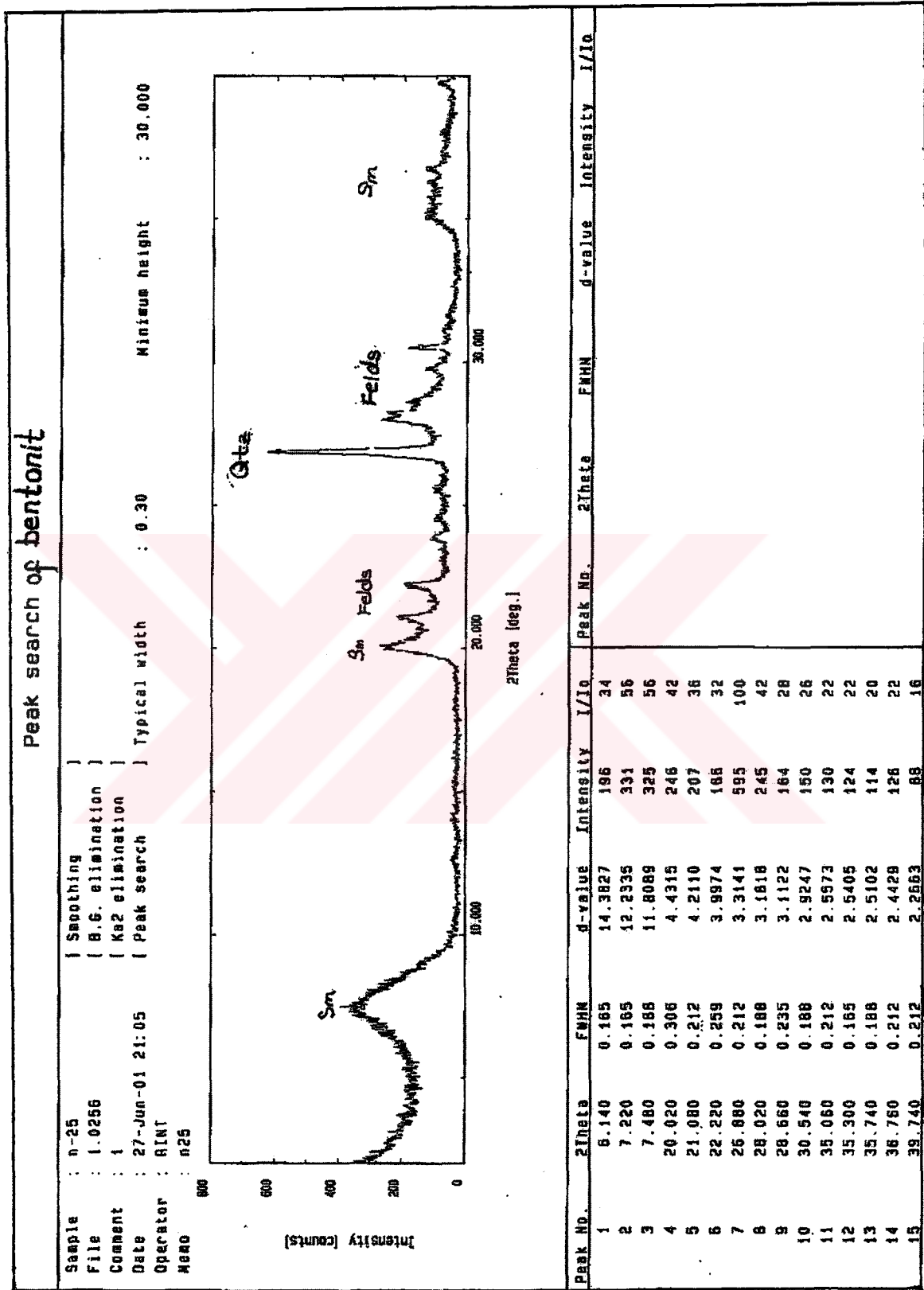
Şekil 4.3 Zeolite ait X-Ray deney verileri



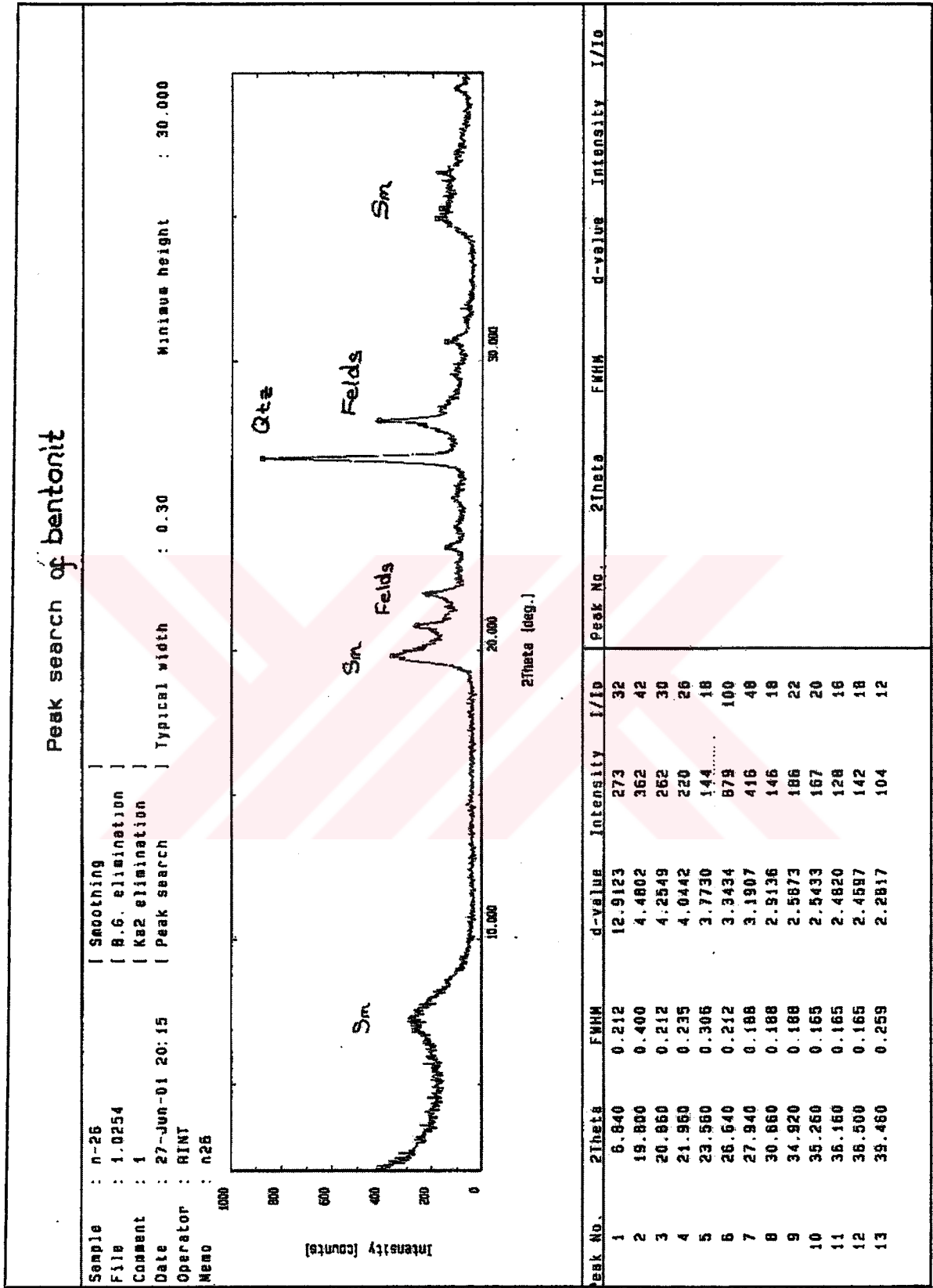
Şekil 4.4 Zeolite ait X-Ray deney verileri



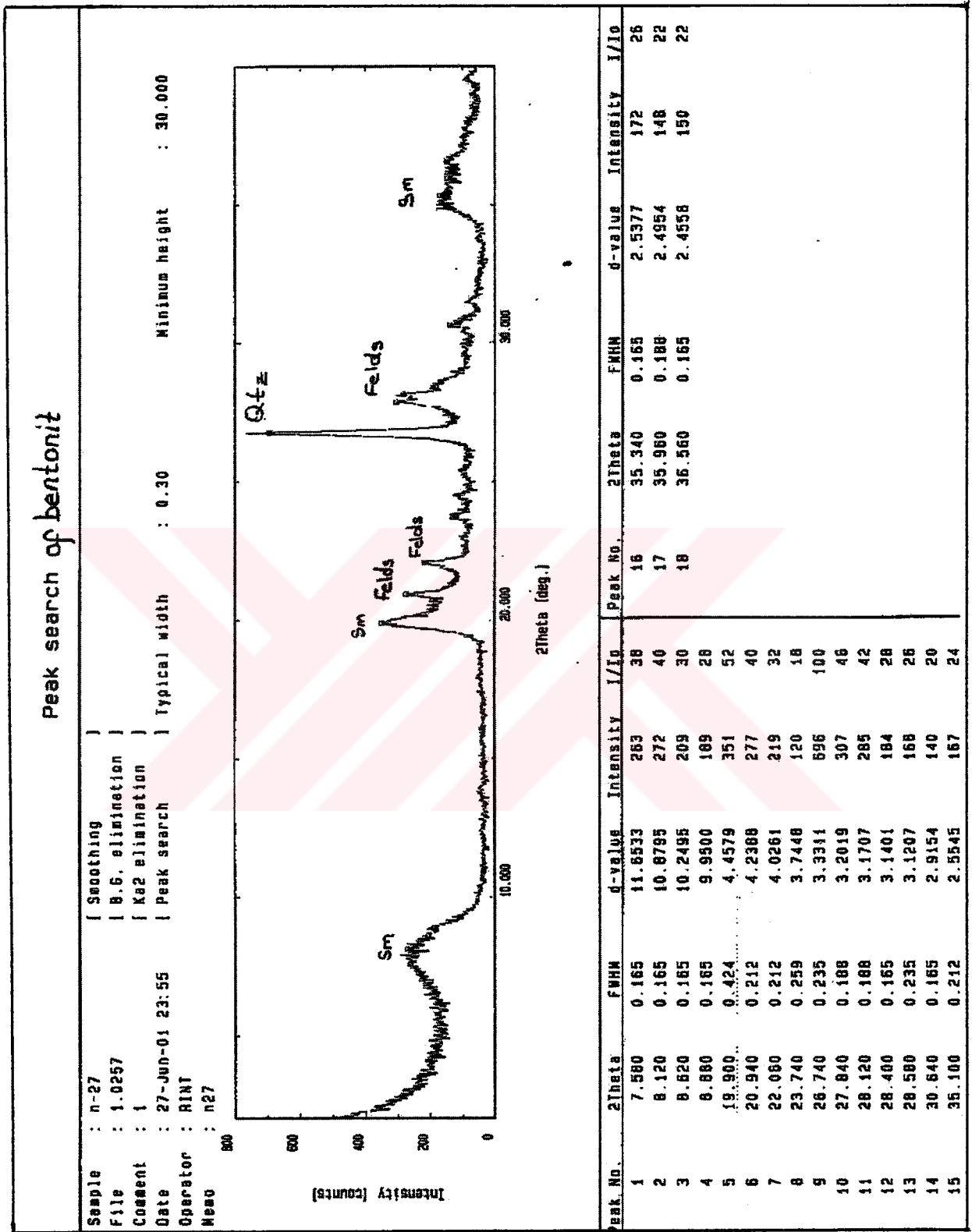
Şekil 4.5 Bentonite ait X-Ray deney verileri



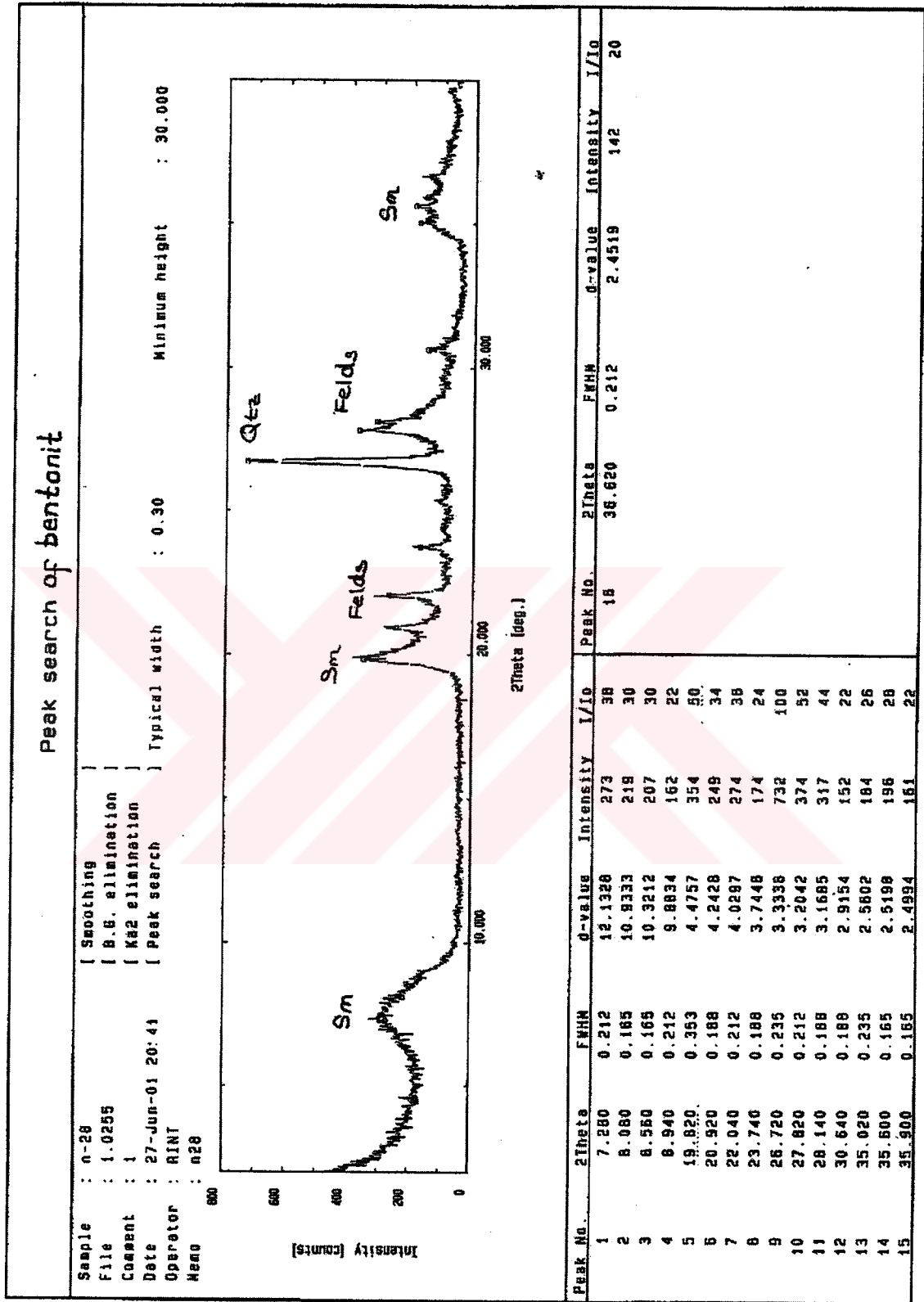
Şekil 4.6 Bentonite ait X-Ray deney verileri



Şekil 4.7 Bentonite ait X-Ray deney verileri



Şekil 4.8 Bentonite ait X-Ray deney verileri



Şekil 4.9 Bentonite ait X-Ray deney verileri

4.2.2 Malzemelerin kimyasal özellikleri

4.2.2.1 pH değerlerinin belirlenmesi

İleride gerçekleştirilecek farklı deneylerde, bu özelliğin yapılacak deney sonuçlarına ne gibi bir etki de bulunabileceği gözlemek amacı ile saptanmıştır.

Bunun için; zeolit, bentonit ve taban külünden 2'şer gr. numune tartılıp, beher içinde üzerlerine 10 ml.distile su koyulmuş (1/5 oranında) ve karıştırıcılarla 10 dakika süre ile karıştırıp, elde edilen karışımı pH metre ile ölçümleri yapılmıştır. Buna göre her bir malzemenin pH değeri şu şekilde ölçülmüştür.

Çizelge 4.1 Malzemelerin pH değerleri.

	<i>ZEOLİT</i>	<i>BENTONİT</i>	<i>TABAN KÜLÜ</i>
pH	7,3	8,7	11,8

4.2.2.2 Organik madde içerikleri

Malzemelerin bu özelliklerini tayin etmek için öncelikle kapların daraları tartılmıştır, daha sonra her bir malzemedan 5'er gr.lık numuneler (net) alınıp, 550 °C de etüvde 2 saat bekletilmiştir. Etüvden çıkartıldıktan sonra, dara + numune tekrar tartılmıştır ve aradaki fark malzemelerin içerdiği organik madde miktarını göstermektedir

Çizelge 4.2 Malzemelerin organik madde içerikleri.

Değerler	Organik madde oranları(%)
ZEOLİT	8,84
BENTONİT	12,65
TABAN KÜLÜ	6,77

4.2.2.3 Malzemelerin bünyesindeki ağır metal içerikleri

Malzemelerin sızıntı suyunu absorbladıktan sonra bünyelerine alabilecekleri ağır metalleri saptamadan önce, kendi içeriklerinde bulunan ağır metallerin ne olduğu ve ne kadar olduğu, bir diğer anlatımla, malzeme yapısı olarak ağır metal artıkları taşıyıp taşımadığı kontrol edilmiştir. Bunun için, malzemelerden 2,5 gr.'lık numuneler tartılmıştır. Beherlere konulan

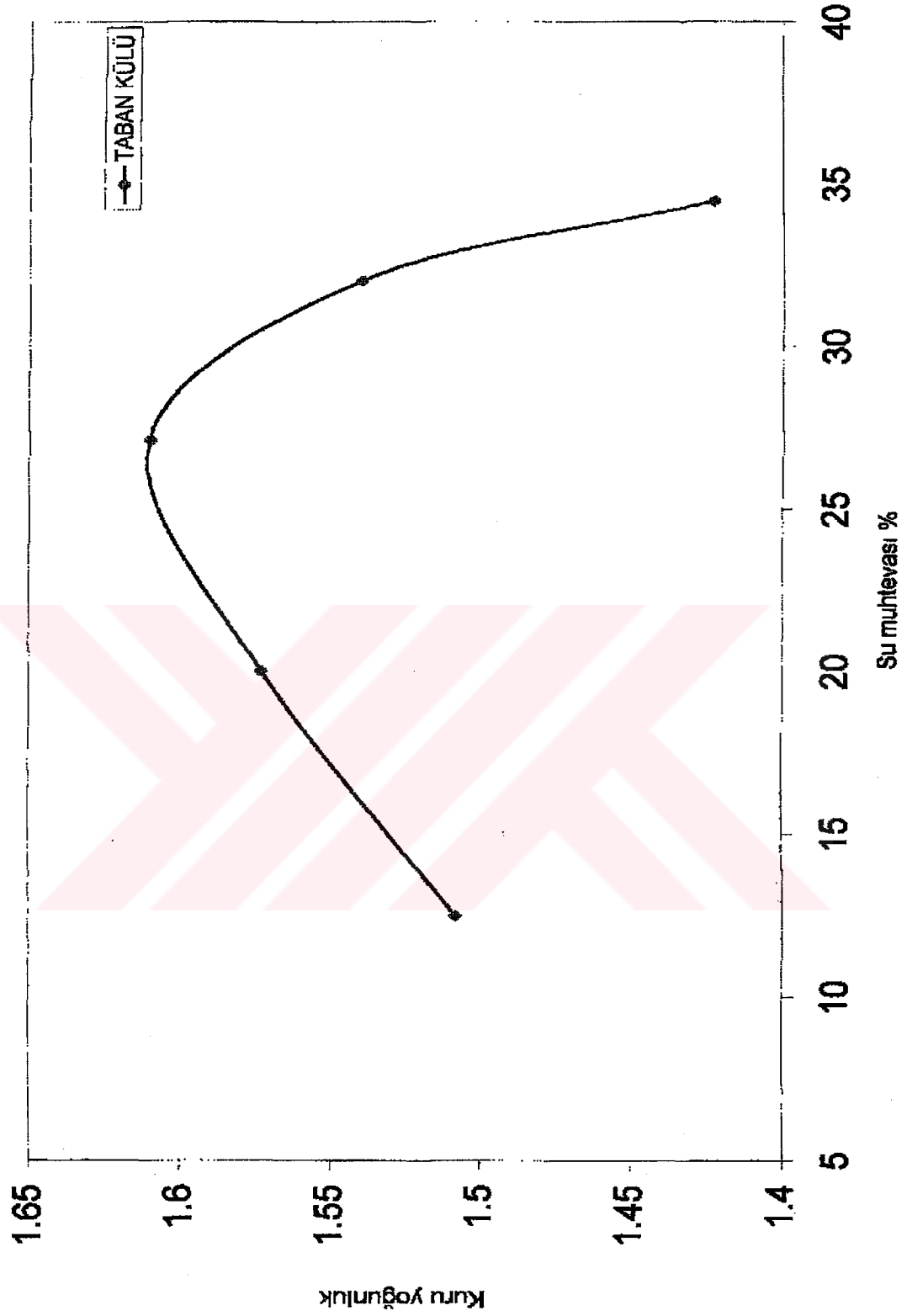
her bir numunenin üzerine, hazırlanan 100 ml.'lik HNO_3 ve HClO_4 (1/2 oranında) karışımdan 10'ar ml. koyup, 3 saat süreyle ısıtılarak, her üç malzemede bu işlem sonucunda parçalanarak beyaz bir renk alıncaya kadar devam ettirilmiştir. Numuneler bir süre bekletilip çökmesi sağlandıktan sonra üste kalan durulmuş sıvı süzülüp, atomik spektrometrede ölçülerek, içerdikleri ağır metaller saptanmıştır. Aşağıda Çizelge 4.3'de malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içerikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 .malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içerikleri.

Mg /kg	Pb	Cr	Zn	Ni	Cu	Fe	Mn
Zeolit	44	4,4	77,2	1,6	4,4	2560	130
Bentonit	24	45,2	58,8	70,8	24,8	14000	236
Taban külü	30	404,8	43,2	108,4	37,6	18480	176

4.2.3 Standart proktor deneyi

Deneylerde önce her bir malzemenin tek tek sıkışabilme özelliği araştırılmıştır. Ancak killerin, zeolit ve taban külünün laboratuvarında, önce kendi başına (bağlayıcı) kullanmaksızın, sıkışabilirliğine bakılmıştır. Bunun için, 105 mm çapında ve 115,5 mm yüksekliğindeki proktor molduna suyla karıştırılmış taban külü 3 tabaka halinde yerleştirilmiş; her bir tabakaya da proktor tokmağı ile 25 vuruş (düşüm) uygulanmıştır. Su muhtevası, hacmi ve kütlesi bilinen malzemenin, böylece kuru yoğunluğu da bulunmuştur. Bulunan değerler hesaplamalar sonucu $\gamma_n = \frac{W_T}{V_T}$ bağıntısından kuru birim hacim ağırlıklar tespit edilmiş, grafik olarak idealize edilmiş eğriye ulaşılabilmektedir (Şekil 4.10). Bu deney TS 1900/(Nisan 1987) 'e göre yapılmıştır.



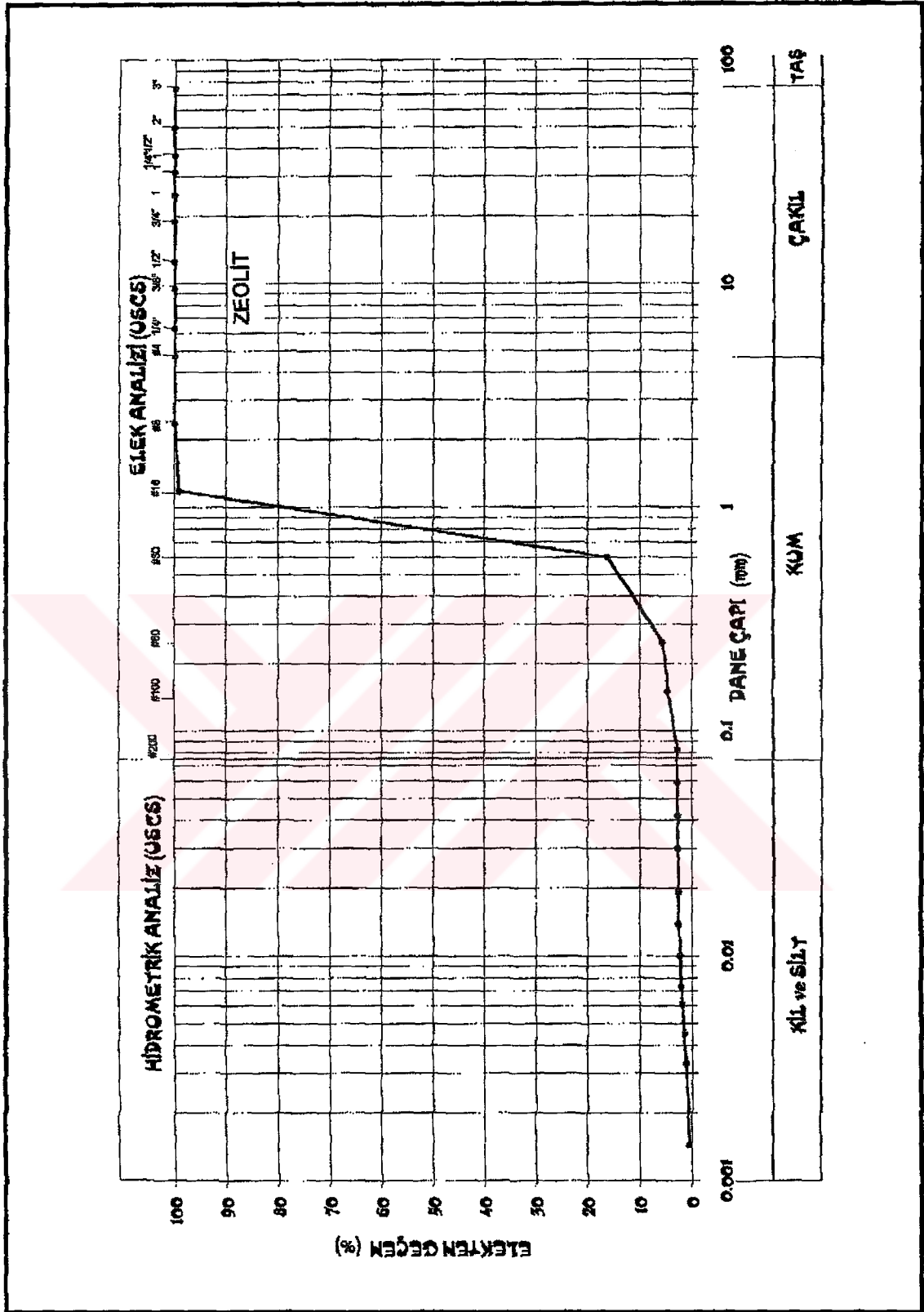
Şekil 4. 10 Taban külüne ait standart proktor deneyinden elde edilen su muhtevası eğrisi

4.2.4 Dane apı dağılımı (elek analizi) deneyi

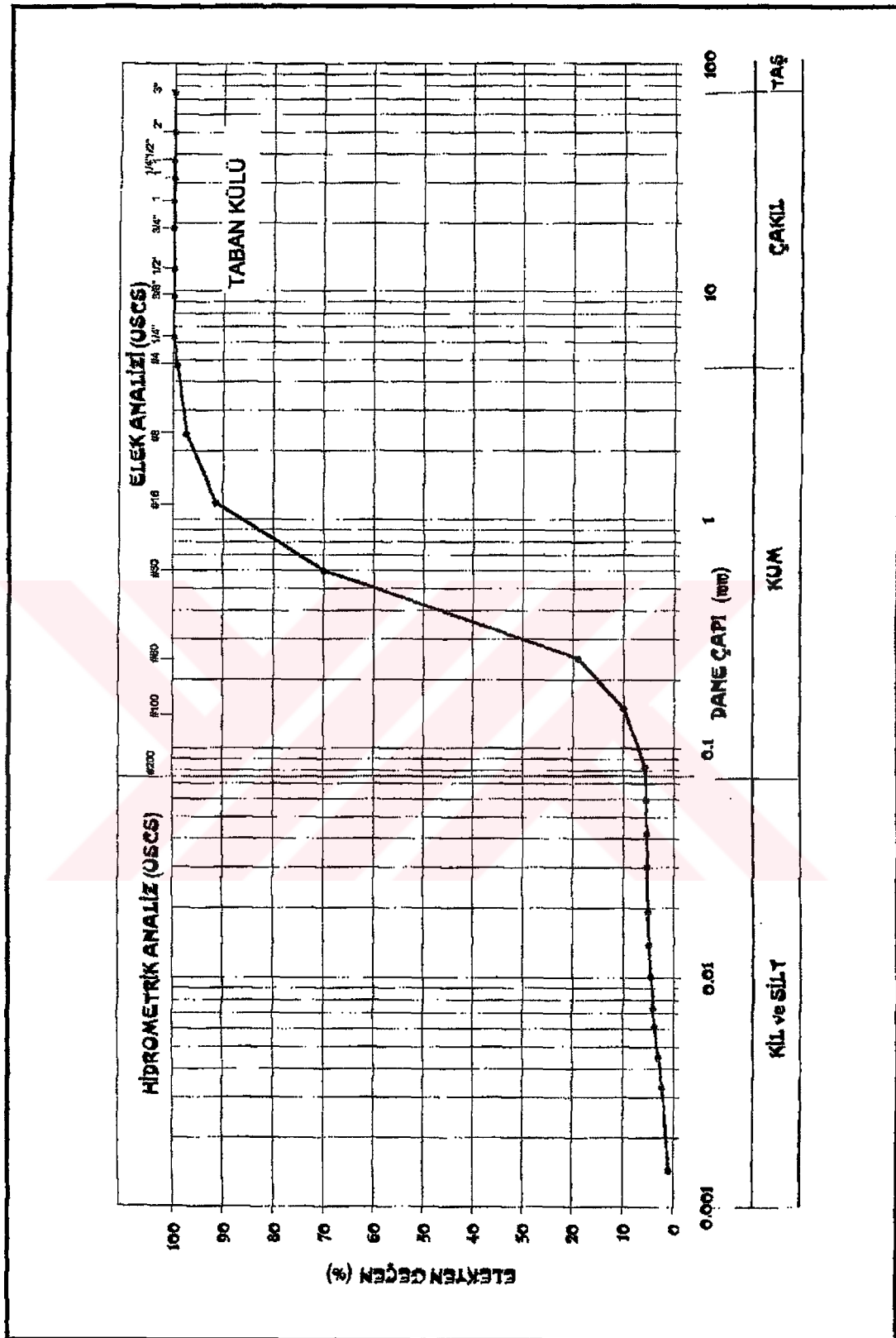
Deneye başlanmadan önce her bir malzeme 105°C’de Etüvde kurutulmuştur. Böylece elek gözeneklerinde topaklaşması önlenmiş oldu. Numuneler önce 200 nolu elekten geçirilip, 200 nolu elek altında kalan malzemeden 50 gr alınarak hidrometre deneyi yapılarak, tane çapı dağılımları belirlenmiştir (TS 1900/Nisan 1987).

Şekil 4.11’de Elek analizinden elde edilen zeolite ait granülometri eğrisi ve Şekil 4.12’ de Elek analizinden elde edilen taban külüne ait granülometri eğrileri görülebilmektedir. Eğriler, özellikle permeabilite deneyleri için uygun dane dağılımı aralığını belirlemektedir.





Şekil 4.11 Elek analizinden elde edilen zeolite ait granülometre eğrisi



Şekil 4.12 Elek analizinden elde edilen taban külüne ait granülometri eğrisi

Çizelge 4. 4 Taban külü ve Zeolitin Bentonitle belirli oranlarda karışımları ve elde edilen permeabilite değerleri (Taban külü ve bentonit dane çapı 1-5 mm.)

KARIŞIMLAR	Bentonit (%) karışım oranlarında permeabilite değerleri				
	% 10	% 15	%20	%25	%30
Tab.külü+% bentonit	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-6}
Zeolit+% bentonit	7×10^{-4}	1×10^{-5}	2×10^{-6}	2.1×10^{-6}	3×10^{-6}

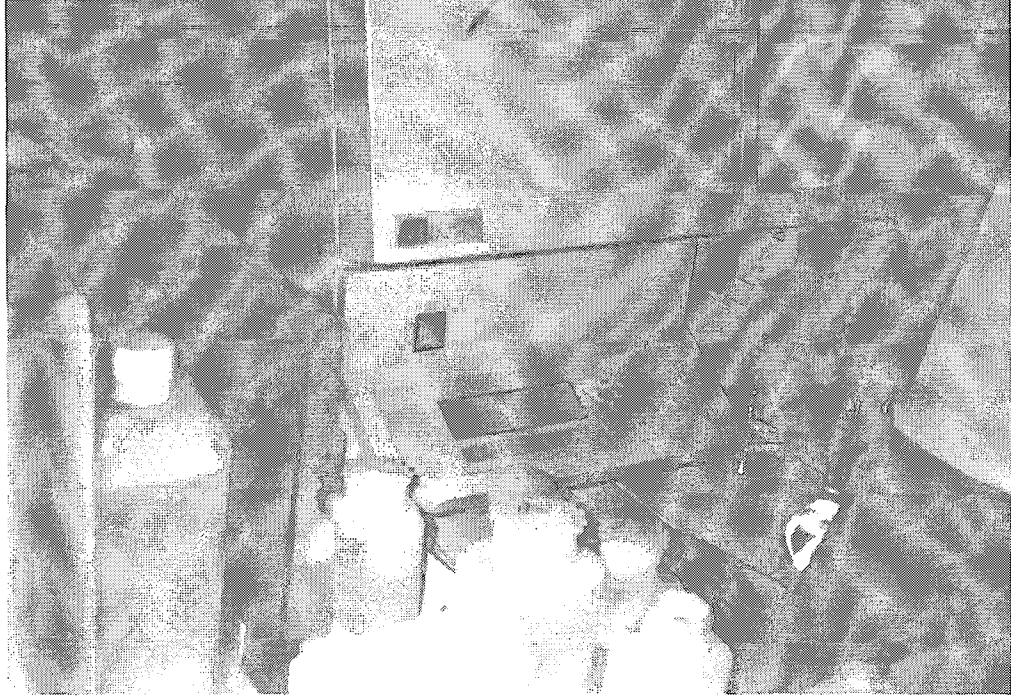
Yukarıda Çizelge 4.4’de görüleceği üzere en düşük permeabilite değeri 10^{-6} elde edilebilmiştir. Bundan sonra dane çapları 0.1 ila 2mm. arasında dağılacak şekilde inceltilmiştir. Yine aynı karışım oranlarında bir araya getirilip, deney yenilenmiştir. Elde edilen veriler, aşağıda Çizelge 4.5’de mevcuttur.

Çizelge 4.5 İnceltilmiş Taban külü ve Zeolit Bentonit karışım ve permeabilite değerleri (dane çapları; 0.1-2 mm. arasında olduğunda)

KULLANILAN TABAKA MALZEMELERİ	BENTONİT (%) KARIŞIM ORANLARINDA PERMEABİLİTE DEĞERLERİ				
	% 0	% 10	% 20	% 30	% 40
Taban külü+% bentonit	2.1×10^{-3}	5.5×10^{-5}	6.2×10^{-7}	8.1×10^{-8}	2.1×10^{-8}
Zeolit+% bentonit	3.5×10^{-3}	7.1×10^{-4}	2.1×10^{-6}	1.1×10^{-7}	3.2×10^{-8}

4.2.6 Malzemelerin ağır metal adsorblama kapasitesinin bulunması (Sentetik sıvılarla)

Bu deney için önce laboratuvar ortamında sentetik çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltilerden, önce 5’er gr’lık, daha sonra 10’ar gr’lık tartılan malzeme numunelerine, beher içinde 100’er ml. Eklenilip, numune +çözelti karışımları 500 devir / dakika hıza sahip karıştırıcılarla, bir saat süreyle karıştırılmıştır. Bu işlemden sonra bir süre dinlenmeye bırakılan karışımlar, durulmaya başlayıp dibe çökdikten sonra, üstte kalan sıvı alındı ve atomik adsorbsiyon spektrometrede, konsantrasyon (ağır metal) değerleri tek tek okutulmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Malzemelerin ağır metal adsorblama kapasitelerinin, Atomik adsorbsiyon spektrometrede ölçümü

Çizelge 4. 6 Malzemelerin ağır metal adsorblama kapasitesi (Sentetik sıvı içerisinde)

Ağır metaller	Sentetik.çözelt.madde giriş konsant.(mg/l)	Karışından sonra numunelerin madde çıkış konsantrasyonları					
		Zeolit (5gr)	Bentonit (5gr)	Taban kül. (5gr)	Zeolit (10gr)	Bentonit (10gr)	Taban külü (10gr)
Pb	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	–	–	–
Ni	1	0,62	< 0,01	< 0,01	0,35	–	–
Cu	30	11,4	0,07	0,06	6,4	–	0,06
Cr	10	1,1	0,09	0,15	–	–	–
Fe	50	26,3	0,025	< 0,01	13,5	–	–
Zn	1	0,82	0,05	< 0,01	0,44	–	–
Ca	2,45	43,1	27,5	160	>	>	>

4.2.7 Oluşturulan taban malzemelerinden çöp depolama suyunun geçirilmesi (süzdürülmesi)

Odayeri düzenli çöp depolama alanından getirilen sızıntı suyu, permeametre düzeneyinden geçirilmiştir. Verilen sızıntı sıvı miktarı yaklaşık (her malzeme karışımına) 1000 ml. dir. İlk aşamada her bir karışımda bu miktar hemen elde edilememiştir. Çıkış suyu miktarı, yaklaşık 20 ml.olup,bu miktarla ancak alttaki deney sonuçlarına ulaşılabilmiştir.

Çizelge 4. 7 Çöp sızıntı suyu ile tabakalardan geçirilen süzüntü suyu konsantrasyonlarının karşılaştırılması.(12.08.2003 tarihinde elde edilen deney sonuçları)

Değerler	Çöp sızıntı suyu (mg/l)	Tabakalardan Süzölmüş su(mg/l)	
		Bent+Taban küllü	Bentonit+ zeolit
pH	6,9	9,1	7,7
KOl	33850	2400	155
AKM	825	33	
Top. P	3,05	1,04	
TKN	1036	67	

Bundan sonraki aşamada ise, sızıntı suyu oluşturulan taban malzemesinden geçirilme işlemi altı ay boyunca devam ettirilmiş, toplanan (tabakalardan süzölmüş çöp süzöntü) suyu, standart metodlarla deneylere tabii tutulup, yine gereken standart parametreler, aşağıda Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Odayeri düzenli katı atık depolama alanındaki çöp sızıntı suyunun, oluşturulan depolama taban malzemelerinden süzdürüldükten sonra (08.02.2004 tarihinde), elde edilen çıkış suyu parametreleri

Parametreler	Çöp sızıntı suyu (Giriş kons. C ₀)	(%) Bentonit katkısı + Taban kütü (Çıkış konsant. mg/l)			(%) Bentonit katkısı + Zoeolit (Çıkış konsant. mg/l)		
		% 20	%30	%40	%20	%30	%40
pH	7.38	11.87	9.7	8.07	7.37	7.51	7.68
Elek.İletken.	43400	4010	1800	1770	3240	5030	6240
KOİ	24950	2900	2400	1110	75	140	415
AKM	825	23	33	81	26	126	85
Toplam P	17.05	1.95	1.04	1.25	0.7	1.9	2.9
Org-N	678	107.05	44.35	-	5.6	7,5	36.4
NH ₃ N	2900	89.6	98	8.4	-	-	-
TKN	1036	89.6	67	8.4	5.6	23.8	36.4
Fe	85	0.14	0.11	0.07	0.89	0.39	0.09
Pb	1.618	0.07	0.11	-	0.1	0.08	0.07
Cr	0.793	0.06	0.01	-	0.04	0.07	0.08
Cu	0.876	0.06	0.03	-	0.01	0.02	<0.01
Cd	0.115	0.01	<0.01	-	<0.01	0.02	0.03
Ni	1.703	0.07	0.04	-	0.02	0.04	0.06
Zn	1.287	0.1	0.19	-	0.29	0.25	0.4
Mg	-	74	36	-	2500	3375	3600
Mn	9.101	0.03	0.07	-	0.54	0.6	1.57
Ca	-	92	18	-	118	182	184

4.2.8 Adsorbsiyon izoterm deneylerinin yapılışı

Deneylerde referans malzemesi olarak gösterilen, Taban kütü + Bentonit adsorblayıcı (adsorbent) olarak, adsorblanan madde içinse, ağır metallerden toksik etkisi bulunan Pb (kurşun) seçilmiştir. Pb(NO₃)₂ çözelti halinde 1000 mg/lt. hazırlanmıştır. Tüm çözeltinin molekül ağırlığından, Pb'nin molekül ağırlığı çıkarılıp, çözelti içinde aranması gereken Pb konsantrasyonu bulunup, yine 10 gr.lık taban kütü ile 3 gr.lık bentonit tartılarak, homojen bir yapı elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışımdan 0,5 gr.lık 13 adet numune hazırlanmıştır. Bundan sonra standart metodlar uygulanarak deneyler

gerçekleştirilmiştir. Filtreden geçirilen (süzülmüş) numunelerin çıkış (Pb) konsantrasyonları, atomik adsorbsiyon spektrometrede (ATI-Uncam 929 AA spectrometer) okutulmuştur.

Elde edilen veriler, Çizelge 4.9’da giriş ve çıkış konsantrasyon değerleri verilmiştir. Çözeltilerin giriş (C_0) pH değeri; 4,87 ve çıkış; 7,7 ‘dir.

Çizelge 4.9 Adsorbsiyon izotermi Pb giriş ve çıkış konsantrasyon değerleri

	Numune	Çözelti(Pb)giriş	Çıkış (Pb)	Adsorblanan
	Ağırlık	Kons.	kons.	Miktar
	(gr)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	0,5080	10	0,4090	9,591
2	0,5060	20	0,5010	19,499
3	0,5060	40	0,5470	39,453
4	0,5073	60	0,5010	59,499
5	0,5040	100	0,8068	99,1932
6	0,5080	150	11,57	138,43
7	0,5080	200	2,626	197,374
8	0,5084	250	2,610	247,39
9	0,5064	300	2,549	297,451
10	0,5050	400	3,711	396,289
11	0,5055	600	5,311	594,669
12	0,5083	800	4,231	795,769
13	0,5080	1000	6,432	993,568

Yapılan bu adsorbsiyon deneyinde , idealize edilen İzoterm eğrisi elde edilemediği için, Taban kütü +(%30) Bentonit karışımının adsorblama kapasitesi yönünden izotermi araştırmak üzere Pb yerine bu defa Amonyak azotu (NH_3N) kullanılmıştır. Ayrıca bir önceki Pb konsantrasyonunda denenen 0.5 gr.’lık sabit malzeme aralıkları bu kez 0.1 gr.dan başlayarak 20 gr.’a kadar yükselen 13 farklı aralık tesbit edilmiş ve diğer deneydeki değişken konsantrasyonu (C_0), bu deneyde 250 mg/l NH_3N sabit aralığı tutulmuştur. Standart metotlara göre yapılan bu deney sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.10’da görülebilir.

Çizelge 4.10 Taban külü+(%30) Bentonit karışımının, NH_3N adsorblama kapasitesinin izoterme göre incelenmesi

Taban külü+%30Ben (gr.)	pH	NH_3N giriş kon. C_0 (mg/l)	NH_3N çıkış kon. C_e (mg/l)	Adsorblanan miktar	
				(mg/l)	(%)
0.1031	8.55	250	9.304	240.696	96.2784
0.2506	8.80	250	9	241	96.4
0.5030	8.78	250	9.288	240.712	96.2848
0.7505	9.12	250	9.396	240.604	96.2416
1.0005	9.45	250	9.6	240.4	96.16
1.5006	9.87	250	9.264	240.736	96.2944
2.006	10.34	250	9.52	240.48	96.192
3.006	10.78	250	9.296	240.704	96.2816
4.002	11.76	250	9.48	240.52	96.208
6.0006	11.67	250	8.652	241.348	96.5392
10.007	11.88	250	9.32	240.68	96.272
15.003	11.84	250	9.42	240.58	96.232
20.002	11.96	250	9.328	240.672	96.2688

5. ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Kullanılan Malzemelerin Fiziksek ve Kimyasal Özellikleri

pH

pH değeri aslında her bir malzemenin oda sıcaklığında beher saf su içindeki pH dereceleri anlamına gelmektedir. pH değeri, zemindeki katyon değişim kapasitesini direk olarak etkilemektedir. Kil tanelerinin kenarlarından ve organik maddelerden ayrılan H^+ iyonu ve benzeri yükler atıkların pH değerini etkilemektedir. pH değeri artarsa, ortamın katyon değişim kapasitesi de artmaktadır. Düşük pH seviyelerinde kovalent bağ ile bağlanmış H^+ ayrışmaz, fakat yüksek pH değerlerinde H^+ katyonlar ile yer değiştirebilir. Karışımın yüksek pH değeri kil tanelerini dispers yapmakta ve kil taneleri yüzeyindeki negatif yükü arttırmaktadır. Dolayısıyla taneler arasındaki itmeyi arttırmaktadır. pH değeri, ortamda H^+ veya OH^- iyonlarının bulunma derecesini ifade etmektedir. pH değişimi zemin/su karışımını önemli ölçüde etkilemektedir (Saka, N.2001). Killi zeminler kirliliği bünyelerinde tutabilir. Bu durum, killeri kirlilik depolayıcısı yapabilir. Killi zeminler düşük permeabilitelerinden dolayı kirlitici sıvıların hareketini büyük ölçüde engellemektedir. Zeminin pH ve katyon değişim kapasitesi metal miktarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH değeri genellikle kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6 ile 8 arasında olmalıdır (Yüksel,Y.2001). Zemin içindeki kil mineralinin yüzeylerine katyon değişim kapasitesi ile adsorbe olur. Metaller genellikle killere ve organiklere sıkıca bağlıdır. Metal ile kil arasındaki işlemler; metal tipi, zemin tipi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraktaki metal konsantrasyonun ilerlemesi kolaylıkla gözlemlenebilir. Toprak pH değerinin ayarlanması ile düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklarda metallerin toprak içinde ilerlemesi durdurulabilir (Braja, 1990). Krom, kurşun, çinko ve mangan gibi ağır metaller suda çözünmektedir. Katyon değişim kapasitesi değeri metallerin zemin içinde tutulma kapasitesinin bir ölçüsüdür (Conner, J.R., 1990). Topraktaki metaller, bakır, krom, nikel, çinko, kurşun gibi metallerdir.

Çalışmada belirlenen pH değerleri 7,3-11,8 arasında değişmektedir. Sonuç olarak, ilk göze çarpacak olan değer taban külünün pH değeri olup, 11.8 gibi yüksek bir değer çıkmıştır. Bunun sebebi de taban külünün içeriğinde alkali ve toprak alkali metallerin bulunması şeklinde açıklanabilir Buradan yola çıkarak, pH değerinin yüksek olmasının avantajı olarak, ağır metaller kolayca çökebilip, malzeme gözeneklerinde rahatlıkla tutunabilir olmasıdır. Bunun göstergesi olarakda malzeme özelliklerinin tayininde, taban külü karışımının zeolit

karışımına nazaran ağır metal tutmada performansının daha yüksek olması bu durumu onaylamaktadır.

Elektriksel iletkenlik

Su ve atık arasındaki elektriksel iletkenlik, ortamdaki elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Elektriksel iletkenlik, karışım içerisinde iyon tipi ve sayısı ile ilgili olarak artar. Tane konsantrasyonu artarsa, kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve kolloidal tanelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini arttırmaktadır. Zemindeki tuz oranı elektriksel iletkenlik ile belirlenir. Elektriksel iletkenlik değeri 4 miliSiemens (4000 mikroSiemens/cm) değerinden fazla ise zemin tuzludur. Bu çalışmalarda bulunan elektriksel iletkenlik değeri Taban külü+%30 bentonit için, 1800 mikroSiemens/cm, zeolit+%30 bentonit içinde 6240 mikroSiemens/cm olarak saptanmış, bu değerler yukarıda verilen taban külü karışımına ait 4000 mikroSiemens/cm değerinden oldukça düşük, fakat zeolit karışımı bu değerden yüksek çıkmıştır.

X-Ray Difraction verilerinin değerlendirilmesi

Zeolite ve bentonite ait X-Ray Difraction metoduyla elde edilmiş (peak search) grafiklerine göre yapılan yorumlamalarda, zeolit'in, Z-1 ve Z-2 zeolit grubu minerallerden oluştuğu, bentonit'in ise, N-20, N-25, N-26, N-27 ve N-28 yani, % 98 simectite, % 2 quartz ve feldspat grubu minerallerden oluştuğu belirlenmiştir.

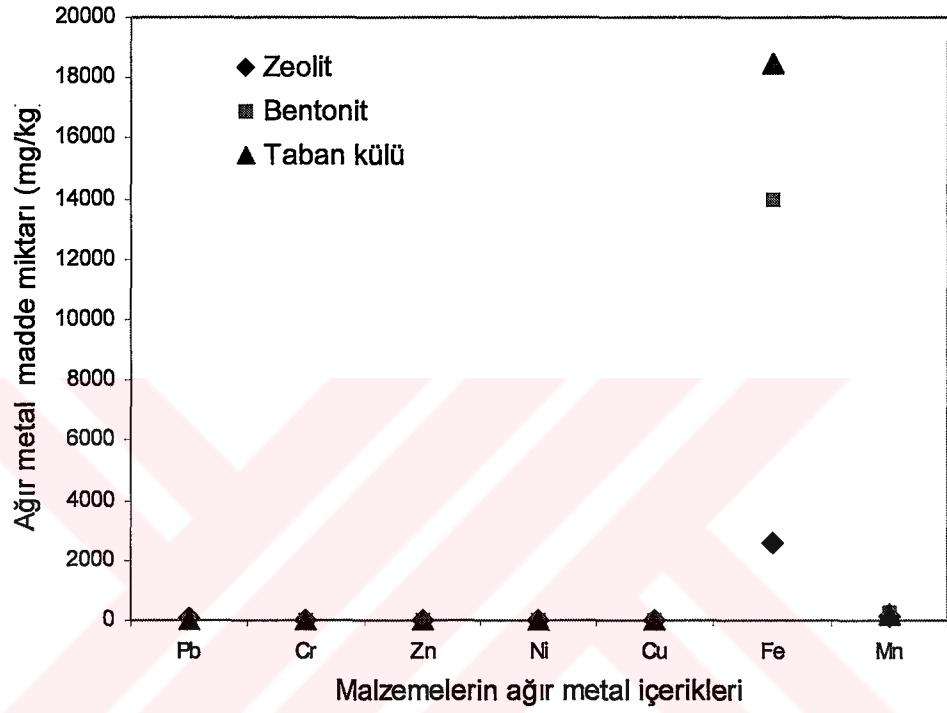
Malzemelerin organik madde içerikleri

Organik madde miktarı, su muhtevasının iyi bir göstergesidir. Zemin içindeki organik madde miktarı arttıkça su muhtevası da artmaktadır. Bunun nedeni suyun organik madde-kil ortamında tutulmasıdır. Zemine organik madde veya ham petrol ilavesi, organik madde miktarını arttırmaktadır. Deneyler sonucunda elde edilen organik madde miktarı ise, verilen standart değerler arasında çıktığı gözlenmiştir.

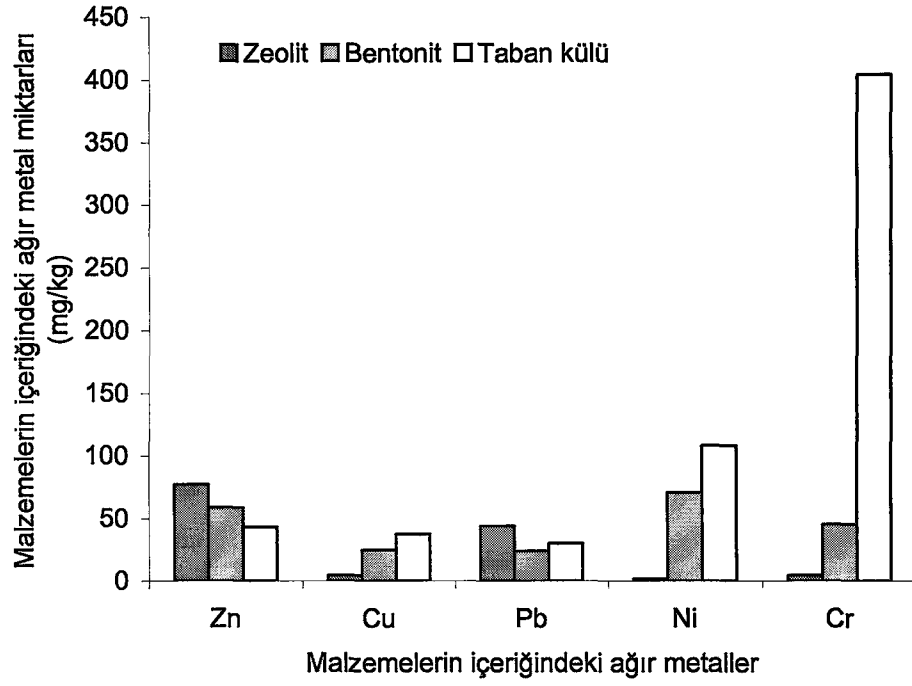
Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içerikleri

Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içeriklerinin birbirleri ile karşılaştırılmasında Şekil 4.9'da her üç malzemenin de sahip olduğu ağır metal miktarları açısından mukayese edildiğinde, en yüksek içeriği Fe (demir) miktarı oluşturmaktadır. Özellikle, taban külünde diğer iki malzemeye göre daha fazla Fe (18500 mg/kg) miktarı bulunmaktadır. En az miktar ise zeolitte (2560 mg/kg) Fe bulunmaktadır. Diğer içerikler açısından, Şekil 4.16 incelendiğinde, taban külü Cr (krom) miktarı bakımından bentonit ve zeolite göre en yüksek

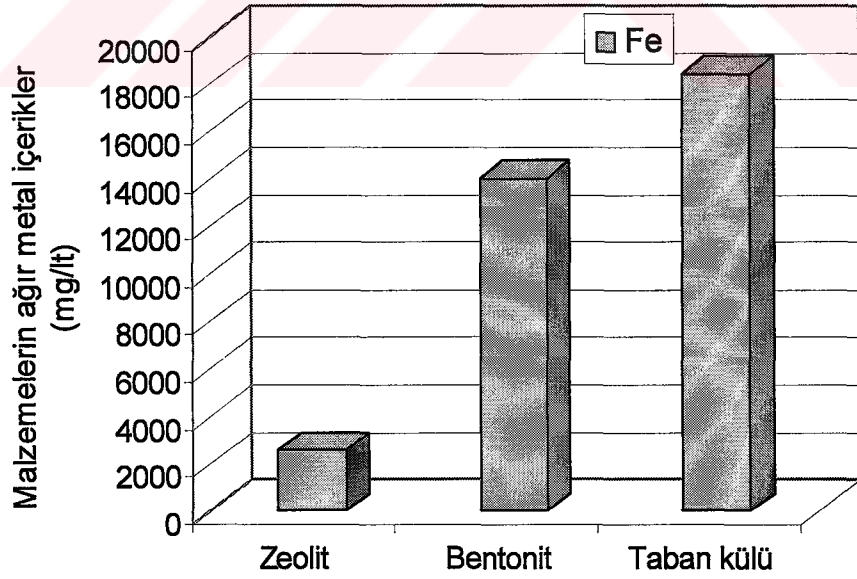
değerde bulunmuştur. Pb (kurşun) ve Zn (çinko) bakımından zeolit diğer iki malzemeye oranla biraz daha fazla madde miktarı içermektedir. Doğal olarak bünyelerinde bulundurdıkları ağır metallerin, sızıntı suyuna geri verip vermediği veya sızıntı sıvısının içerisinde bulunan ağır metallerin adsorbsiyonuna olumsuz etkide bulunma ihtimalini, hem sızıntı suyu verilerinden, hemde adsorbsiyon izoterm grafik yorumlamalarında görülebilmektedir.



Şekil 4. 15 Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içeriklerinin birbirleri ile karşılaştırılması



Şekil 4.16 Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal içeriklerinin birbirleri ile karşılaştırılması



Şekil 4.17 Malzemelerin bünyelerindeki ağır metal (Fe) içerikleri

Bakır (Cu)

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 toksititesi azalmaktadır. Aynı zamanda yüksek fosfat da bakır alımını etkilemektedir (Saka, 2001).

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

Yapılan deneylerde malzemelerin içeriklerinde bulunan ağır metallere bakıldığında, Cu (bakır) oranı, zeolitte oldukça düşük miktarda (4.4 mg/kg) görülmektedir, bentonitte 25mg/kg ve taban külünde ise 38mg/kg daha yüksek oranlarda rastlanmıştır. Yukarıda ki verilerle kıyaslandığında tehlike sınırlarının altında oldukları belirlenmiştir.

Çinko (Zn)

Organik madde miktarı fazla ise çinko miktarı da fazladır. Bitkiler tarafından Zn şeklinde alınır. Toprakta katyon halinde veya mineral bünyesinde bulunmaktadır. Çinko çözünürlüğü pH değeri 5.2'den küçük ve 6'dan büyük olursa azalır. Topraktaki çözünür çinko, ancak %1'dir. pH değeri yüksek olursa bu çözünemeyen miktar % 0.1'lere düşer. Toprağın asitliği arttıkça yani toprağın pH değeri azaldıkça çinko bileşiklerinin çözünürlüğü artar. Toprak içindeki fazla çinko, bitkilere ve mikroorganizmalara toksik etki yapar. Kirlenmemiş topraklarda çinko içeriği 10-80 mg/kg'dır. Kirlenmiş topraklarda çinko bileşikleri şeklinde bulunur. Toprağın pH değerine göre ve kirliliğin derecesine çinko bileşik miktarı değişir. Hafif asitli kirlenmemiş topraklarda toplam çinkonun % 40 ile % 60'i organik bağlıdır. $pH > 7$ olduğunda çinkonun mangan oksit ve demir oksitleri artmaktadır. Kirlenmiş topraklarda ise çinkonun oksitlere bağlı miktarı % 85'i civarına ulaşmaktadır (Saka, 2001).

Çinko tuzlarının zehirliliği oldukça düşüktür. Çinko kirliliği maden operasyonlarından ve galvanize boruların paslanmasından olabilir. Maksimum çinko miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 300 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 300 mg/kg, Yeni Zelanda temiz toprak içerisinde 2-180 mg/kg, Hollanda temiz toprak içinde 140 mg/kg, Hollanda ıslah gerektiren değer 3000 mg/kg'dır (Saka, 2001). Malzemelerimize baktığımızda bu kez taban külünde diğer iki malzemeye göre Zn oranı en düşük miktarda (43mg/kg) çıkmıştır. Bentonitte 59 mg/kg., zeolitte ise en yüksek oranda (77mg/kg)

bulunmuştur. Bu değerlerde standart değerler içinde kalmaktadır.

Krom (Cr)

Yine ağır metallere olan krom; toprak içindeki kil minerallerine adsorbe edildiği ve çözünürlüğünün pH>4 olduğu koşullarda gerçekleştiği ve pH=5.5 ise çöktüğü bilinmektedir. Maksimum krom miktarları, Almanya temiz toprak içerisinde 100 mg/kg, Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg, EPA değerlerine içme suyunda 0.05 mg/l'dir. Krom elementinin içme suyundaki maksimum değeri 0.05 mg/l olmalıdır (Saka, 2001). İnsan ve hayvanda ciğer, böbrek ve özellikle kemik ve dişlerde birikmektedir. İnsanlarda gıda maddelerince ve solunum yoluyla alınabilir. Hemoglobinin sentezinde görev alan enzimleri engeller, anemi oluşur. Solunan kurşunun % 30'u ciğerde birikir.

Asidik topraklarda verilen kurşunun % 99'unun 10 yıllık sürede toprağın üst 50 cm'inde tutulduğu belirlenmiştir., Çevre Bakanlığı Katı Atık Yönetmeliğine göre toprak içerisinde 100 mg/kg olmalıdır. Bu oranlar, zeolitte 4.4 mg/kg, bentonitte 45.2 mg/kg, çıkmış ve standart değerler içinde kalmıştır. Fakat taban külünde bu oran 404.8 mg/kg gibi standart üstü, oldukça yüksek bir değer çıkmıştır.

Kurşun (Pb)

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

Nikel (Ni)

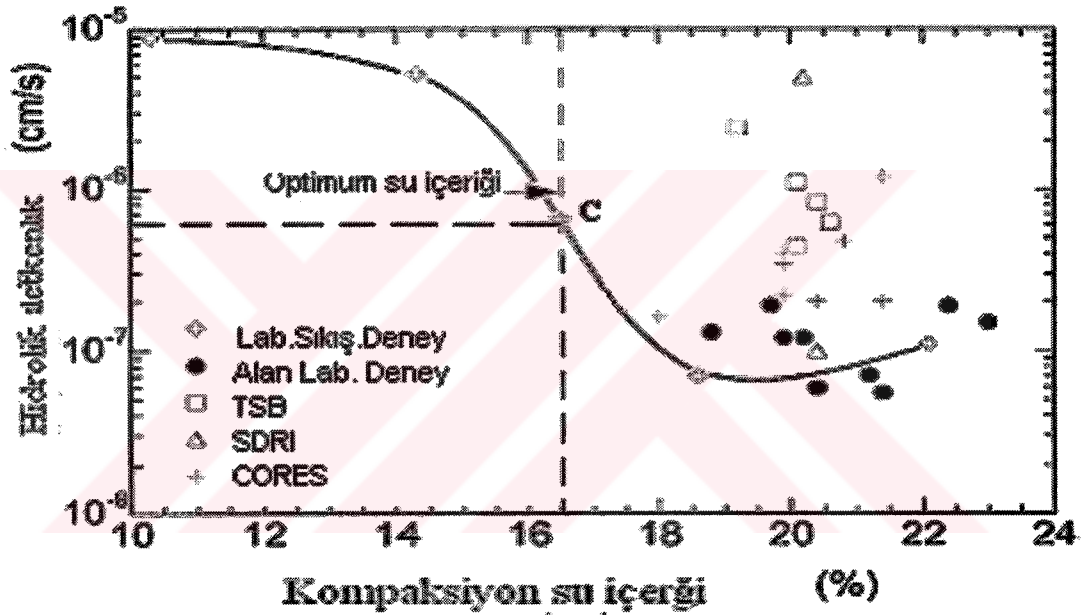
Nikel elementi ise, zemin içindeki mevcudiyeti demir ve mangan hidroksitleri ve diğer organik maddeler ile mümkündür. Nikel, bakır ve çinkodan farklıdır. Asit zeminler, zemin solüsyonu içindeki nikelin çözünürliğini artırır. Nikelin kanser yapıcı özelliği vardır. Topraklarda nikel oranı düşüktür. Fazla oranda nikel içeren topraklarda bitki zehirlenmeleri meydana gelir (Saka, 2001).

5.1.1 Taban külünün permeabilite deney sonuçlarının, önceki çalışmalarla kıyaslanması

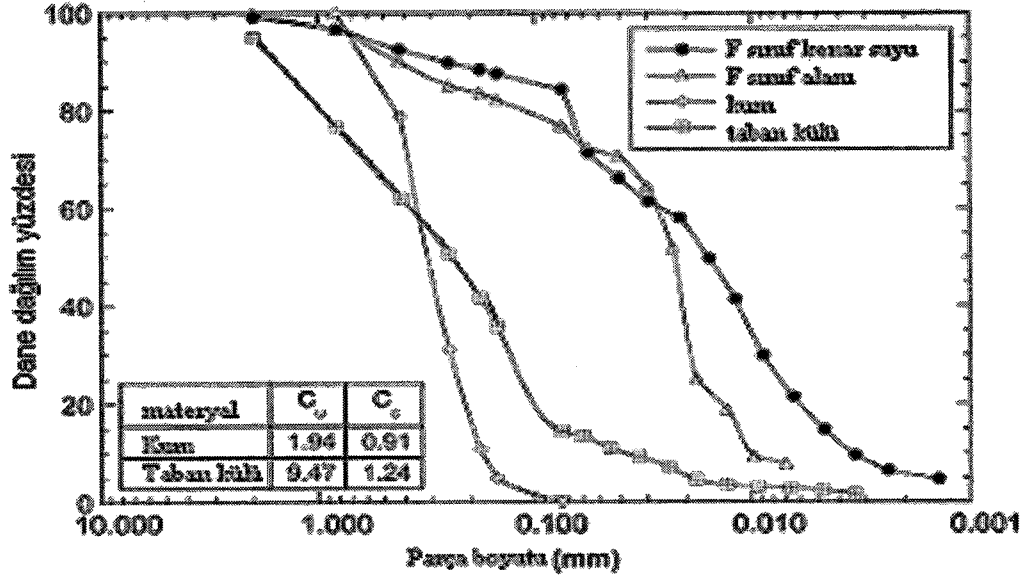
Aşağıda, bu tez çalışmasında yapılan permeabilite deneyleri ile, daha önce yapılmış deneysel çalışma verileri bir Çizelgede toplanılmıştır (Çizelge 5.1). Bu Çizelgeden de görüleceği üzere,

literatürde özellikle dane boyutu inceltilmemiş (2-5 mm.) taban külünün bentonitle karışımında, en düşük permeabilite değeri 2×10^{-5} elde edilmiştir. Daha önce yapılmış benzer çalışmalar incelendiğinde, Taban külünde aynı problemlerle karşılaşıldığı görülmüştür.

Edil vd. (2000), F ve C tipi uçucu kül ile taban külü ve kumu belirli oranlarda karıştırarak depolama tabaka malzemesi oluşturmuşlar ve buradan çıkan sonuçtan da (bu tez çalışmasındaki gibi) permeabilitede istenilen veriyi elde edilemediği, yani 10^{-7} değerine yaklaşamadığı görülmüştür. Bu karışım da optimum nem içeriği için su eklenildikçe bu kez kompaksiyon (sıkıştırma) deneyinde de malzemelerin bir araya gelemediği, yani sıkışma zorluğu olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, en optimum su içeriğine sahip c noktasında en iyi sıkışma olmuş, ne var ki bu değer 10^{-7} yi vermemiştir.

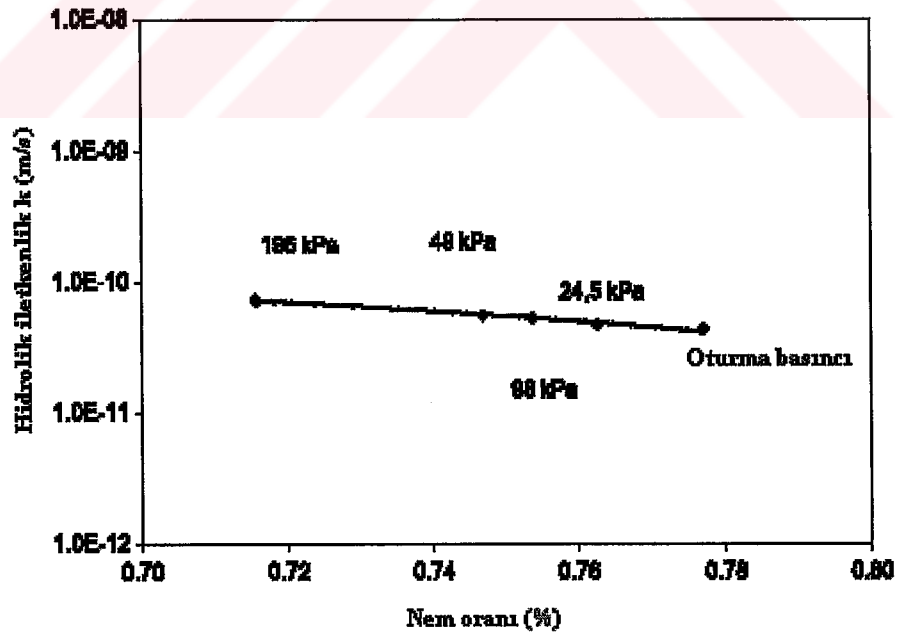


Şekil 5.1 Taban külü+uçucu kül karışımlarının optimum su içeriklerine karşılık gelen permeabilite değerleri (Edil T.vd.,2000).



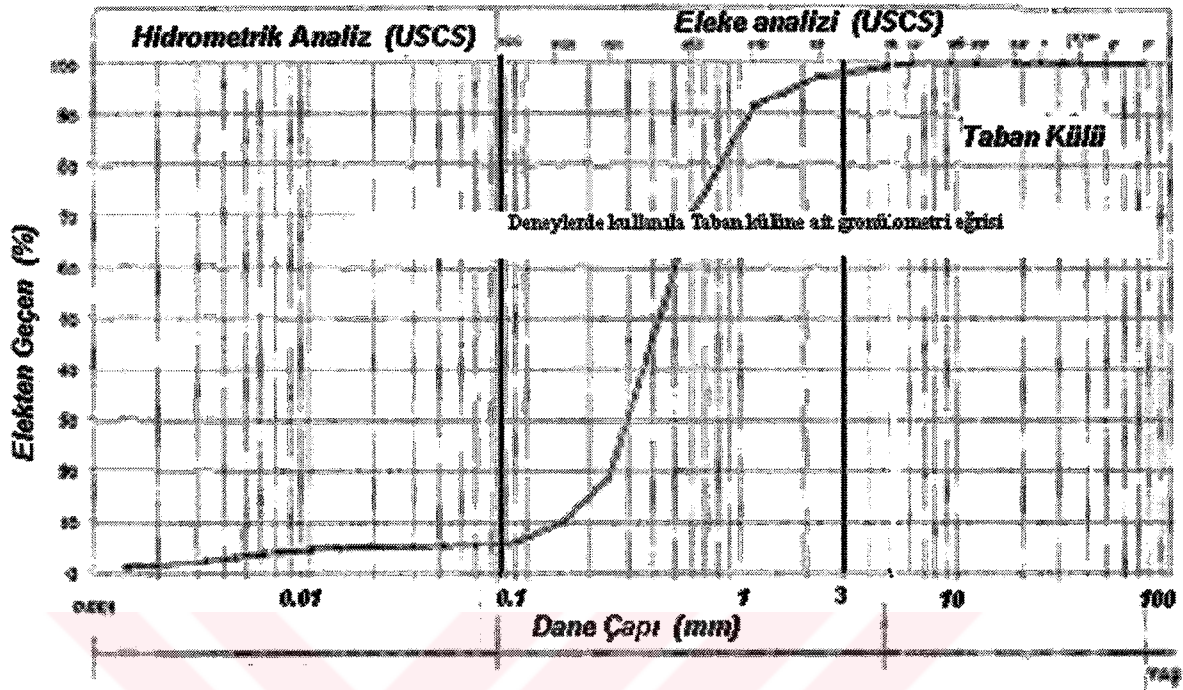
Şekil 5.2 Dane dağılımlarına göre malzemelerin sınıflandırılması (Edil T.vd.,2000).

Bu sonuca göre, optimum su muhtevasını değiştirmek sonucu pek fazla etkilememektedir. Yine başka bir çalışmada ise (Kaya vd., 2004), zeolitle bentonitin bir arada kullanılarak, farklı katkı oranları, nem içeriği ve basınç değerlerinde permeabilite değerlerindeki değişimler gözlenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Farklı sıkıştırma basınçları altında, %20 bentonit+zeolit karışımının değişen su muhtevalarında hidrolik iletkenlik değerleri (Kaya vd., 2004).

Son olarak, Yapılan bu tez çalışmasında, dane çapları değiştirilerek, özellikle taban külünün boyutu, 0.1-2mm arasında en iyi sıkışabilirlik gronülasyon eğrisini vermiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Deneylerde kullanılan Taban külüne ait granülometri eğrisi (Bu çalışma).

Bu aşamadan sonra daha önce geçirimsizliği fazla olması sebebi ile depolama taban malzemesi olarak kullanılmaya elverişli olmayan taban külü, özellikle %30 bentonit katkısı ile $8,1 \times 10^{-8}$ cm/sn gibi oldukça düşük permeabilite değerine ulaşılmış ve böylece geçirimsiz tabaka malzemesi oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışmayı yine daha önce yapılmış diğer çalışmalarla kıyaslamak amacıyla aşağıda Çizelge 5.1'de hazırlanmıştır.

Edil, (2000) yaptığı çalışmada, F ve C tipi uçucu kül, kum ve taban külü ile ayrı ayrı karışımlar oluşturulmuş ve bunların permeabilite değerleri yukarıda ki (Şekil 5.2) grafikte elde edilmiştir. Yine Buluş (1998), yaptığı çalışmada, bu çalışmadaki gibi bentonit ve taban külü kullanılmış ama her iki çalışmada da istenilen permeabilite değerlerine ulaşamamıştır. Bu çalışmada özellikle taban külü gronülasyonu 0.1-2 mm.ye indirildiğinde, her iki çalışmaya kıyasla oldukça düşük permeabilite değerine ulaşılmıştır.

Çizelge 5.1 Taban külü dane çapı 1-5mm. ve 0.1-2 mm iken permeabilite değerleri ile, daha önce yapılmış çalışmaların karşılaştırılması

<i>Malzemeler</i>	<i>Bağlayıcı oranı (%)</i>	<i>Hidrolik iletkenlik (cm/sn)</i>
F sınıfı uçucu kül + kum *	%10 uçucu kül	$2,2 \times 10^{-6}$
	%20 uçucu kül	$2,8 \times 10^{-7}$
C sınıfı uçucu + taban külü *	%20 uçucu kül	$4,1 \times 10^{-6}$
	%30 uçucu kül	$9,2 \times 10^{-7}$
Taban külü + bentonit ** (taban külü dane çapı dağılımı; 1-5 mm.)	% 4 bentonit	$2,6 \times 10^{-3}$
	% 8 bentonit	$2,4 \times 10^{-3}$
	% 12 bentonit	$2,8 \times 10^{-3}$
	% 20 bentonit	$5,8 \times 10^{-4}$
	% 25 bentonit	$2,0 \times 10^{-5}$
Taban külü + bentonit *** (taban külü dane çapı dağılımı; 1-5 mm.).	% 10 bentonit	1×10^{-4}
	% 15 bentonit	1×10^{-4}
	% 20 bentonit	$1,1 \times 10^{-5}$
	% 25 bentonit	$1,2 \times 10^{-6}$
Taban külü + bentonit *** (taban külü dane çapı dağılımı; 0.1-2 mm.).	% 10 bentonit	$5,5 \times 10^{-5}$
	% 20 bentonit	$6,2 \times 10^{-7}$
	% 30 bentonit	$8,1 \times 10^{-8}$
	% 40 bentonit	$2,1 \times 10^{-8}$

* Edil, (2000)

** Buluş, (1998)

*** Bu çalışma, (2004)

Yapılan bu çalışma sonucunda en optimum dane çapı ve en düşük permeabilite değerini veren en uygun malzeme karışım oranı, % 30 bentonit karışımı ile 0.1-2 mm.dane dağılımına sahip taban külü karışımı vermiştir. Zeolit içinse yine % 30 bentonit katkısı uygun bir oran olarak tayin edilmiştir. Şekil 5.5’de bu üç farklı çalışmanın bir grafik üzerinde karşılaştırılması görülmektedir.

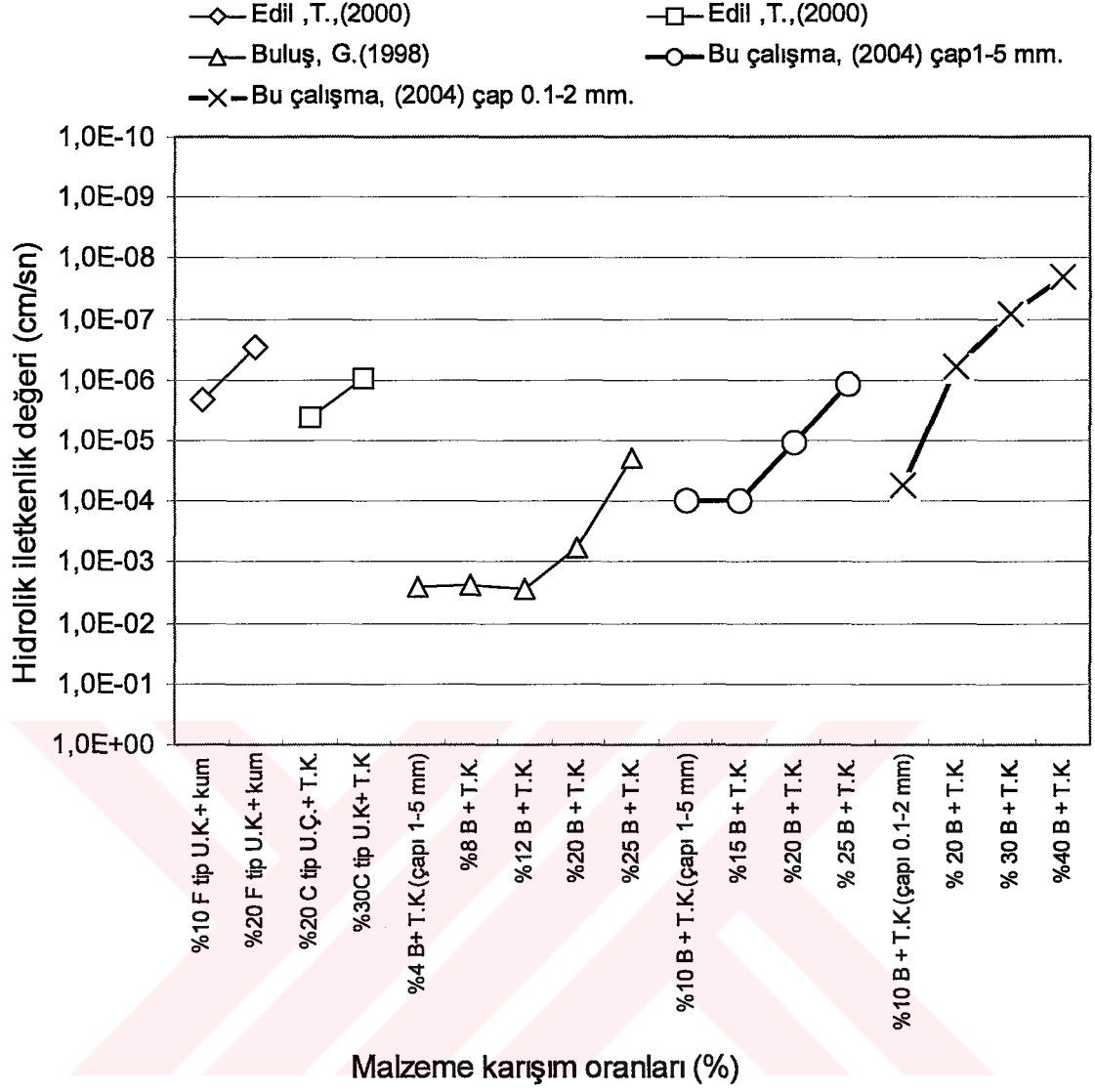
Şekil 5.6’da ise, yine bu üç çalışmanın, grafik üzerinde eğim çizgileri belirlenmiş ve her birine ait eğri denklemleri verilmiştir. Kalın çizgi ile verilen eğri, bu çalışmaya ait olup, eğri denklemi aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir (5.1 ve 5.2).

Taban külü permeabilite eğrisinde ;

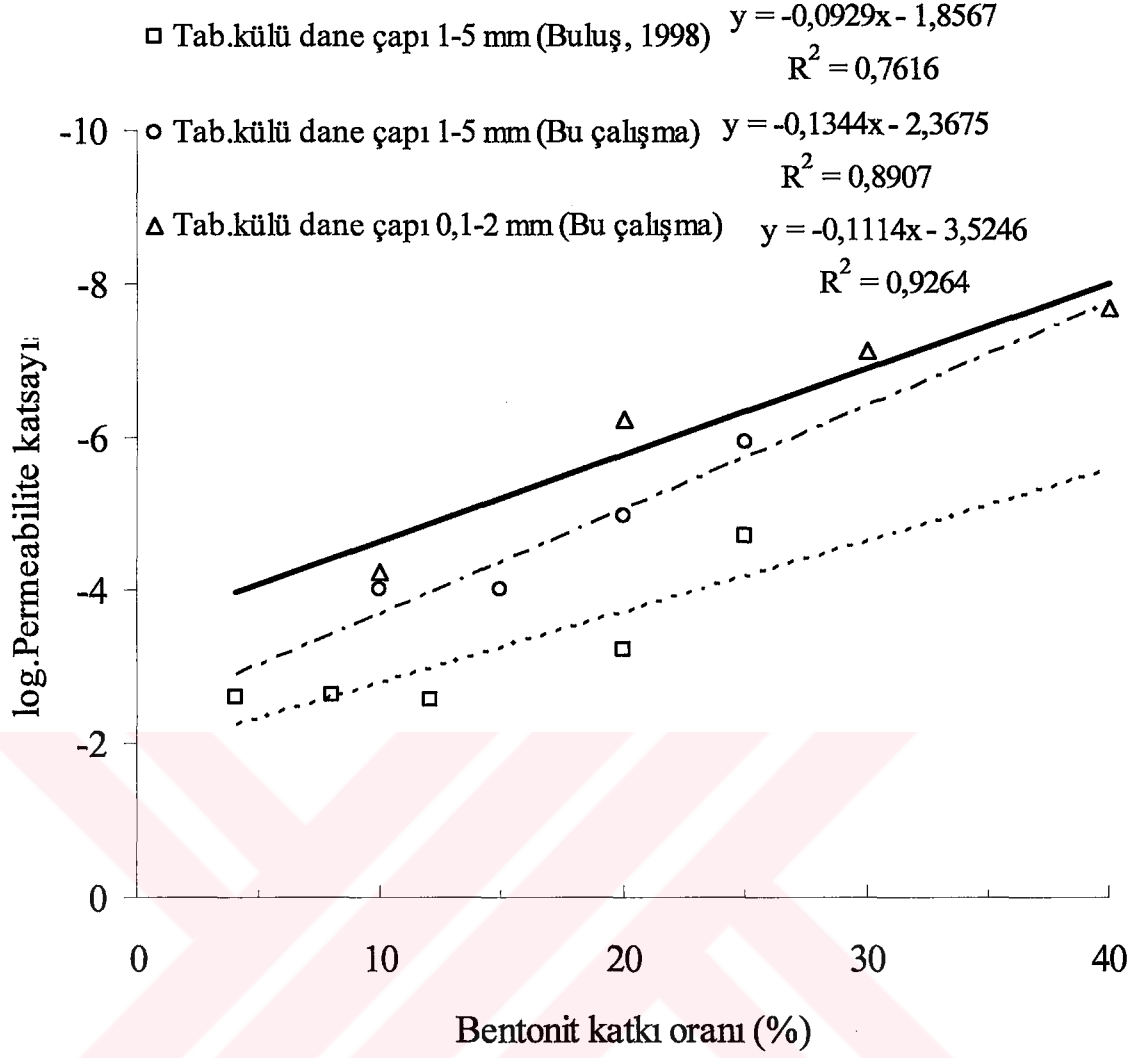
$$y = -0,1114 X - 3,526 \quad (5.1)$$

$$R^2 = 0,9264 \quad (5.2)$$

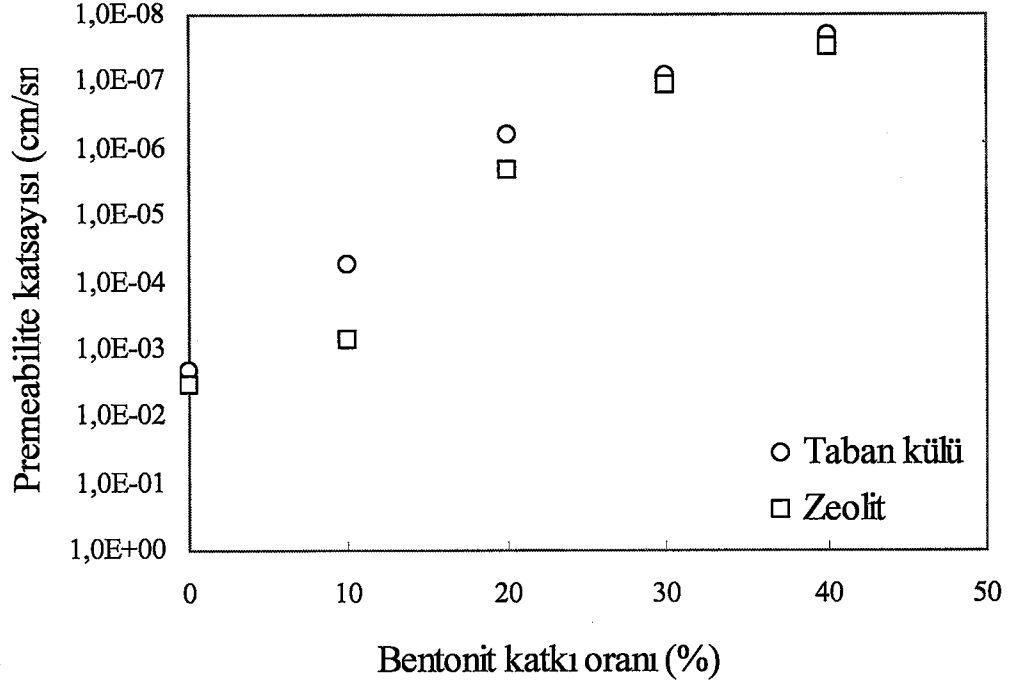
Eğri denklemleri elde edilmiştir.



Şekil 5.5 Oluşturulan tabaka malzemesinin, yapılmış farklı çalışmalarla permeabilite özelliklerinin kıyaslanması



Şekil 5.6 Taban külünün dane çapı 1-5mm. ve 0.1-2 mm iken permeabilite değerleri ile daha önce yapılmış çalışmaların eğri denklemlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.7 Taban külü ve zeolitin, bentonit karışım oranı ile permeabilite değışimlerinin kıyaslanması

Taban külü ve zeolit, bentonit katılmaksızın bireysel permeabilite katsayıları incelendiğinde ise (Şekil 5.7), 10^{-3} cm/sn gibi çok düşük değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bentonit katkı oranı arttıkça her iki malzemenin de geçirimsizliği o oranda azalmıştır. Fakat zeolit özellikle % 10 ve % 20 bentonit katkısında, taban külünün geçirimsizliği kadar başarı vermemiştir. Ancak % 30 ve % 40 oranlarında taban külüne yakın değerlere ulaşılmıştır.

5.1.1.1 Tabakaların geçirimsizlik özelliklerinin, depolama alanı kullanım sürecine (mrne) etkileri

Elde edilen hidrolik iletkenlik sonuçlarını, ortalama bir metre derinlikte dizayn edilmesi düşünülen bir depolama tabanında, oluşabilecek sızıntı suyunun geçme hızı olarak, aşağıda ki izelge 5.2' de verilmiştir. Bu sonuçlar, düşen seviyeli permeabilite deney dzeneginden geçirilen, musluk suyu ile sızıntı suyu geçirgenlik değeri kıyaslanarak oluşturulmuştur.

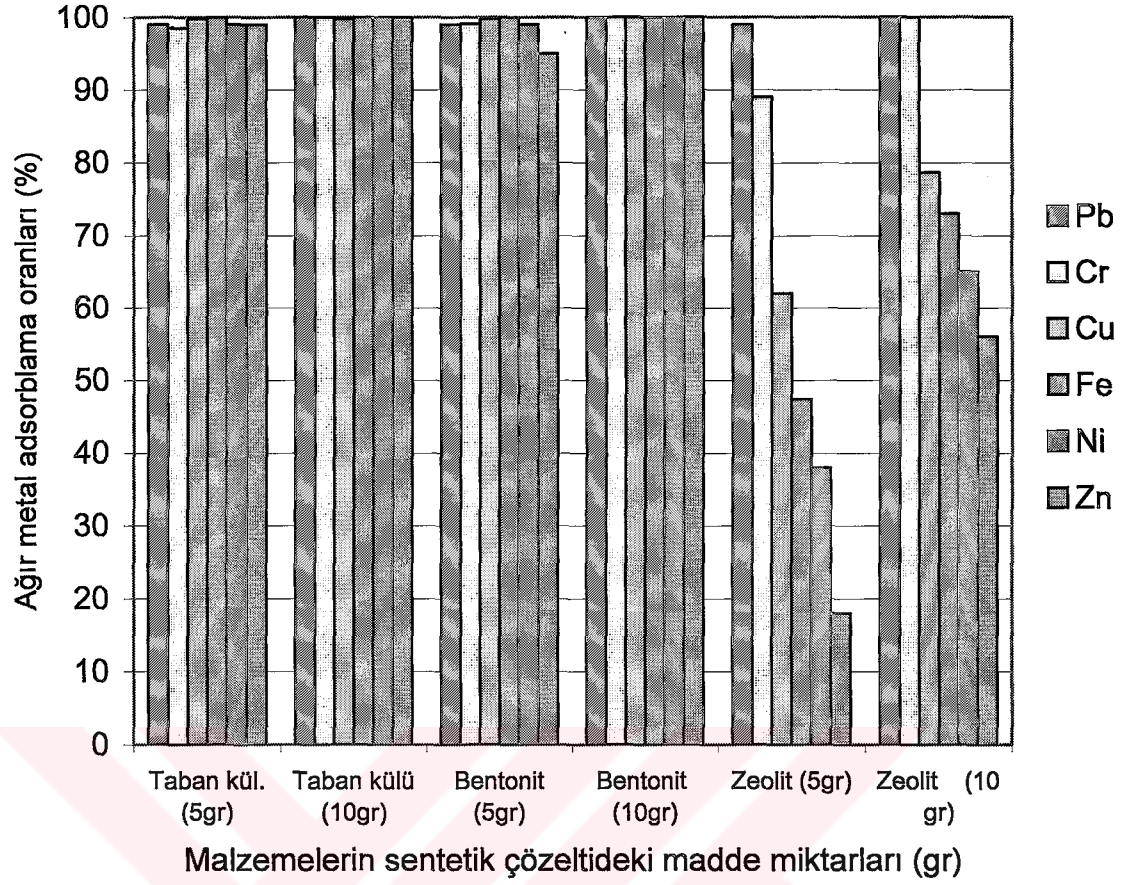
Çizelge 5.2 Oluşturulan tabaka malzemeleri permeabilite değerlerinin, geçirgenlik süreleri ile depolama alan ömrünün tesbit edilmesi

Tabaka malzemesi	Musluk suyu ile		Sızıntı suyu ile	
	cm/sn	Yıl/m	cm/sn	Yıl/m
Taban külü + %30 bentonit	8.1×10^{-8}	39.14	1×10^{-9}	3171
Zeolit + %30 bentonit	1.1×10^{-7}	28.83	1×10^{-10}	31710

5.1.2 Tabaka malzemelerinin ağır metal (sentetik sıvılarda) adsorblama kapasitelerinin değerlendirilmesi

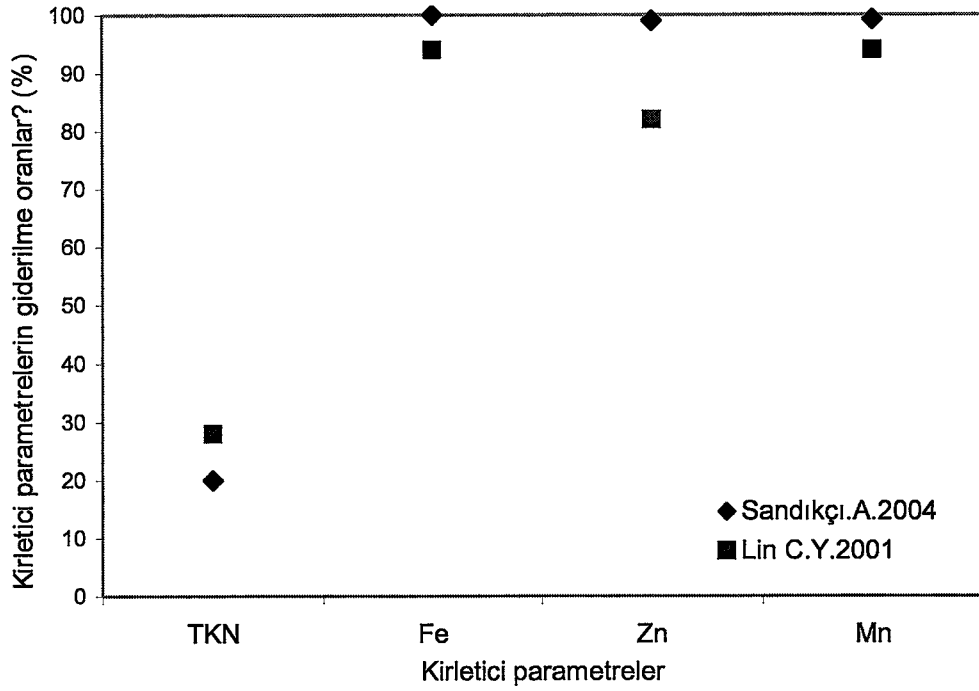
Taban malzemesinden beklenen en önemli görev, ağır metalleri absorblaması, yani süzülen suyun zehirli atıklara karşı temizlemesidir. Her ne kadar oluşturulan bu taban malzemesi, evsel katı atık sahaları için düzenleniyorsa da, yinede sızıntı sıvılarında azda olsa bulunan ağır metal konsantrasyonunu gidermesi beklenilir.

Oluşturulan taban malzemelerinin ağır metal adsorblama kapasiteleri, depolama alanından getirilen sızıntı sularını geçirmeden önce, laboratuvar ortamında hazırlanan ve belirli oranlarda ağır metal içeren sentetik sıvıları geçirilerek belirlenmiştir. Depolama alanından getirilen sızıntı sıvıların ağır metal konsantrasyonları 50 ila 0,01 mg/l arasında değişmektedir. Dolayısı ile bu oranların gideriminde pek zorluk yaşanmayacağı aşıkardır. Ne var ki bu malzemelerin sadece düzenli atık sahalarında değil, aynı zamanda endüstriyel ve tehlikeli atıkların depolanmasında da kullanılıp, kullanılamayacağı gözlenilmiştir. Her üç malzemeyi de kimyasal yapıları açısından incelemeye alınıp, bilhassa hazırlanan sentetik sıvılarla ağır metal adsorblama kapasiteleri ölçüldüğünde, özellikle taban külünün ağır metal absorblama kapasitesinin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.8). Aşağıda ki grafikler incelendiğinde, madde giriş konsantrasyonları, zeolitte yarıya indirgenilmiş, taban külü ve bentonitte ise hemen hemen % 100'e yakın giderim sağlanılmıştır olduğu görülebilir.



Şekil 5.8 Taban külü, bentonit ve zeolitın sentetik sıvılarla, ağır matal adsorbsiyon kapasitesitelerinin grafiksel olarak gösterimi

Daha önce yapılmış çalışmalarda (Lin, 2001), sentetik sıvılarla kirletici tutma kapasitesi incelenmiş, elde ettikleri sonuçlarla bu çalışma verileri aşağıda Şekil 5.9’de verilmiştir. Fe, Zn, Mn gideriminde, Lin vd.(2001) % 70-95 başarı sağlarken, bu çalışmada % 99 –100 arasında, bir başarı elde edilmiştir.

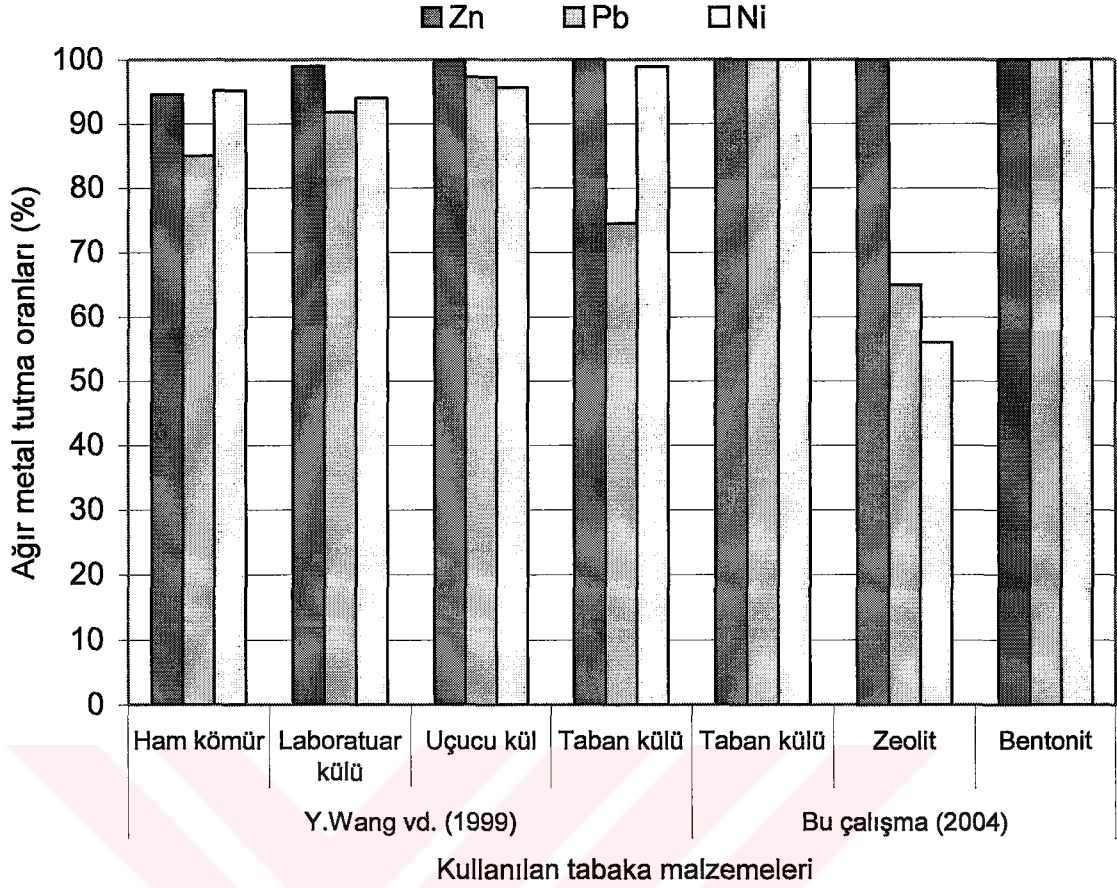


Şekil 5.9Yapılan çalışmanın, daha önce yapılmış başka bir çalışma ile (Lin vd., 2001) TKN, Fe, Zn, Mn giderme açısından karşılaştırılması

Yine laboratuvar ortamlarında hazırlanmış ve kirlenici parametreler içeren sentetik sıvılarla yapılmış başka çalışmalarla (Wang, 1999), bu çalışma sonuçları aşağıdaki Çizelge 5.3' de kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.3 Kullanılan tabaka malzemelerinin, sentetik sıvılardaki ağır metal adsorblama (%) oranlarının daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması

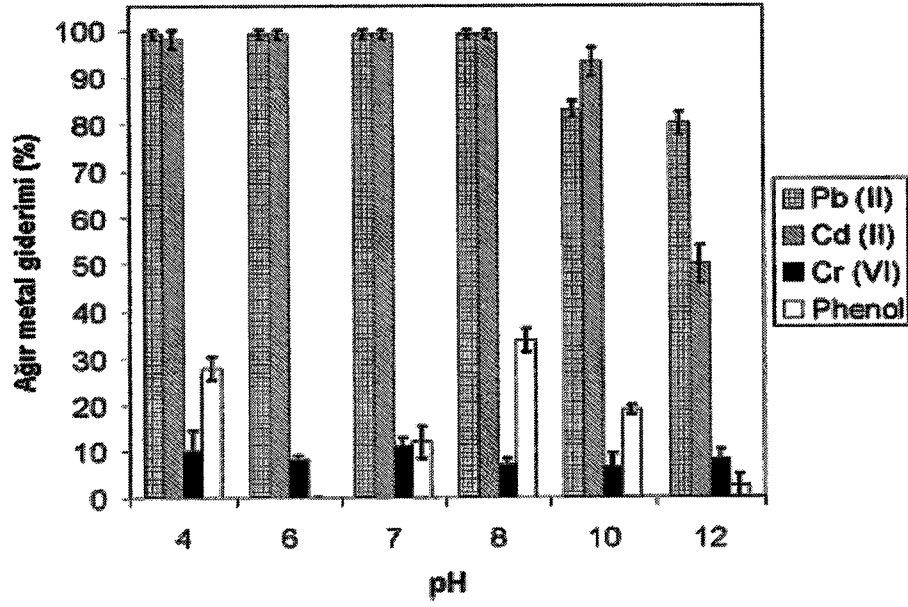
Sentetik sıvılarla ağır metal giderilme oranları (%)							
Parametreler	Daha önceki yapılmış çalışmalar (Wang vd., 1999)				Bu çalışma (2004)		
	Ham kömür	Laboratuvar külü	Uçucu kül	Taban külü	Taban külü	Zeolit	Bentonit
Zn	94.6	98.96	99.9	99.99	99.99	99.99	99.99
Pb	85	91.77	97.26	74.49	99.99	65	99.99
Ni	95.2	94.05	95.69	98.9	99.99	56	99.99



Şekil 5.10 Kullanılan tabaka malzemelerinin, sentetik sıvılardaki ağır metal adsorblama (%) oranlarının daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması

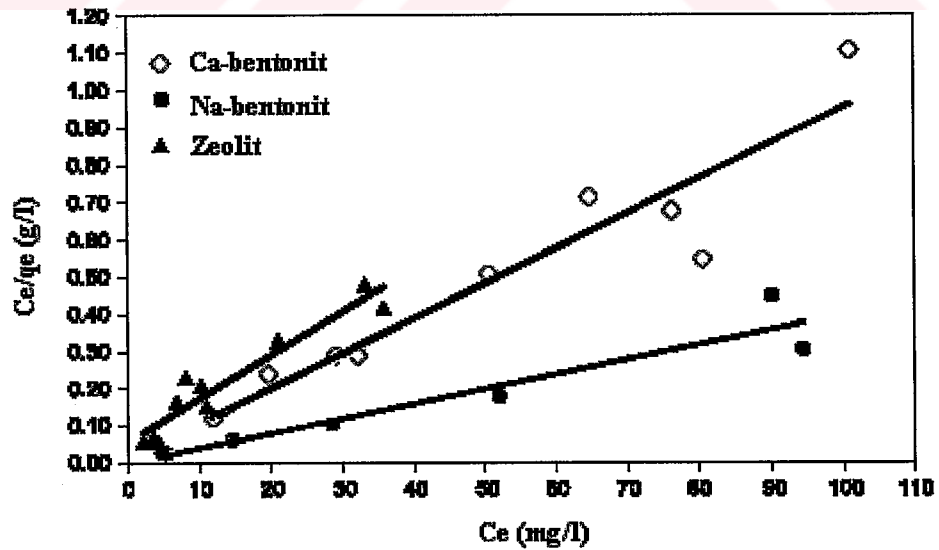
Wang (1999), yaptığı çalışmada ham kömür, laboratuvar şartlarında yapay elde edilmiş kül, uçucu kül ve taban külünde sentetik sıvıdaki Zn, Pb ve Ni adsorblama oranları % 85 ile % 95 arasında değişmektedir. Bu çalışmada ise, özellikle taban külü ve bentonitin adsorblama oranları % 100'e yakın değerler vermiştir. Zeolitte ise bu değerler, %56-%90 arasında değişmektedir.

Zeolit, özellikle taban külü ile kıyaslandığında % 20-50 daha az verim elde edilmiştir. Bunun sebebi araştırıldığında, daha önce yapılmış çalışmalarda da karşılaştırılma yapılan diğer malzemelerden daha az performans gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5.11 Doğal zeolitin (homoionic), farklı pH derecelerinde ağır metal giderimi (Mier vd., 2000)

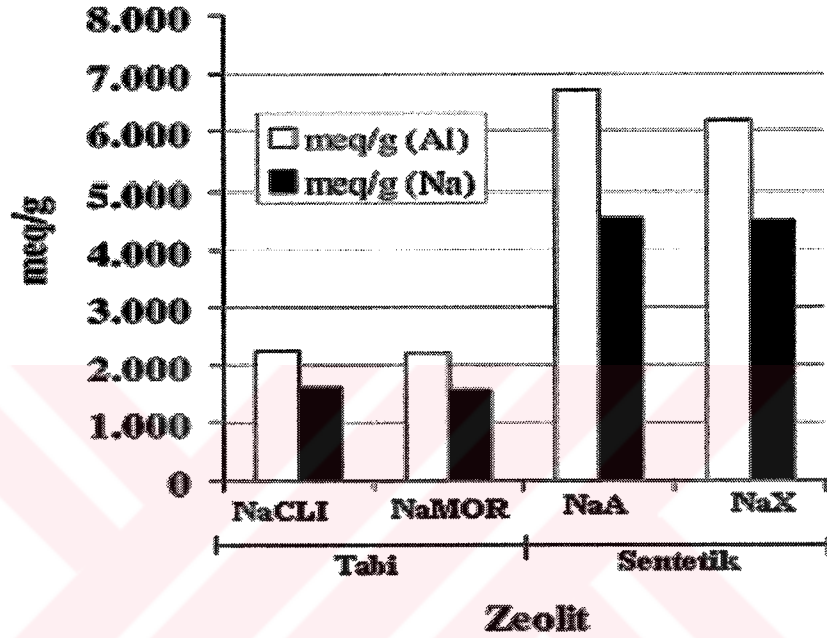
Mier. vd., (2000), doğal zeolitlerden klinoptiloliti kullanarak gerçekleştirdikleri deneylerde, farklı pH derecelerinin ağır metal giderimine etkileri gözlenmiş, buna göre Pb giderimi en yüksek verimde gerçekleştiği (% 99-80), fakat Cr giderimi %10 gibi düşük bir değerde kaldığı belirtilmiştir (Şekil 5.11). Bu tez çalışmasında da Pb gideriminde zeolitte aynı başarı elde edilmiş, fakat diğer birimlerde daha az verim sağlanmıştır.



Şekil 5.12 Ca-bentonit, Na-bentonit ve tabi zeolitin, $Pb(NO_3)_2$ ile adsorbsiyon izotermi (Kaya vd., 2004).

Kaya vd.(2004), ise bentonit ile zeolitin katyon değişim kapasitelerini incelediklerinde, zeolitin bentonit çeşitlerine nazaran %50 daha az değerler verdiği belirtilmiştir (Şekil 5.12).

Metaxas, vd. (2003), yaptıkları çalışmada tabii zeolitlerden, klinoptilolit (Ca CLI) ve mordenit (NaMOR) ile sentetik zeolitler (NaA, NaX) kullanılmış ve her iki grubun iyon değiştirme kapasiteleri incelendiğinde, tabii zeolitlerin iyon değiştirme kabiliyetlerinin sentetik zeolitlere göre % 40-60 daha az olduğu belirtilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Al ve Na baz alınarak, zeolitin iyon değiştirme kapasitesinin incelenmesi (Metaxas vd., 2003).

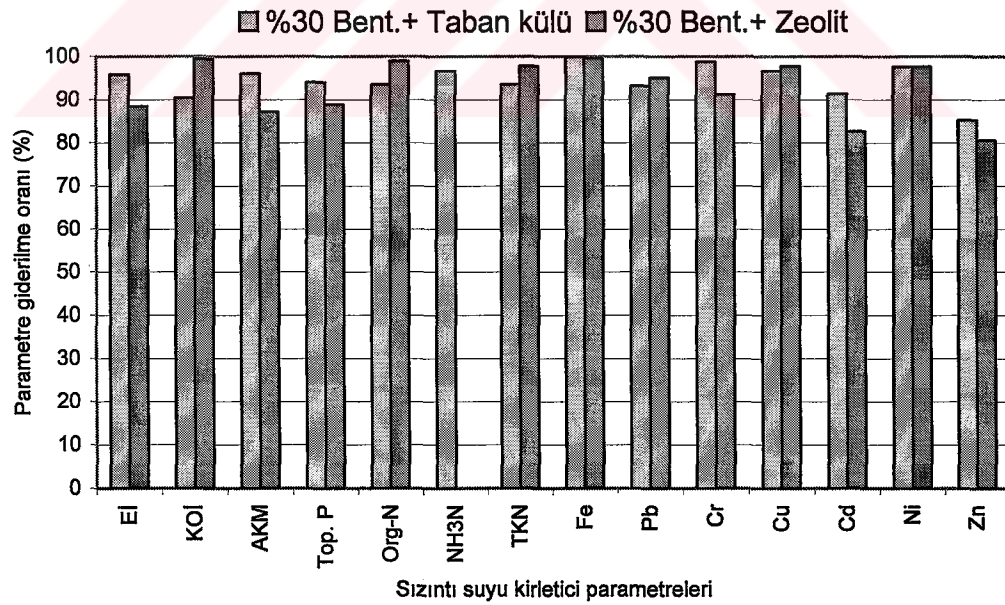
Tüm bu bilimsel veriler , zeolitin belirli bir adsorblama ve katyon değiştirme kapasitesinin bulunduğunu, ancak bentonit ve taban külü gibi farklı malzemelerin kapasiteleri ile kıyaslandığında, verim olarak daha düşük seviyede kaldığını göstermektedir.

5.1.3 Taban malzemelerinden geçirilen sızıntı suyunun çıkış değerlerinin, daha önce yapılmış çalışmalar ve standart verileri ile karşılaştırılması

Bu çalışmada kullanılan sızıntı suyu, İstanbul Odayeri Depolama Alanından elde edilmiştir. Sızıntı suyunun belirli aralıklarla yapılmış kalite gözlem verileri aşağıda Çizelge 5.4 de verilmiştir. Sızıntı sıvısının, oluşturulan tabaka malzemelerinden süzdürülmeden önce her bir parametrenin giriş konsantrasyonları ayrıca ölçülmüştür Elde edilen veriler, daha sonra yapılan her bir deney sonucu ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.4).

Çizelge 5. 4 Çöp sızıntı suyunun, taban malzemelerinden süzdürüldükten sonra, (08.02.2004 tarihinde) elde edilen çıkış suyu parametreleri

Parametre	Çöp sızıntı suyu giriş kons. (C_0)	%30 bentonit + Taban. Külü Kirletici parametre giderme oranı (%)	%30 bentonit + zeolit Kirletici parametre giderme oranı (%)
pH	7.38	9.7	7.51
Elek.İletk.	43400	95.85	88.41
KOI	24950	90.38	99.44
AKM	825	96	87.15
Toplam P	17.05	94	88.85
Org-N	678	93.45	98.89
NH ₃ N	2900	96.6	99.9
TKN	1036	93.53	97.7
Fe	85	99.87	99.54
Pb	1.618	93.2	95.05
Cr	0.793	98.73	91.17
Cu	0.876	96.57	97.71
Cd	0.115	91.3	82.6
Ni	1.703	97.65	97.65
Zn	1.287	85.24	80.57

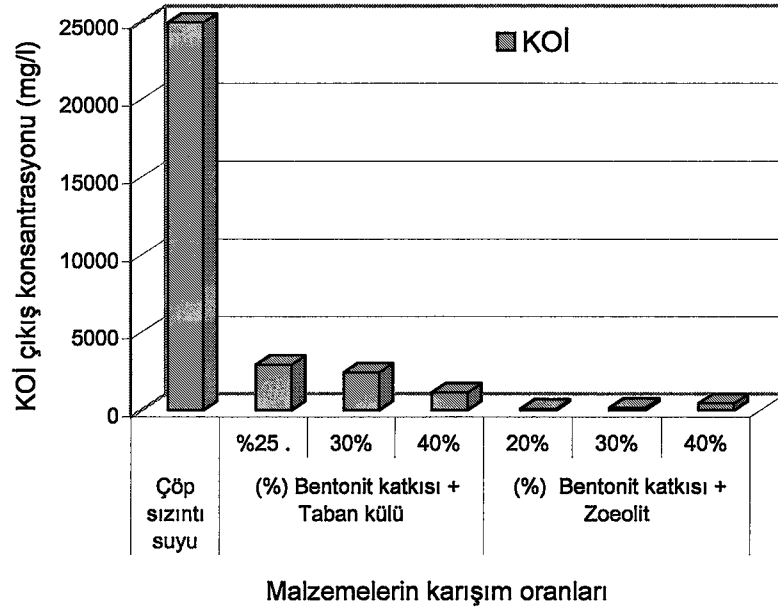


Şekil 5.14 Oluşturulan tabakaların, çöp sızıntı suyundaki kirletici parametreleri tutma oranları (%)

Çizelge 5.5 Odayeri düzenli depo sahası sızıntı suyu özellikleri (Günay, 2003)

PARAMETRE	İTÜ, 1995	İSKİ, 1995	İTÜ-1999	YTÜ, 2000-2001
pH	5.6-6.5	6.0	7.2-7.3	7.2-8
KOİ (mg/l)	50000-40000	70000	21000-31600	10000-26500
BOİ ₅	25000-21000	31000	15000-19000	6600-15900
TAKM	3930-2630	1950		-
AKM	-	-	560-645	480-1270
İletkenlik (ms/cm)	-	-		29-33
TKN	410-325	1630	1345-2033	2410-2950
NH ₃ -N	150-170	-	630-2010	2070-2730
Org-N	260-205	-	-	30-400
Toplam P	5-6	2	21-45	17-37
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	495-950	-		-
Krom (Cr)	2.2-1.3	-		2.13-3.42
Bakır (Cu)	<0.5	0.2		0.01-0.05
Demir (Fe)	130-100	-		44.80-58.35
Civa (Civa)	0.04-0.06	0.8		-
Çinko (Zn)	0.7	0.8		0.13-0.36
Kurşun (Pb)	0.08	-		0.05-0.08
Nikel (Nikel)	1.3-09	-		0.39-0.78
Kadmiyum (Cd)	<0.2	-		<0.01-0.03
Fenol (mg/l)	7-6	-		-
Alkalinite, mg/l CaCO ₃	-	-		6200-15750
Ca ²⁺ sertliği, mg/l	-	-		500-700
Klor (Cl ⁻), mg/l	-	-		4500-7000
Top. sertlik, mg/l CaCO ₃	-	-		2400-4000

Odayeri düzenli katı atık depolama alanından elde edilen çöp sızıntı suyunun, oluşturulan depolama taban malzemelerinden süzdürüldükten sonra, çıkış suyu parametreleri (08.02.2004'de yenilenen elde edilen deney sonuçları) incelenip, aşağıdaki grafiksel yorumlamalar oluşturulmuştur.



Şekil 5. 15 Tabakalardan süzülen çöp sızıntı suyunun, KOİ çıkış konsantrasyon değerleri

KOİ. Değerinde, çöp sızıntı suyuna nazaran, Taban külü karışımından geçirilen süzüntü suyunda % 93 oranında giderilmiştir. Zeolitte ise bu değer çok daha düşük elde edilip, % 99.95 gibi düşük oranda giderilmiştir.

Taban külü ile zeolit tabakalarının ayrı ayrı KOİ değerlerinin birbiriyle kıyaslandığında, KOİ değeri taban külünde bentonit katkı oranı arttıkça azalmış, ama yinede zeolit kadar düşük KOİ değerleri elde edilememiştir. Zeolitte ise taban külünün aksine bentonit oranı arttıkça, KOİ değeri azda olsa artma eğilimi göstermiştir. Ama yinede taban külünden daha düşük değerler vermiştir.

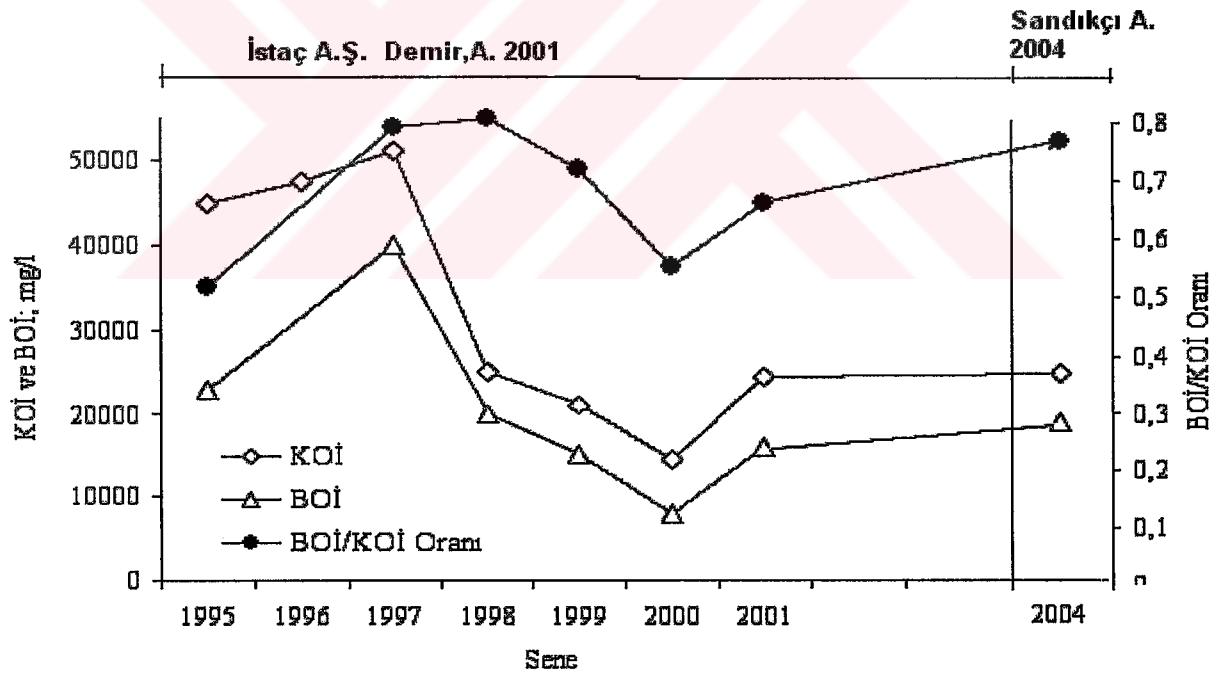
Şehir atıksu kanal şebekesine deşarjı izin verilen atık suların, Türkiye’de olduğu gibi Su kirliliği kontrolü yönetmeliği Tablo 25’dekine benzer limitleri sağlaması öngörülmüştür. Sızıntı sularının kimyasal+biyolojik arıtmayı kanal şebekesi sonunda, merkezi biyolojik arıtma tesisi hali için öngörülen limitleri (KOİ<4000 mg/ l), sağlaması gerekmektedir (Öztürk, İ.vd., 1999). Bu çalışmada elde edilen KOİ değeri 4000 mg/l den küçük,(2400 mg/l) çıkmıştır.

Yakın dönemde yapılmış bir çalışmada (Kargı vd.2004), dopolama alanlarındaki sızıntı sularının yüksek (6000-15000 mg/l) KOİ ve (500-3000 mg/l) NH₃N içermeleri sebebiyle, bu oranların düşürülmesi için incelemeler yapmışlardır. Bu amaçla çöp sızıntı suyu, kireç eklenerek koagülasyon ve flokülasyon işlemleri uygulanıp, püskürtme ile havalandırılarak ön

arıtım uygulamışlardır. Buradan havalandırma tankına alınan su geri beslemeli biyolojik arıtım işlemine tabi tutulup, bu işlem boyunca aktif toz karbon ve toz zeolit adsorbent olarak kullanıldığı belirtilmiştir. 0.1 ila 5 gr. arasında değişen oranlarda katılan adsorbentlerin katılma oranları arttıkça KOİ ve NH_3N giderilme oranlarında arttığı, adsorbentlerin giriş miktarları 2 mg/l olduğunda KOİ gideriminin özellikle zeolitte % 87'lik başarı elde edildiği, aktif karbonda ise % 70 KOİ giderimi sağlandığı belirtilmiştir. Zeolit ve aktif karbon giriş oranı 5mg/l olduğunda ise, NH_3N gideriminde zeolitte % 30, aktif karbonda %40 verim sağlandığı bildirilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında da, zeolitten KOİ gideriminde taban külüne göre daha yüksek verim elde edilmiştir (Şekil 5.15).

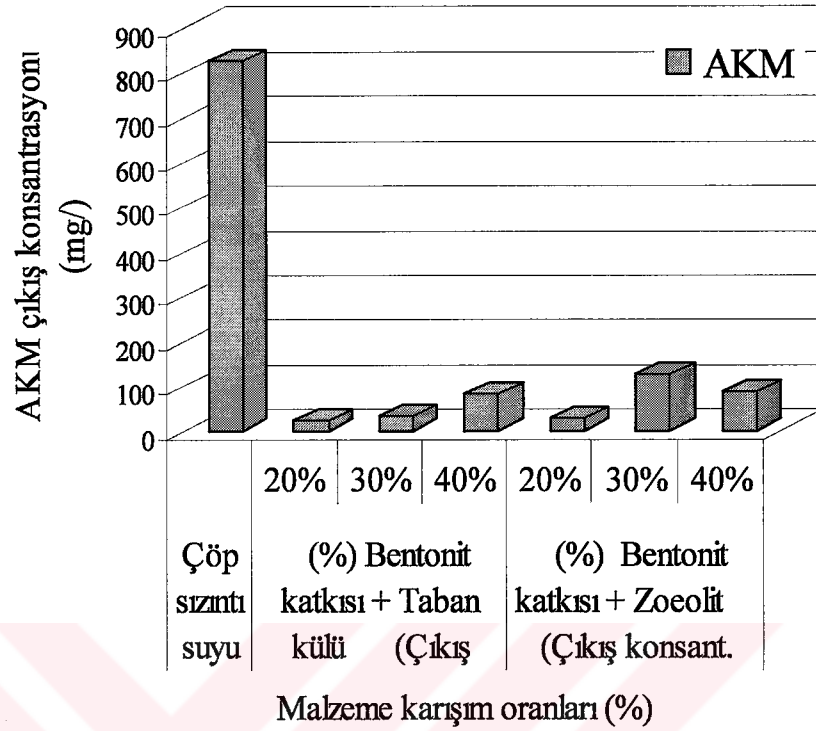
Yine aşağıda, Şekil 5.16'da verilen grafik, 1995-2001 yılları arası KOİ, BOİ ve BOİ/KOİ oranlarını göstermektedir. Bu grafiğe, elde edilen bu verilerde eklenerek yeniden yapılmıştır. Grafiğe göre, 2001 den bu yana KOİ fazla değişmemiş, BOİ'de ise az bir artma gözlenmiştir. BOİ/KOİ ise yine 2001'de ki artış oranını 2004' de de aynı doğrultuda devam ettirmiştir.



Şekil 5.16 KOİ ve BOİ değerlerinin, yıllara göre değişiminin incelenmesi

Elektriksel iletkenlik değerleri gözlemlendiğinde, bu kez KOİ verilerinin tersine zeolitte bentonit katkı oranı arttıkça, Elektriksel iletkenlik oranı arttığı ve bu değerlerin taban külü değerlerinin oldukça üstünde çıktığı gözlenmiştir. Taban külünde ise bentonit katkı oranı arttıkça Eİ değeri düşmüştür.

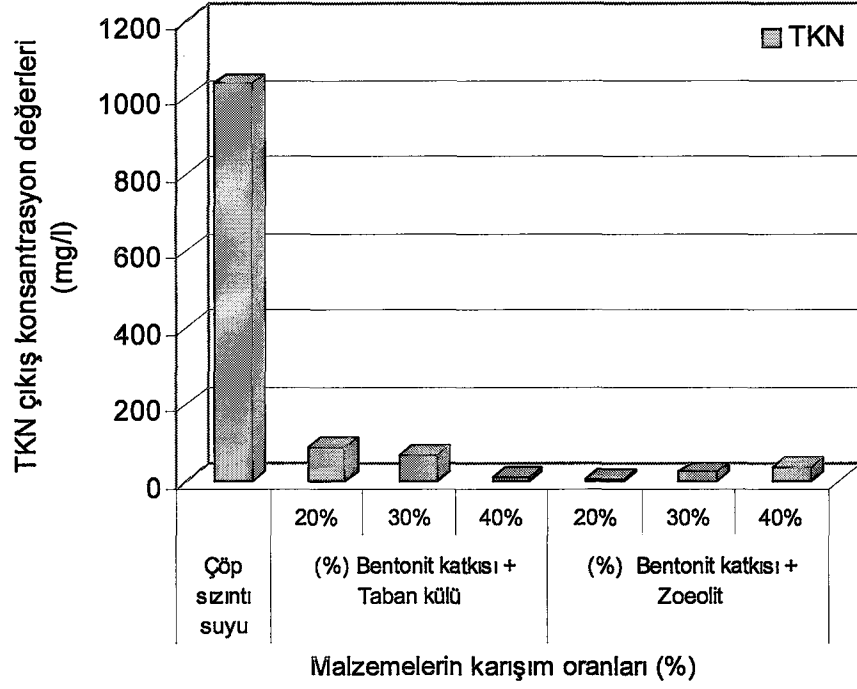
Şekil 5.17'deki tabakalardan süzülen çöp sızıntı suyunun, AKM çıkış konsantrasyon değerlerinde görüldüğü üzere, AKM'de yine % 96 'lık bir tutulma olmuştur



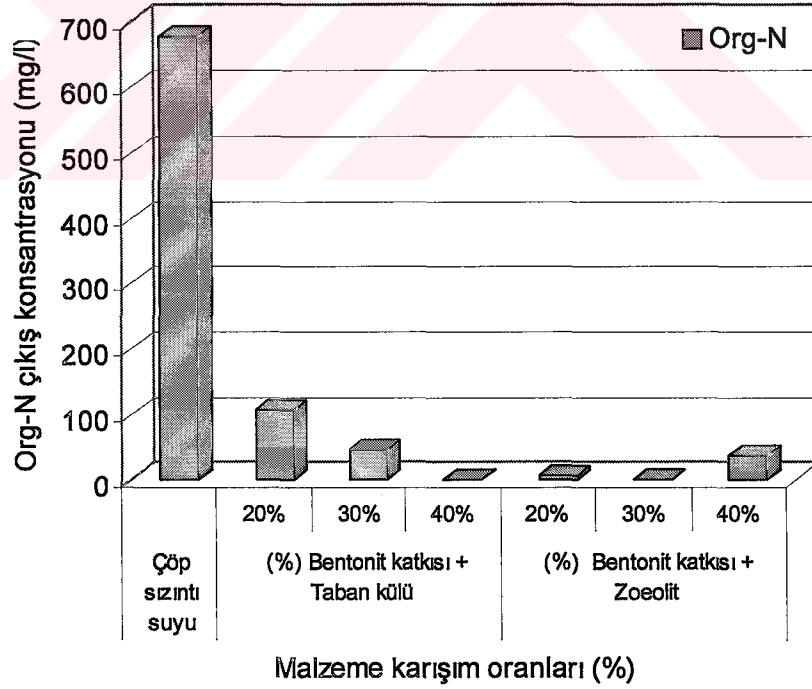
Şekil 5.17 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, AKM çıkış konsantrasyon değerleri (mg/l)

Aslında, sızıntı sularında amonyak azotu miktar bakımından, organik azottan daha fazla bulunmaktadır. Ancak yapılan deneyler esnasında , pH değerinin yüksek ve böylece sıcaklığın artması, amonyağın uçucu hale gelmesini kolaylaştırmıştır. Bunun sonucu olarak, ortamdan elde edilen verilerin, organik azota ait olabileceği tahmin edilmektedir. Şekil 5.18' deki TKN çıkış değerlerinin, Şekil 5.19' daki Org-N değerleri ile birbirine yakın çıkması bunu tasdik etmektedir.

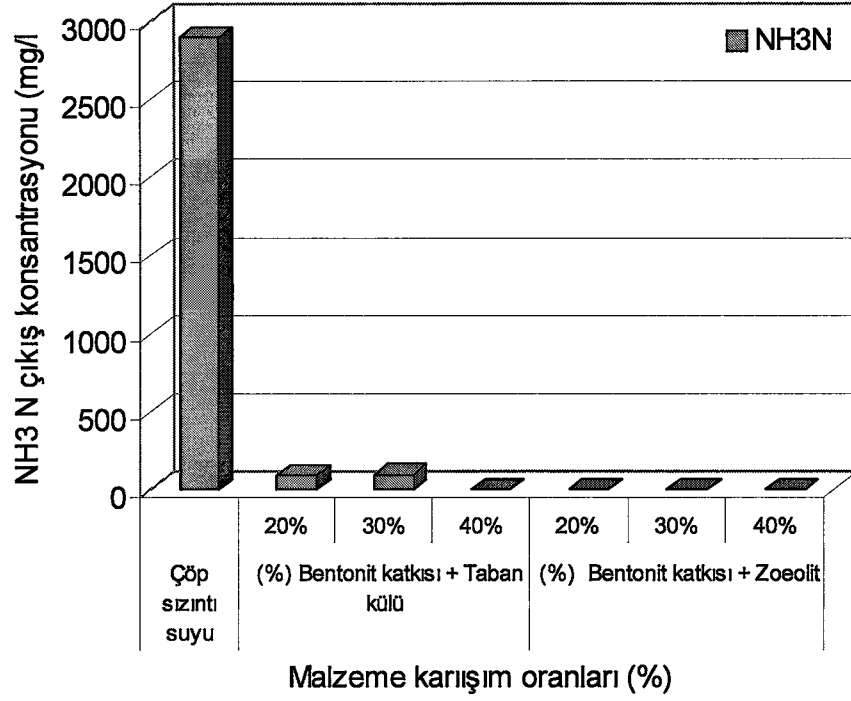
Yine Şekil 5.20' deki NH_3N ' in, sızıntı suyundaki giriş değerinin çok yüksek olmasına karşın, her iki karışımdan elde edilen çıkış değerleri oldukça düşük seviyelerde kalmıştır.



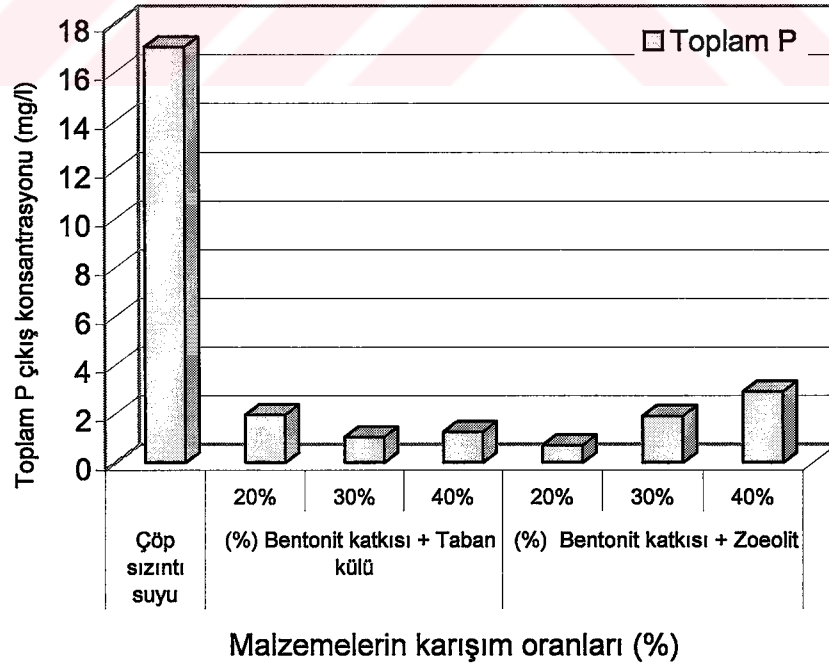
Şekil 5.18 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, TKN çıkış konsantrasyon değerleri (mg/l)



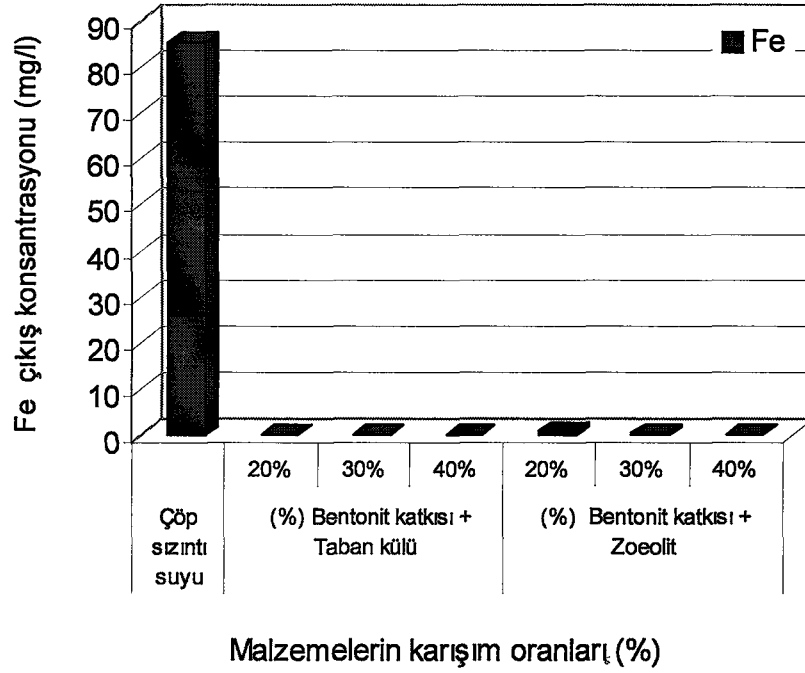
Şekil 5.19 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Org.N çıkış konsantrasyon değerleri (mg/l)



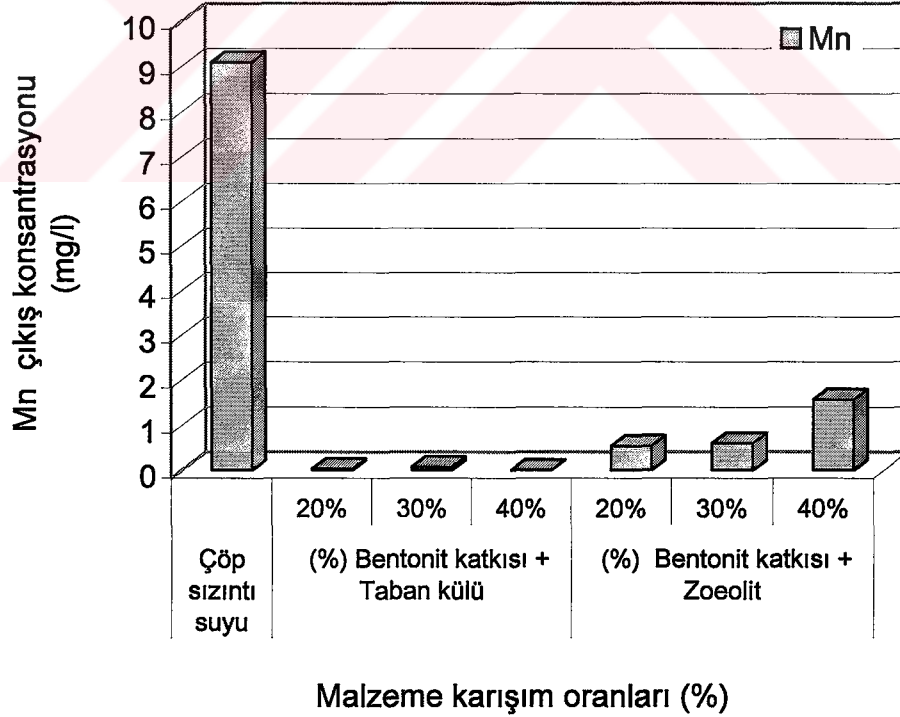
Şekil 5.20 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, NH₃N çıkış konsantrasyon değerleri (mg/l)



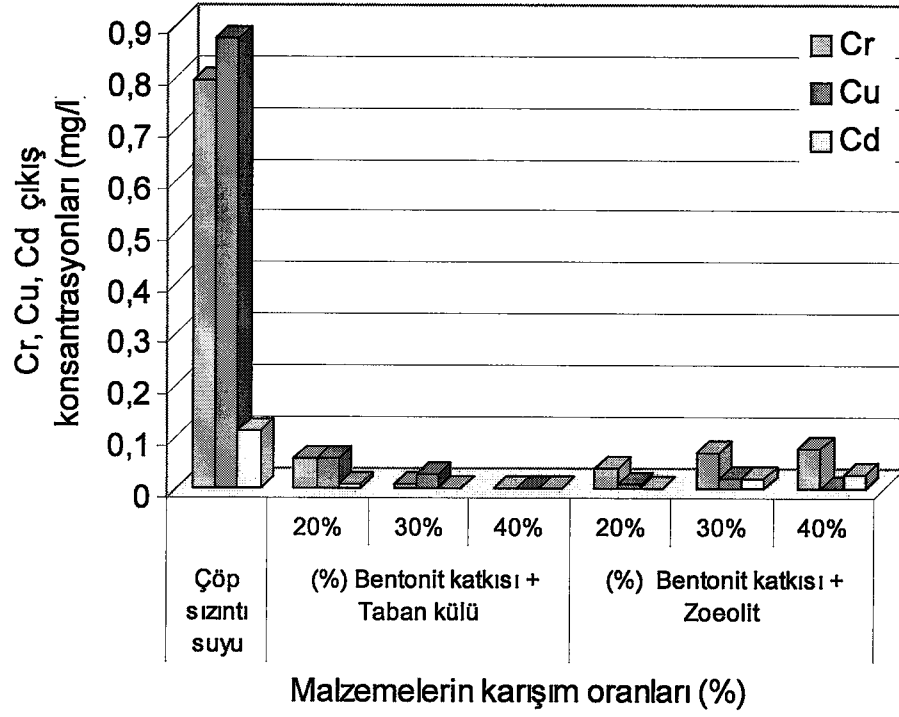
Şekil 5.21 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Toplam.P çıkış konsantrasyon değerleri (mg/l)



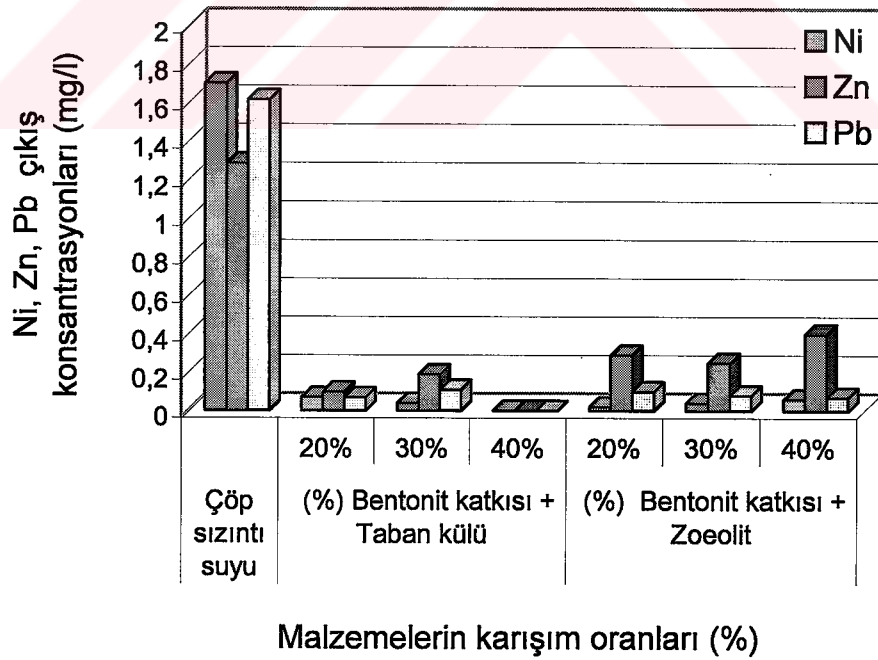
Şekil 5.22 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzölen sızıntı suyu, Fe çıkış konsantrasyon değeri (mg/l)



Şekil 5.23 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzölen sızıntı suyu, Mn çıkış konsantrasyon değeri (mg/l)



Şekil 5.24 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu Cu, Cr, Cd çıkış konsantrasyon değerleri (mg/l)



Şekil 5.25 Değişen bentonit katkı (%) oranlarında, tabaka malzemelerinden süzülen sızıntı suyu, Ni, Zn, Pb çıkış konsantrasyon değerleri (mg/l)

Çinko (Zn) çıkış konsantrasyonu 0.1-0.2 mg/l arasında çıkmıştır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (Resmi gazete :4.Eylül 1988 tarih ve 19919 sayıda), içme suyundaki maksimum çinko miktarı 0.5 mg/l olarak verilmiştir. Bu veriler ışığında çıkan değer, standart limitlerin altında kalmaktadır. Yine, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğindeki.(Resmi gazete :4.Eylül 1988 tarih ve 19919 sayıda) bildiride, sudaki maksimum nikel (Ni) miktarı 0.2 mg/l olarak verilmiştir. Bu çalışmada bulunan nikel değerleri ise, taban külü+bentonit için 0.04 mg/l, zeolit+ bentonit içinse 0.06 mg/l. çıkmıştır. Görüldüğü üzere Ni standartın çok altına indirilebilmiştir.Yine aynı kaynaktan, sudaki maksimum bakır (Cu) miktarı 0.2 mg/l olarak verilmiştir. Bölüm 2'deki literatür çalışmalarında, taban malzemesi olarak kullanılan diğer maddelerin veri sonuçları ile, yapılan bu tez çalışmasının verilerinde aşağıda Şekil 5.26'da grafiksel olarak mukayesede, bu fark açıkça görülebilmektedir.



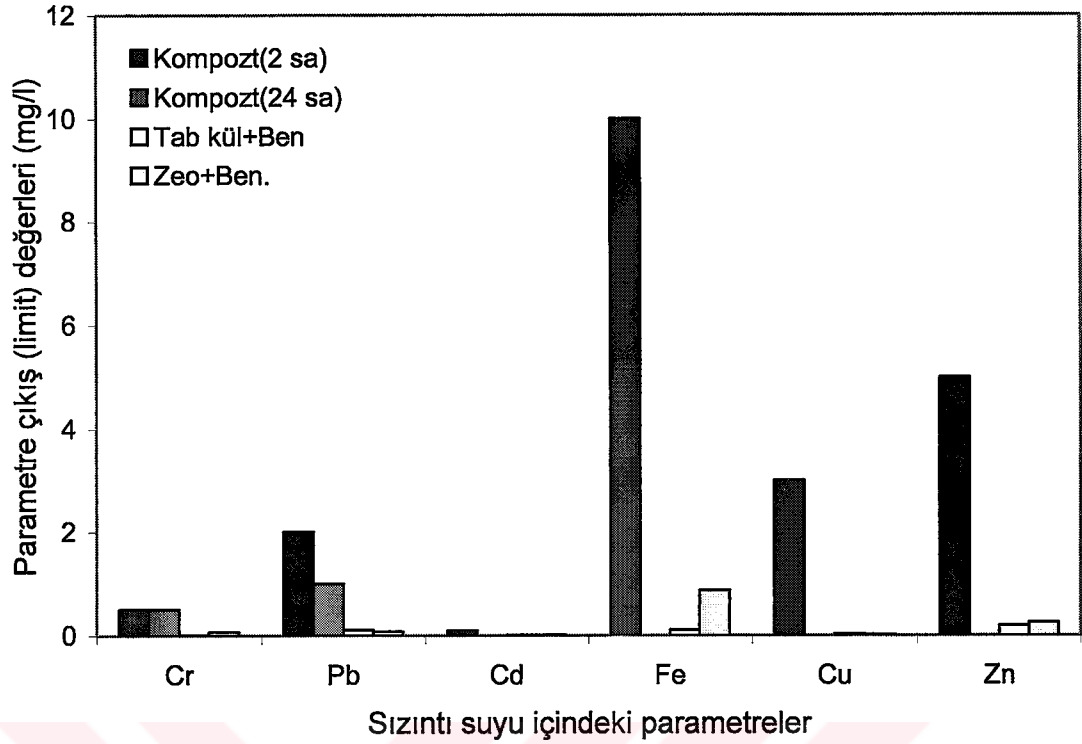
Şekil 5.26 Tabakalardan süzdürülen sızıntı suyu ağır metal (Pb, Zn, Cr) adsorbsiyonu bakımından, elde edilen verilerin daha önceki çalışmalarla kıyaslanması

Tüm bu verileri, kendi içinde irdeleyip, daha önce yapılmış diğer çalışmalardaki taban malzemeleri ile ağır metal adsorbsiyonu açısından kıyaslama yapıldığında, bilhassa Pb, Zn, Cr metallerin gideriminde fark edilebilir bir başarı sağlandığı gözlenmiştir. Depolama alanından çıkabilecek sızıntı suyunun, katı atık yönetmelik standartlarına (Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri, sızıntı çıkış suyu sınır değerleri) uyup uymadığını ise, aşağıda Çizelge 5.6'da kıyaslanmıştır

Çizelge 5.6 Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri, sızıntı çıkış suyu sınır değerleri (Çevre ve orman bakanlığı atık su deşarj standart yönetmeliği Tablo-20.6 verileri) ile deney sonuçlarından elde edilen çıkış değerlerinin karşılaştırılması

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE		Taban	Zeolit
		2 SAATLİK	24 SAATLİK	Külü+ %30 Ben	+%30 Bentonit
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	mg/l	100	50		
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/l	160	100	2400	140
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/l	200	100	33	111
Yağ ve Gres	mg/l	20	10		
Toplam Fosfor (PO ₄ -P)	mg/l	2	1	1.04	36.4
Toplam Krom	mg/l	3	1	0.01	0.7
Krom (Cr ⁺⁶)	mg/l	0.5	0.5		
Kurşun (Pb)	mg/l	2	1	0.11	0.08
Toplam Siyanür (CN ⁻)	mg/l	1	0.5		
Kadmiyum (Cd)	mg/l	0.1		0.01	0.01
Demir (Fe)	mg/l	10		0.11	0.87
Florür (F ⁻)	mg/l	15			
Bakır (Cu)	mg/l	3		0.03	0.02
Çinko (Zn)	mg/l	5		0.19	0.25
Balık Biyodeneyi (ZSF)		10			
pH		6-9	6-9	9.7	7.37

Bu verilerde bilhassa ağır metal çıkış konsantrasyonlarının, sınır değerlerinin çok altında kaldığı gözlenmiştir. Ama burada da problem olarak, Taban külü karışımına ait KOİ değeri hem zeolite göre hemde sınır değerlerinin çok üzerinde kalmıştır.

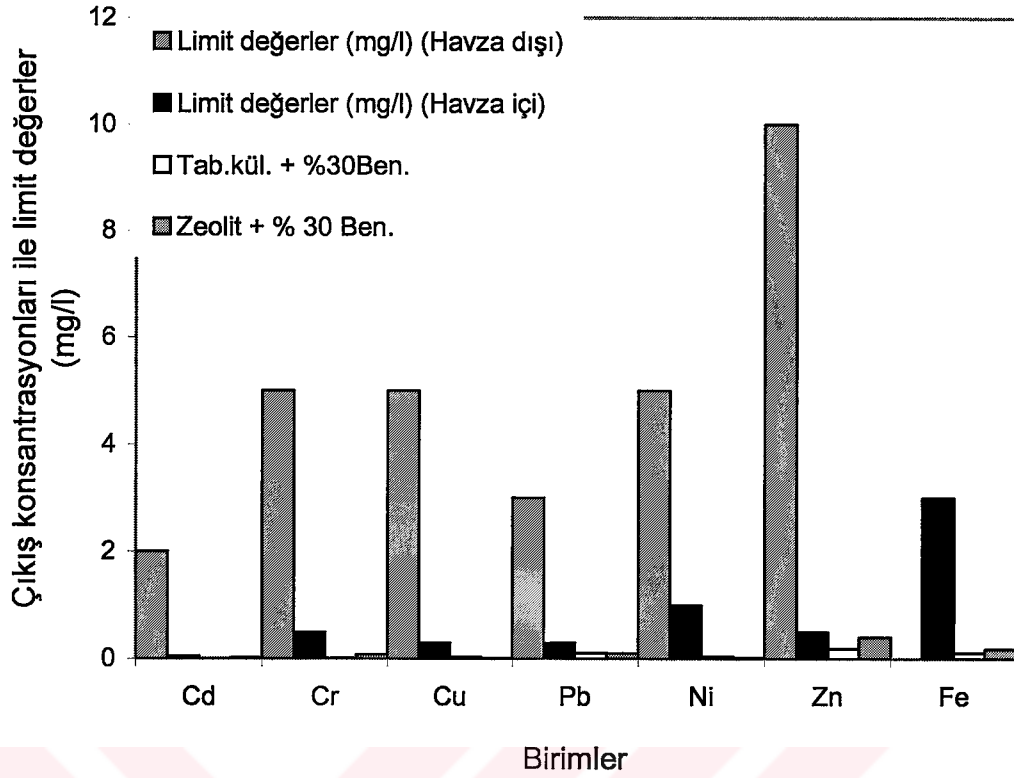


Şekil 5.27 Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri, sızıntı çıkış suyu sınır değerleri (Çevre ve orman bakanlığı atık su deşarj standart yönetmeliği Tablo-20.6 verileri) ile deney sonuçlarından elde edilen çıkış değerlerinin karşılaştırılması

Yine bu verilerin ışığında, tabandan elde edilebilecek sızıntı sularının, depolama alanından uzaklaştırılması açısından deşarj yer ve standartlarına uygun olup olmadığı incelendiğinde, çıkış (süzüntü)suyu konsantrasyonlarının, bilhassa toplama borularından itibaren bir çok parametre açısından, her hangi bir arıtma yapıp yapılmaması konusunda fikir vermesi açısından, sonuçlar (İSKİ) havza içi ve havza dışı deşarj standartları ile mukayese edilmiştir. (Çizelge 5.7)

Çizelge 5. 7 Atık suyu (havza içi ve havza dışı) deşarj standart limit değerleri ile, deneylerde iki ayrı tabaka malzemesinden süzdürülen sızıntı suyu çıkış konsantrasyon verilerinin kıyaslanması

Birimler	Limit değerler (mg/l)	Limit değerler (mg/l)	Süzdürülen çöp sızıntı suyu çıkış kons.(mg/l)	
			Tab.kül. + %30Ben.	Zeolit +% 30 Ben.
Havza dışı (İSKİ)		Havza içi (İSKİ)		
KOİ	800	100	2400	140
AKM	350	20	33	106
TKN	100	15	67	2.8
Toplam P	10		1.04	0.7
Yağ-Gres	100	3		
As	10	0.1		
Sb	3			
Sn	5			
Cd	2	0.05	<0.01	0.02
Cr	5	0.5	0.01	0.08
Cu	5	0.3	0.03	0.01
Pb	3	0.3	0.11	0.10
Ni	5	1	0.04	0.02
Zn	10	0.5	0.19	0.40
pH	6-10	6.5-9.5	9.7	7.68
Hg	0.2	0.005		
Ag	5			
Cn	10	0.1		
Fe		3	0.11	0.18
Al		2		
Cl		0.3		
Fenol	10			



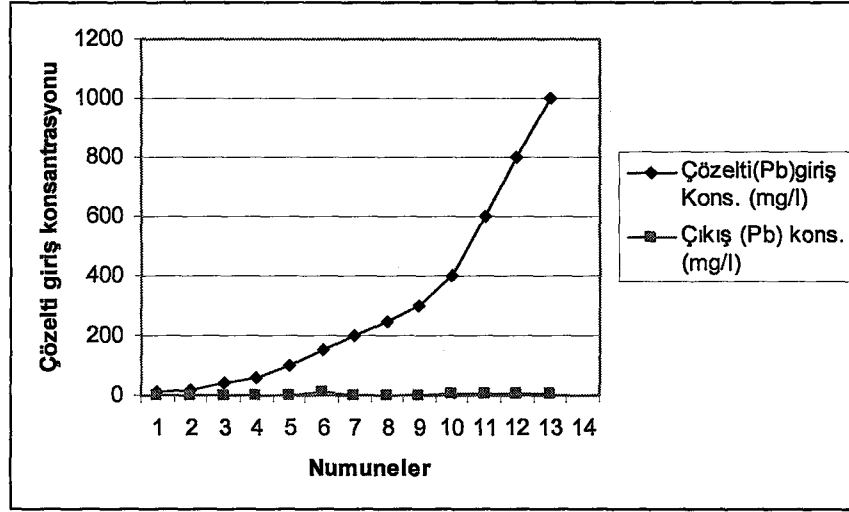
Şekil 5. 28 (%30Bentonit katkılı)Taban külü ve zeolitten süzdürülen çöp sızıntı suyu çıkış konsantrasyonları ile, İSKİ havza içi ve havza dışı atık su deşarj standartlarının karşılaştırılması

Bu garfiktende anlaşılabileceği üzere, hem havza içi, hemde havza dışı deşarj standartlarının çok altında değerler çıktığı, dolayısı ile, her hangi bir ön arıtmadan geçirilmeden deşarj edilebileceği görülebilmektedir (Şekil 5.28). Bu veri, aynı zamanda depolama alanının ek bir arıtım ünitesine gerek olmadığını, dolayısı ile işletme maliyetini oldukça düşürecek avantaj sağladığını da göstermektedir. Özellikle ağır metal giderilme oranları bir çok değer için, Çevre Bakanlığının Su Kalite Sınıflandırması, Tablo 1'deki, birinci sınıf su kalite standartları içinde bulunmaktadır.

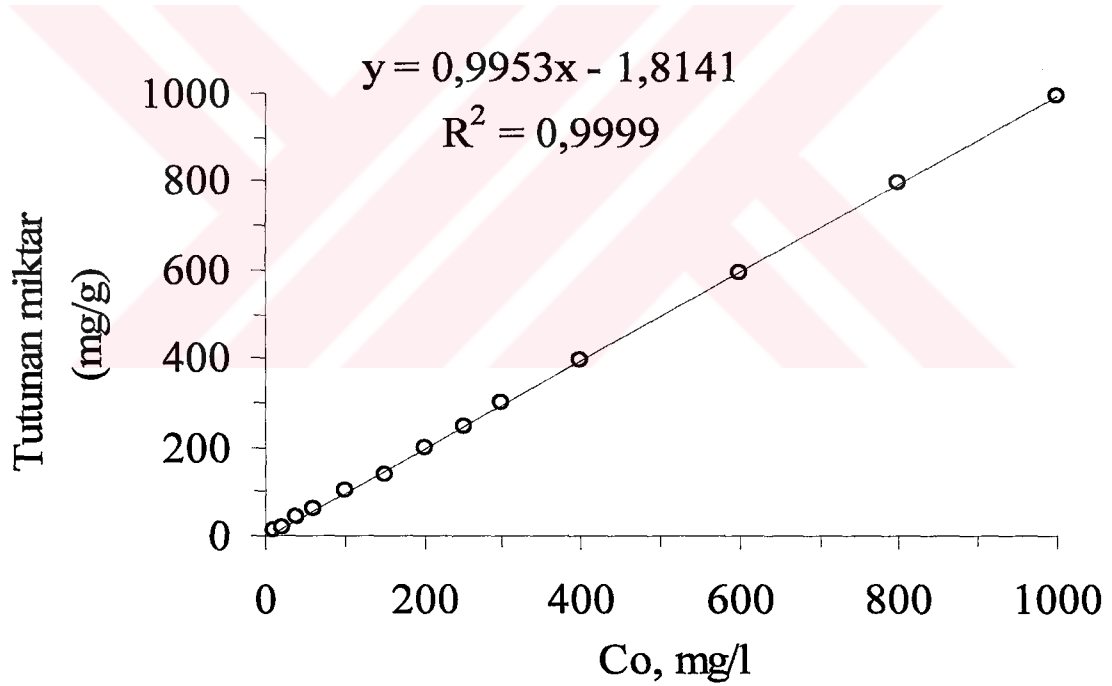
5.1.4 Adsorbsiyon izoterm deney verilerinin, grafiksel yorumlamaları

Tüm bu veriler, oluşturulan taban malzemelerinin, özellikle taban külünün ağır metal adsorblamada büyük verimler elde edildiğini göstermektedir. Fakat bu adsorblamanın, ne şekilde ve ne zamana kadar devam edebileceğinin de depolama ömrü açısından bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle gerçekleştirilen adsorbsiyon izoterm deneylerinde, zamanla artan, ama belli bir noktadan sonra sabit devam eden bir izoterm eğrisi idealize edilmiştir. Pb ile taban külü + % 30 bentonit karışımına uygulanan deneyde, adsorblama olayının zamana göre

sürekli arttığı aşağıda ki gibi bir eğri elde edilmiştir (Şekil 5.29 ve 5.30).

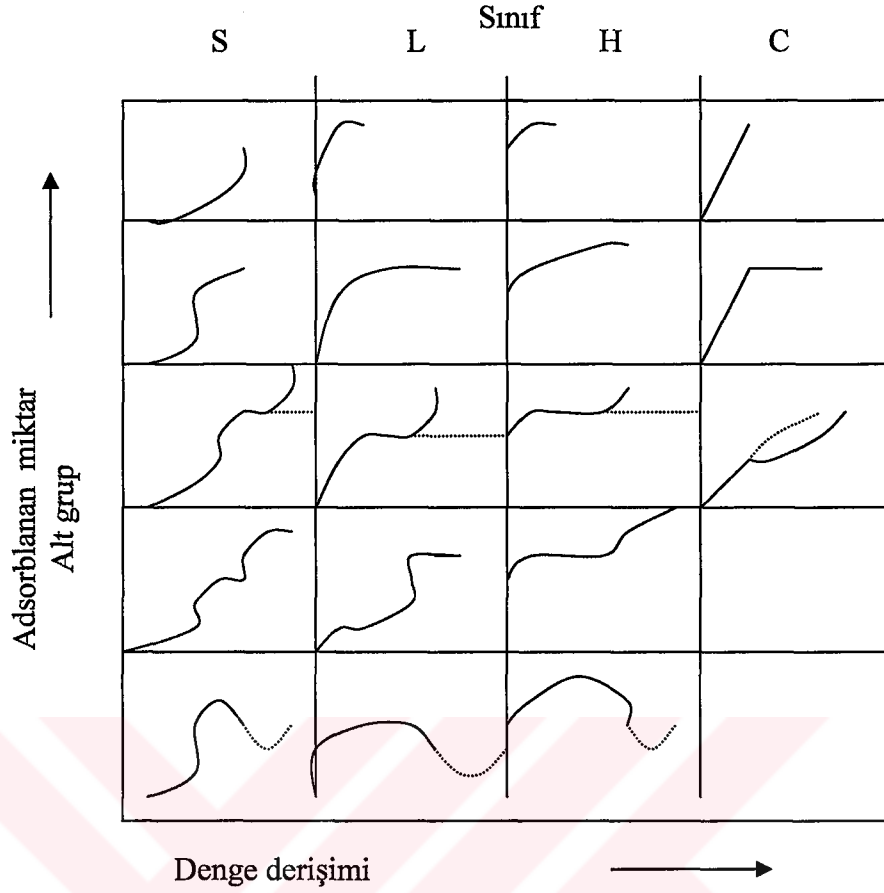


Şekil 5.29 Taban külü+Bentonit karışımından geçirilen Pb(NO₃)₂ çözeltisinin, Pb çıkış konsantrasyon değerleri



Şekil 5.30 Taban külü+% 30 Bentonit karışımının, Pb adsorbsiyon izoterm grafiği

Bu sonuca binaen yapılan incelemelerde, daha önceki çalışmalarda, yalnızca tek çeşit adsorbsiyon eğrisinin bulunmayıp, malzeme tür ve özelliklerine göre farklı eğrilerin elde edilebileceği ve her birinin farklı sınıflar oluşturacağı bildirilmiştir (Albayrak, 1990).

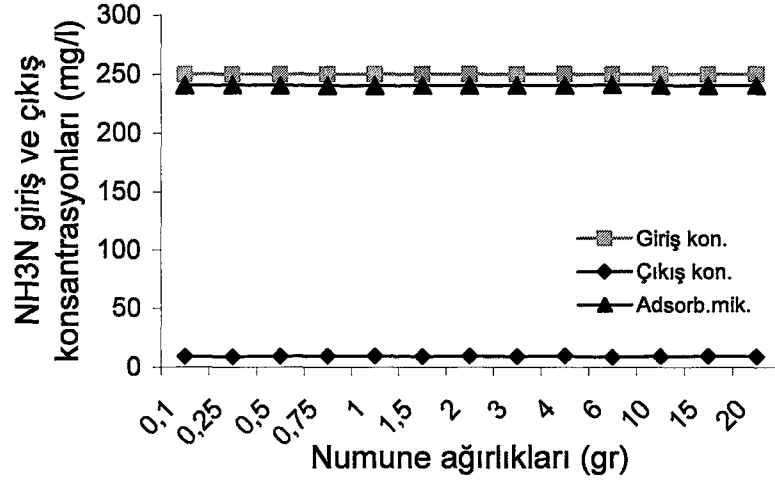


Şekil 5.31 İzotermelerin sınıflandırılması (Albayrak, 1990).

Yukarıda ki Şekil 5.31 de, izotermelerin sınıflandırılmasında görüldüğü üzere, dört farklı izoterm sınıfı ve onların alt grupları verilmiştir. Dolayısı ile bu Pb çıkış konsantrasyonunun verdiği izoterm eğrisi, C tipi izoterm eğrisine benzediğinden, bu eğri özelliklerini yansıttığı görülebilmektedir.

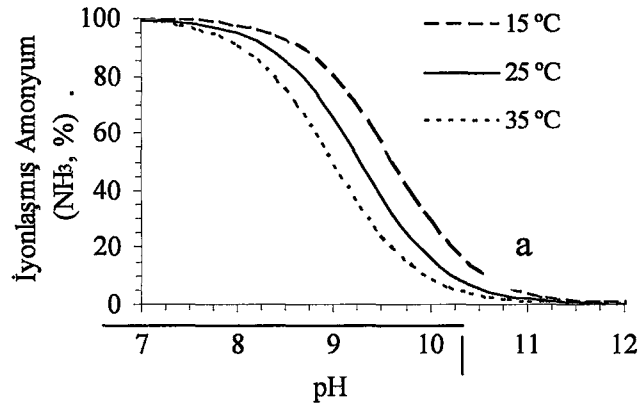
C tipi: Bu tür izoterm, çözelti ile adsorban arasında adsorblanan sabit paylaşımı gösterir ve özellikle tekstil elyafında gözlenir (Giles vd.,1960).

Bundan sonraki aşamada, NH_3N kullanılarak malzeme adsorbsiyom izotermi incelenmiş elde edilen Çizelgeye göre aşağıdaki Şekil 5.32'deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 5.32 Taban külü+(%30) Bentonit karışımının NH₃N, çıkış konsantrasyonunun incelenmesi

NH₃'ün sabit bir adsorblama miktarı olmasının sebebi, bilhassa taban külünün pH derecesinin, 11.8 gibi yüksek bir değerde oluşu, ortamdaki amonyumu, amonyak gazına çevirebilecek bir sıcaklık oluşumuna neden olup, buda uçucu hale geçen kısımla birlikte ortamdaki ayrılmasıdır. Böylece malzeme bünyesine tamamı geçmemektedir. Şekil 5.32' de yalnızca malzemenin giriş ve çıkış konsantrasyonu grafiksel olarak gösterilmiştir. Her noktada sabit bir verim elde edildiğinden, adsorbsiyon izotermi oluşmamaktadır. Daha önceki çalışmalardan elde edilen verilerde (Günay, 2002), amonyağa ait adsorbsiyon izotermine pH ve sıcaklığa göre değişim eğrisinde (Şekil 5.33), "a" noktasının denk geldiği izoterm aralığı, yaklaşık 10 mg/l olmaktadır.



Şekil 5.33 Adsorbsiyon izoterm deneyinin geniş konsantrasyon aralıklarında ki veri grafik yorumlaması (Günay, 2002)

Buda yapılan bu çalışmada taban külü ve bentonit karışımına ait izoterm eğrisinin neden elde edilemediğini açıklamaktadır. Her iki madde içeriğı ile taban külü+bentonit karışımının izoterm eğrisini vermeyişinin sebebi olarak, Literatüre göre (standart methods 1989), pH değerinin 5 veya daha az olması, organik asitlerin varlığı ve saha içindeki COs derişiminin yükselmesindendir. Bu değere genellikle asit fazında rastlanır. Buna bağlı olarak BOİ₅, KOİ ve iletkenlik değerleri de organik asitlerin çözünmesinden dolayı artar. pH'ın 6-8 aralığında olduğu metan fermentasyon fazında ise, BOİ₅, KOİ ve iletkenlik değerleri düşer. Daha yüksek pH değerlerinde, çözeltide daha az inorganik bileşenler kalacağından, sonuçta sızıntı suyu içindeki ağır metal derişimleri de azalacaktır. Taban külünün pH oranı yüksek olduğu için, metaller N-OH kompleksi olarak çkeldiğinden, Pb₂ ile yapılan adsorbsiyon deneylerinde, Pb zemin numunelerinin doğal pH değerinde, Pb(OH)₂ olarak çökeldiği ve burada adsorbsiyondan ziyade çökelmenin olduğu, malzemenin adsorbsiyon kapasitesi ile ilgili sağlıklı bir değerlendirme yapılamadığı grlmştr.

Aynı Şekilde NH₃N ile yapılan deneylerde (amonyak azotu), NH₃ dönüştüğünden ortamdan uçmaktadır. Dolayısı ile, burada oluşan adsorblama olmamaktadır.

Bu şartlarda. Özellikle pH değerinin yüksek olduğunda adsorblama yerine çökelme olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5.1.5 Oluşturulan tabaka malzemelerin maliyet hesapları (Fizibilitesi)

Oluşturulan depolama alanı taban malzemesinin genel olarak maliyeti; öncelikle tek tek karışım malzemelerinin birim fiyatları hesaplanmakta, daha sonra bunların depolama alanına getirilmesi için taşıma giderleri eklenmekte, en son olarak depolama alanında zemine uygulanması, yani karışımaları oluşturup alana serilmesi sıkıştırılması v.b. işçilik giderleri yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Ana malzeme olarak kullanılacak termik santral taban külünün, taşıma giderleri hariç, maliyeti olamamaktadır. Yapılan bu çalışmanın özelliği, taban külünün, büyük bir atıl malzeme olması ve depolama açısından gerek yer, gerekse evre şartları bakımından olumsuzluk taşıması nedeniyle, hem çevreye zarar vermeden, hemde büyük oranlarda yer ihtiyacını kaldırarak, yeniden kullanılabilir bir malzemeye dönüştürülmesidir. Aşağıda verilen çizelgelerde, önce tez çalışmasında kullanılacak malzemelerin birim fiyatları ve mal oluş cetvelleri, daha sonra bunların geomembran (yapay) malzemelerde mukayesesi verilmiştir. Yine literatür çalışmalarından bu malzemelerin benzer şekilde farklı malzemelerle bir araya getiriliş oranları incelenmiş ve tahmini olarak belirli % oranları öngörülerek birim fiyatlar üzerinden maliyetleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8 Oluşturulacak taban malzemesini bir araya getirecek malzemelerin birim fiyatları

Malzeme	Ton	Min.\$	Max \$
Bentonit	1	30 \$	110 \$
Zeolit	1	50 \$	100 \$
Taban külü	1	-	-
Taşımacılık ücreti	1 km		

Çizelge 5.9 Kullanılacak malzemelerin birim hacim ağırlıkları ve yoğunlukları
(Hausmann, 1990).

	<i>Tabii Zeolit</i>	<i>Taban külü</i>	<i>Bentonit</i>
Tabii yoğunluk	0,99 Mg/m ³	1.139 Mg/m ³	0,87 Mg/m ³
Kuru birim hacim ağırlığı	0,88 Mg/m ³	1.086 Mg/m ³	0,80 Mg/m ³
Özgül ağırlık	2,22		2,25

$$1 \text{ Mg/m}^3 = 1 \text{ Ton/m}^3 = 1 \text{ ar/cm}^3 \text{ (Hausmann, 1990)}$$

Oluşturulacak 1 m³ taban malzemesinde kullanılacak Bentonit miktarı; % 30 oranında katıldığında;

$$0,80 \text{ ton/m}^3 \times 0,30 = 0,240 \text{ ton bentonit kullanılacak.}$$

Zeolitin oranını da % 100 olduğundan,

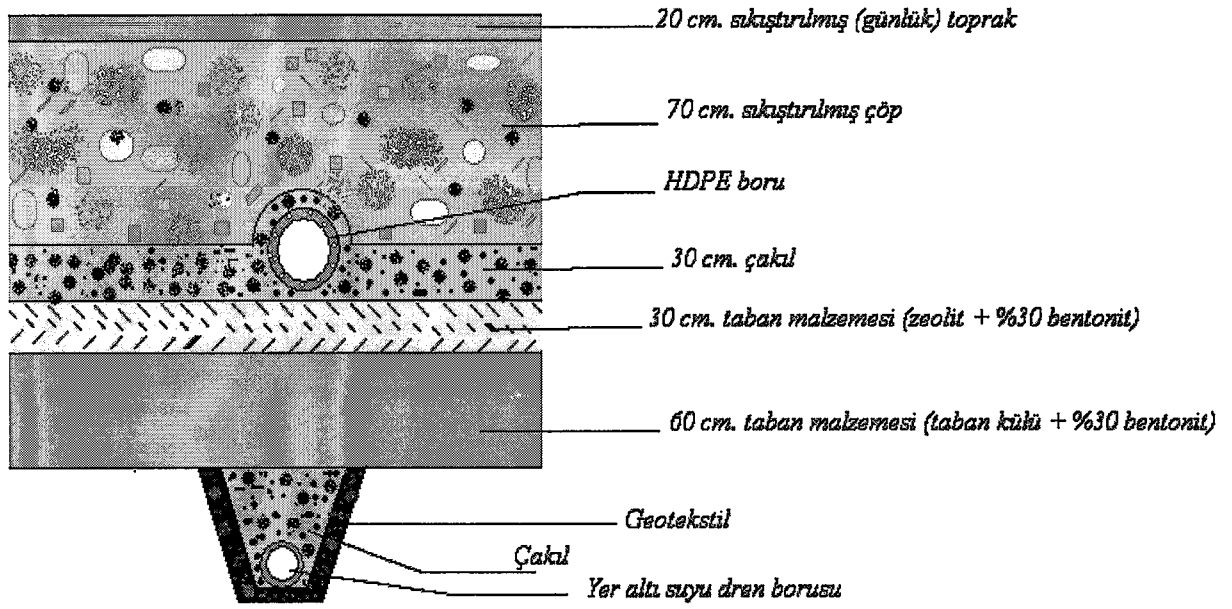
$$0,88 \text{ ton/m}^3 \times 1 = 0.88 \text{ ton zeolit kullanılacak.}$$

Taban külü oranı %100 olup

$$1.086 \text{ ton/m}^3 \times 1 = 1.086 \text{ ton taban külü kullanılacak.}$$

Bunların üzerine, taban külün ve bu malzemelerin depolama alanına getirilme (ulaşım), ve yerleştirme (işçilik) giderleride eklenecektir.

Çizelge 5.8' de kullanılan bentonit ve zeolite ait fiyatların kaynakları, EK 5'deki listelerde verilmiştir.



Şekil 5.34 Taban kılı ve zeolitin % 30 bentonit karışımları ile oluşturulmuş depolama taban malzemesinin uygulanış şeması

Yapılan bu çalışmada kullanılan taban kılı+bentonit ve zeolit+ bentonit taban malzemeleri ile oluşturulan deponi tasarımı görülmektedir (Şekil 5.34).

Odayeri depolama alanına ait, keşif bedelleri (2003 yılı), Ek 1’de verilmiştir. Odayeri çöp depolama sahası, membran (HDPE) sistemi ile oluşturulduğundan, burada HDPE ve geotekstil temin ve serimi ile, 30’ar cm.lik iki ayrı kil tabakası ve çakıl tabakaları temin ve tesis edilmiştir. Bu malzemeler, yapılan bu tez çalışmasında kullanılmayıp, onun yerine yukarıda Çizelge 5.9’da verilen taban malzemeleri tesis edilecektir. Diğer bütün depolama alanı inşaa, tesis ve malzemeler, fiyat listesi oluşturulan ve EK 1’de keşif bedeli verilen malzeme ve fiyatları uygulanacaktır. Bu nedenle, yukarıda Çizelge 5.10’da yalnızca liste dışındaki kullanılan malzemeler verilmiştir.

Çizelge 5.10 Oluşturulan depolama taban malzemelerinin fiyat analizleri (keşif bedelleri)

	Kullanılacak alan		Kullanılacak malzeme miktarı			Malz.birim fiyatları (\$)**	Top. Malt (\$)**	Taban Kül. Öğüt maly	Techizat makine
Kullanıl malz.	Alan (m ²) (A)****	Yüksek. (h=m) (B)	Kuru birim Hacim ağırlık (Mg/m ³) (C)	Malzeme oranı* (%) (D)	Malzeme Hacmi (m ³) [(B*D)*C]/A (E)	Ton (F)	(E*F)	Elekt. Sarfıyat kw/sa (\$) (TL)	Öğütme Makinası (TL)
Taban külü	1	0.6	1.086	0.77	0.783	-	-	0.75	15-60 milyar
Bentont.	1	0.6	0.8	0.23	0.0624	30-110	6		-
Zeolit	1	0.3	0.88	0.77	0.2024	50-100	20		-
Bentont.	1	0.3	0.8	0.23	0.0552	30-110	3		-

Yapılan bu hesaplama göre, bentonitin her iki tabakada da toplam kullanım miktarı ve maliyeti ile zeolitin toplam maliyeti; ortalama 9 \$ olmaktadır. Bunun dışında asıl kullanım malzemesi olan taban külü, taşıma giderleri dışında, madeni bir materyal olmadığı için, yalnızca öğütme gideri olacaktır. Bu işlem gerekirse madencilik şirketlerine yaptırılabilir. Ancak bu işlem ticari amaçla yapılacağı için maliyeti yükseltebilir. Bu nedenle öğütücü makinelerin satın alımı ile uzun vadede ivedi çözüm bulunmuş olacaktır.

* Bir Amerikan doları (\$) = 1 530 000 TL (12.05.2004 Tarih itibari ile)

** Malzeme fiyatları en üst sınırdan hesap edilmiş olup, ilgili firmalarca ihale usulü ile ve toptan alışlarda verilen fiyatların %50 oranlarında düşürülebileceği bildirilmiştir.

*** Malzeme oranı:100 birim ana malzemeye + 30 birim bağlayıcı malzeme oranı olduğundan, 30/130= 23/77 olmaktadır.

**** Kolon simgeleri

Bu konuda hazır öğütücü firmalar olmadığından, öğütücü makinaları araştırılmış ve bu konuda fiyat teklifleri incelenmiştir. Makina işleyiş prosedürü, malzeme inceltme oranı ve belirli zamanda (inceltilmiş) ürün çıkış miktarı ile, bu farklılıklara göre çıkarılan fiyat listesinde EK 2’de verilmiştir. Makine fiyatları, 6-70 milyar TL. arasında değişmekte, özellikle 5 adet makina kullanımı saatlik verim ve performans açısından daha yeterli olacaktır.

1 kw/saat elektrik sarfiyat bedeli: 127.800 TL

Makinenin bir saatte tüketeceği elektrik sarfiyatı: 74 kw.

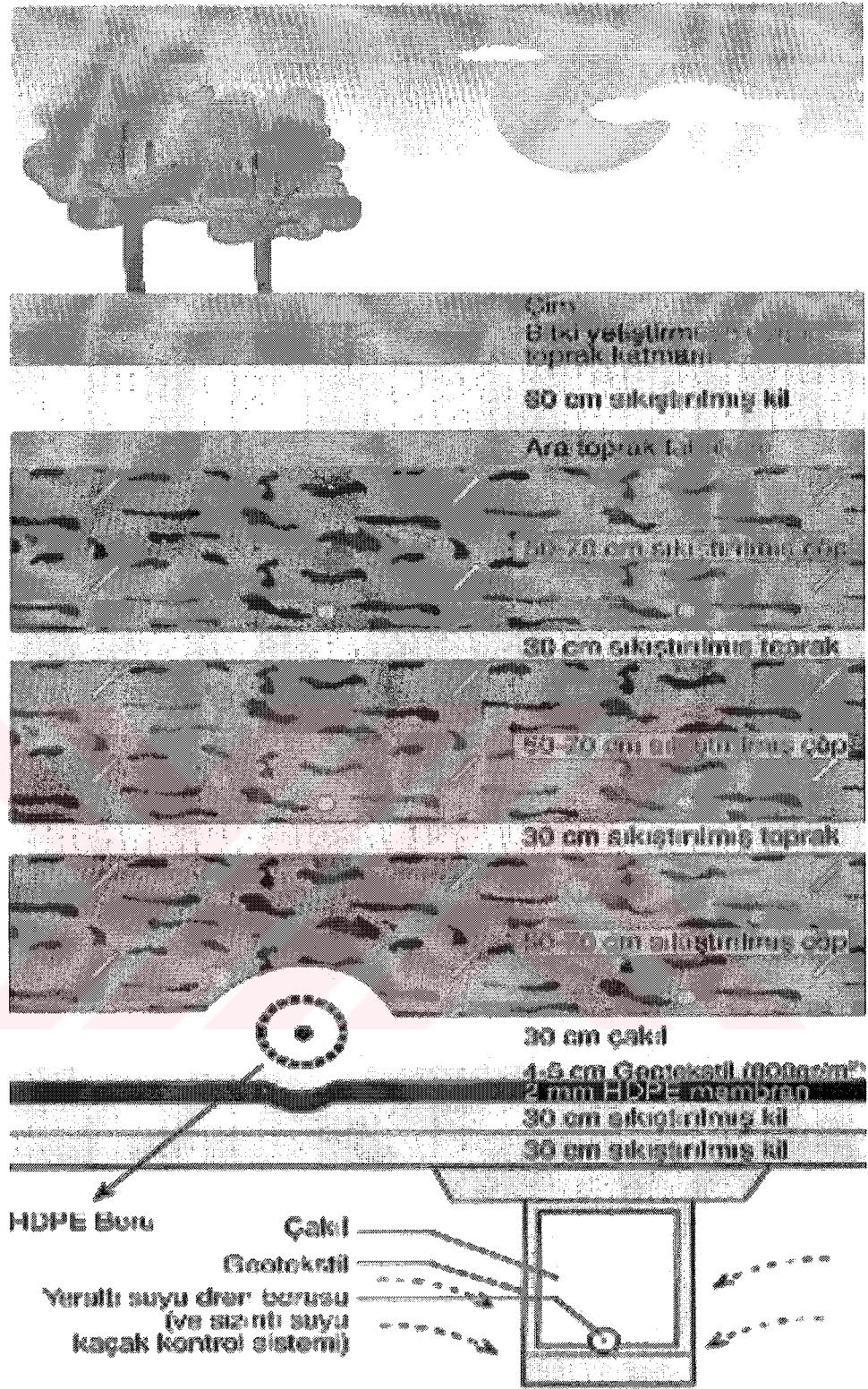
1 ton malzeme, 1 saatte öğütüldüğüne göre, $0,783 \times 74 \cong 1.000.000$ TL. (saatlik elektrik sarfiyatı)

Bu çalışmada oluşturulan malzemelerin tümüne ait, toplam harcama bedeli;

1 m² alan içinde: 3 + 6 = 9 \$ bentonit, 20 \$ zeolit satın alım bedeli ve 0.75 \$ taban külü öğütme elektrik sarfiyat bedeli olarak toplam $\cong 30$ \$ olmaktadır

Her ne kadar öğütücü makine maliyeti ilk bakışta fazla görünmekte ise de, oluşturulan bu taban malzemesinin doğal bir arıtcı sistem olarak görev yapabilmesi, ayrıca oluşturulacak “Atık su arıtma tesisi” gerektirmeyeceğinden ve bu arıtma tesisi sadece kurma maliyeti :

2 triyon 877 miyar (yaklaşık 3 trilyon) TL. malolmaktadır. (İstaç, mali işler ve hesap uzmanlığı) Ayrıca, bu arıtma tesisinin işletmeye girmesinden sonra, işletim ve arıza giderim masraflarında oldukça yüksek maliyette olacaktır. Yine tüm bu verilerle kıyaslamak amacı ile, Odayeri Depolama Alanı, tesis giderleri (keşif hesabı) aşağıda yapılmıştır.



Şekil 5. 35 Odayeri Depolama Alanına ait tabaka malzemeleri teşkil şeması
(İstaç tanıtım broşürü 2002)

Yukarıda Şekil 5.35' de verilen şemada, Odayeri Düzenli Çöp Depolama alanının tabaka oluşum şekli verilmektedir. Ek 1'de verilen keşif bedelleri bu şemaya göre hesaplanmıştır. Odayeri depolama alanında kullanılan, ancak yapılan bu çalışmada kullanılmayacak HDPE, geotekstil, kil tabakaları ve diğer birimlerin toplam maliyeti ;

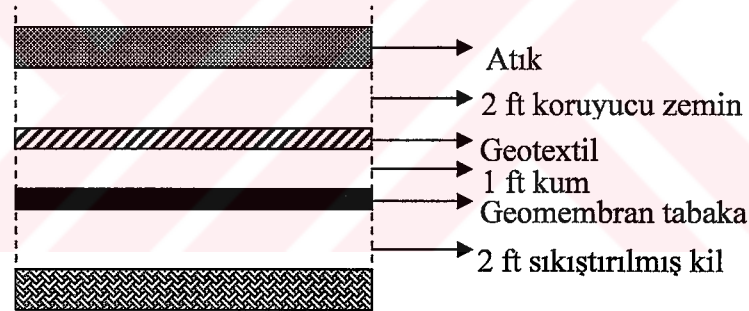
Geomembran (HDPE) m^2 :12 \$

Geotekstil m^2 : 3.5 \$

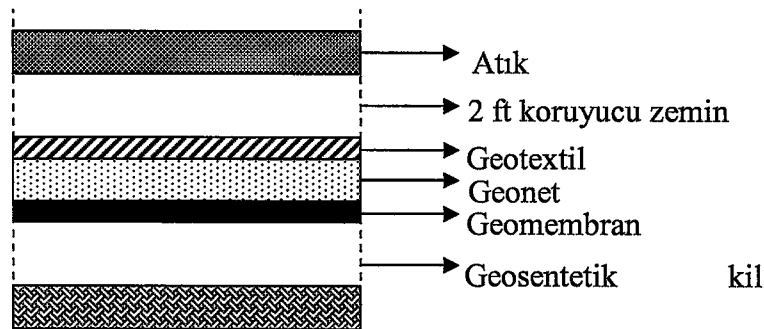
Kil m^3 :0.5 \$

16 \$

Yapılan bu maliyet analizini, dünyada daha çok tercih edilen ve geçirimsizliği 10^{-11} olan yapay (Geomembran) malzemelerle kabaca kıyaslandığında, membran çeşitleri ve üzerine koyulabilecek koruyucu yapay malzemelerin türlerine göre fiyatları da farklılık arz etmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında ortalama fiyatlar ve yerleştirme türlerine göre en fazla uygulama sıklığı gören şekiller aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 5. 36 a) Geomembranın arada konulması



Şekil 5. 37 b) Geomembran, geonet ve geotekstil'in bir arada kullanılması
(1 ft $\approx$ 0,305 m = 30,5 cm)

Yukarıda, Şekil 5.37' de örneği verilen tabakaların 1 m² maliyeti ise;

HTPE (Geomembran) * : 12 \$

Geotextil * : 3 \$

Geonet * : 18 \$

Geosentetik kil tabakası * : 10 \$

: 43 \$ (Mayıs 2004 döviz kurları itibari ile : 66 000 000 TL)

olmaktadır.

Her ne kadar ülkemizde geomembran kullanımı maliyeti bakımından pek fazla tercih edilmesede, geomembranların bilhassa geçirimsizlik özellikleri sebebiyle çok kullanışlı bir taban malzemesi olduğu şüphe götürmez. Yine piyasadaki geomembran ve benzer ürünlerin fiyatlarını araştırıldığında ortalama maliyetleri; Geomembranları PVC türlerinin 1 m²'si, 5-20 dolar, HDPE olarak adlandırılan türleri 1 m²'si, 8-20 dolar arasında değiştiği bildirilmektedir. Yine geomembranları gerek alt ve gerek üstten korumaya almadan direk kullanılmadığı için alt tabakaya (zemin üzerine) literatürde min.2ft (60 cm), Türkiye'de 30 cm kil tabakası serilmektedir. Geomembranların üzerine de uygulama yöntemlerine göre koruyucu geotextil ve/veya Geonet şilteleri serilmektedir ki bunların maliyeti de ortalama bir membrana yakın olmaktadır. Diğer taraftan, geosentetik tabakaların sadece malzeme maliyeti çıkarılmıştır, oysa bu malzeme hemen hemen geçirimsiz bir özelliğe sahip olmakla birlikte, taban külü veya zeolit gibi doğal bir adsorbent olmadığı için, bünyesine inen sızıntı sıvısının tamamını, önce kollektörlerle toplamak, daha sonra bu suyu bir arıtma işleminden geçirdikten sonra sahadan uzaklaştırmak gerekmektedir. Bilhassa ayrıca kurulması ve sürekli işletilmesi gereken arıtma tesisi maliyetleride geosentetik tabaka maliyetine eklenildiğinde, diğer iki malzemedan çok daha fazla rakamlar ortaya çıkmaktadır

Sonuç itibari ile, 1m² Taban külü + % 30 bentonit ile zeolit + % 30 bentonit karışımının toplam maliyeti: 30 \$ olmakta, HDPE ve geosentetik ürünlerin maliyeti ise 66 \$ (atık su arıtma ünite maliyeti hariç) olmakta, böylece bu çalışmada oluşturulan tabaka malzemesi % 55 oranında daha ekonomik olmaktadır.

* Sitsek Teknolojik Yapı ve Tic. A.Ş./ 2004 satış fiyatları (Ahmet Eti)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar, maddeler halinde verilirse;

1. Öncelikle, yapılan tüm araştırma çalışmalarında, özellikle taban külünün geçirimsizliği ve tabaka malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından, bilimsel bir veriye ulaşılamamıştır. Buradan yola çıkarak, yapılan bu tez çalışmasında, Afşin Elbistan Termik Santral Taban Külünün, uygun bağlayıcı malzeme ve granülometri dağılımı ile geçirimsizlik özelliğinin artırılması sağlanmıştır. Öncelikle taban külü + bentonit, daha sonra zeolit + bentonit belirli oranlarda karıştırılmıştır. Bu karışımlarda taban külü ve zeolit, doğal şekilleriyle (herhangi bir işleminden geçirilmeden, dane çapları 1 ila 5 mm arasında tutularak) permeabilite deneyleri yapılmış ve geçirimsizlik değeri en fazla 1×10^{-6} elde edilebilmiştir. Daha sonra dane dağılımlarını 0.1 ile 2mm arasına düşürülüp, bir nevi inceltme yoluna gidilip, 0.1-2mm. arasında granülometriye sahip taban külü ve zeolitin, ancak % 30 oranında bentonit katıldığı takdirde, elde edilecek homojen karışım ile, 8.1×10^{-8} gibi bir geçirimsizlik değerine ulaşabildiği, buda özellikle taban külü için bu şartlar sağlandığında, depolama alanlarında geçirimsiz malzeme olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir.
2. Düşen seviyeli permeabilite deney düzeneğinden geçirilen, musluk suyu ile sızıntı suyu geçirgenlik değerleri kıyaslanarak oluşturulan ve ortalama bir metre derinliğe sahip olabilecek taban malzemelerinin, sızıntı suyu ortalama geçirme süreleri; Taban külü + %30 bentonit karışımında, musluk suyunda 40 yıl, çöp suyunda ise 317 yıl olmakta, Zeolit + % 30 bentonit karışımında ise bu değerler sırasıyla, 28 yıl ve 31700 yıl olmaktadır.
3. Yine aynı deneylerde taban külünün, zeolit ile mukayesesi yapılmış, bilhassa ağır metal gideriminde, taban külünün performansının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yine bu çalışmalarda taban külü ile zeolitin aynı şartlarda, paralel çalışmalara tabii tutularak ikisinin arasındaki benzerlikler, farklılıklar ve hatta birbirleri yerine ikame edilip edilemeyeceği araştırılmıştır.
4. Bağlayıcı olarak kullanılan bentonitin, yüksek oranda geçirimsizliği ve katyon değiştirme kapasitesinin olması, taban külü ve zeolit ile % 30 oranında karıştırıldığında, elde edilen tabakaya oldukça iyi bir performans katmıştır.

5. Ayrıca, bentonitin sahip olduğu yüksek basınç, gerilme ve çekme mukavemeti sayesinde, taban malzemesinin üzerine gelecek yük altında çatlama, bozunma ve korozyona uğrama gibi ihtimallerini ortadan kaldırmaktadır.
6. Taban külü ile zeolit arasında permeabilite açısından kıyaslama yapıldığında, zeolit düşük oranlı (% 10) bentonit katkısında oldukça yüksek permeabilite değerine sahip olurken, taban külünde aynı oranlarda daha az geçirimli olduğu görülmektedir. Bentonitin katkı oranı yükseldikçe, bu defa zeolitin permeabilitesi düşmekte, taban külünde ise sabit kaldığı görülmektedir. Bentonitin % 30 katkı oranında ise, her iki malzemenin de permeabilite değeri birbirine yakın ve standartlar oranında çıkmaktadır.
7. Bir önemli hususta, yapılan deneysel çalışmalarda, hem taban külü+bentonitin, hemde zeolit+bentonitin, özellikle laboratuvar şartlarında hazırlanan sentetik sıvılarda ve adsorbsiyon izoterm deneylerindeki ağır metal yüklemelerinde, çok yüksek adsorblama kapasiteleri olduğu gözlenmiş ve bunun sonucunda, bu tabaka malzemelerinin sadece (evsel) çöp sızıntı suyu temizlenmesinde değil, ayrıca endüstriyel ve tehlikeli (zehirli) atık depolama alanlarında da kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.
8. Malzemelerin katyon değişim kapasitesi (sentetik sıvı içerisinde) değerleri, bilhassa hazırlanan sentetik sıvılarla katyon değiştirme kapasiteleri kıyaslandığında, Cu, Ni, Cr, Fe, Zn, Pb, Fe, Cr giderimi açısından, özellikle taban külünün, zeolite nazaran daha yüksek olduğu gözlenmiştir.
9. Odayeri düzenli katı atık depolama alanından getirilen çöp sızıntı suyunun, oluşturulan depolama taban malzemelerinden süzdürüldükten sonra, çıkış suyu konsantrasyon parametreleri, çöp sızıntı suyunun temizlenmesinde oldukça yüksek bir performans vermektedir. Yine AKM'de % 96 oranında bir tutulma olmuştur. Diğer tüm parametreler ise, özellikle çöp sızıntı suyundaki ağır metallerin giderimi açısından, 0.01mg/l ve daha aşağı değerler elde edilip, hemen hemen % 100'e yakın bir giderim sağlanmıştır.
10. NH_3N ' in, sızıntı suyundaki giriş değerinin çok yüksek olmasına karşın, her iki karışımdan elde edilen çıkış değerleri oldukça düşük seviyelerde kalmıştır.
11. Bilhassa KOİ değerinde zeolit+(% 30) bentonit karışımında, taban külü+(% 30) bentonit karışımına nazaran daha yüksek performans göstermiş ve taban külü KOİ çıkış konsantrasyonu 2400 mg/l gibi yüksek bir değerde kalırken, zeolit karışımında

- 140 mg/l'ye düşmüştür. taban külü karışımında % 93 oranında giderilme sağlanırken. zeolitte ise bu oran çok daha fazla olup ,% 99.95 gibi yüksek giderilme sağlanmıştır
12. Tüm bu veriler, daha önce yapılmış çalışmalarla kıyaslandığında, öncelikle permeabilite yönünden, bilhassa taban külünün geçirimsizliğinin, ilk defa bu çalışmada istenen standartlara ulaştırıldığı, daha sonra adsorblama kabiliyetlerinin onlardan çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
13. Sızıntı suyu çıkış değerlerinden elde edilen veriler, Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri, sızıntı çıkış suyu sınır değerleri (Çevre ve orman bakanlığı atık su deşarj standart yönetmeliği Tablo-20) verileri ile kıyaslandığında, özellikle ağır metal değerlerinin çok altında kaldığı gözlenmiş ve standart yönetmeliğe uygunluğu belirlenmiştir.
14. Bir diğer kıyaslanan standart ise, İSKİ, atık suyu (havza içi ve havza dışı) deşarj standart limit değerleri olup, buradan elde edilen sonuçlarda da gerek havza içi, gerekse havza dışı deşarj standartlarının (limit değerlerinin) çok altında kaldığı belirlenmiştir.
15. Bu tez çalışmasında elde edilen bir önemli hususta, tabakaların maliyeti konusunda ekonomik oluşlarıdır. Taban külünün, bentonit ve zeolite göre ticari amaçlı satış malzemesi olmayıp, atıl olarak büyük oranlarda üretilen maliyetsiz bir malzeme olması, yapılması tasarlanan depolama geçirimsiz tabaka malzemesi olarak, bu yönü ile büyük avantajlar sağlamaktadır. Buda depolama alanı kuruluş ve işletme giderlerini büyük oranda düşürecek,
16. Aynı zamanda sızıntı suyu arıtımını geosentetik malzemelere kıyasla bir arıtım ünitesine gerek bırakmadan, doğal olarak yaptığından ve yukarıda belirtilen standartlara uygunluğu sonucunda, sızıntı çıkış suyu arıtım ünitesi kurma ve işletme maliyeti gibi, ayrıca bir harcama getirmeyecektir.

Öneri olarak ise;

1. Taban külü+zeolit+bentonit (üçünün aynı anda) karışımı, taban külü ve zeolitın gronülasyon (dane dağılımı) ve fiziksel özellikleri bakımından birbirine benzediklerinden dolayı, geçirimsizliği sağlama açısından bir arada kullanılamayacağı görülmüştür. Bunun yerine, eğer her iki malzemede kullanılmak isteniyorsa, taban külü+bentonit ve zeolit+bentonit ayrı ayrı iki katman halinde oluşturabileceği önerilmiştir.

2. Malzemelerin, ağır metal adsorblama sınırının tayini için, adsorbsiyon izoterm deneyleri yapılmış, bunun için taban külü + bentonit adsorblayıcı (adsorbent) olarak, adsorblanan madde içinse, ağır metallerden toksik etkisi bulunan Pb (kurşun) seçilmiştir. Yapılan bu adsorbsiyon deneyinde, idealize edilen izoterm eğrisi elde edilemediği için, deney bu defa Pb yerine, Amonyak azotu(NH_3N) kullanılmıştır. Daha sonra NH_3N çıkış konsantrasyonu, tüm aralıklarda hemen hemen aynı sonucu vermiş ve yaklaşık % 96'lık sabit bir giderim sağlanmıştır. Yani en düşük malzeme ağırlığı (0.1 gr.) ile en yüksek malzeme ağırlığı (20 gr.) arasında NH_3N adsorblama kapasitesi yönünden hiçbir fark oluşmamıştır. Her iki izoterm deneyinde de standart bir izoterm eğrisi elde edilememiştir. Bunun sebebi ise, bilhassa taban külünün kendi (malzeme) pH değerinin 11.8 gibi yüksek bir oranda oluşu, ortamdaki ısıyı arttırması dolayısı ile, Pb açısında yüksek pH derecelerinde ağır metallerin çökmesi nedeni ile, bu parametrenin malzeme boşluklarında biriktiği sonucuna varılmıştır. NH_3N açısından yüksek pH oranı ise, amonyumu amonyak gazına çevirebilecek bir sıcaklık oluşumuna neden olmakta, buda uçucu hale geçen kısım ile birlikte ortamdan ayrılmaktadır. Böylece malzeme bünyesine tamamı geçememektedir. Buda gösteriyor ki taban külünde NH_3N ile, yüksek pH değeri yüzünden adsorbsiyon izotermi oluşmamaktadır. Bu nedenle özellikle taban külünün sahip olduğu yüksek pH oranı, yapılabilecek diğer çalışmalarda dikkate alınması önerilmiştir.
3. Ayrıca bu tez çalışmasında, yalnızca Afşin-Elbistan Termik Santral taban külü denenmiş olup, bundan sonraki araştırmalarda diğer termik santral taban küllerinin de, deneylerde araştırma konusu olabileceği önerilebilir.
4. Bir diğer husus ise, özellikle taban külüne ait KOİ değerlerinin standartların çok üzerinde çıkmasıdır. Dolayısı ile kıta içi deşarj standartlarına uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Albayrak, F., (1990), Killerde Ağır Metal Adsorbsiyonlarının İncelenmesi ve Çözültiden Adsorbsiyon Yöntemi ile Yüzey Alanının Belirlenmesi, Doktora tezi Anadolu Üniv.Fen.Bil. Enstitüsü, (yayımlanmamış)
- Alker, S. C., Sarsby, K. W., Howell, R., (1993), The Composition of Leachate from Waste Disposal Sites. Waste Disposal by Landfill. Proceedings of The Symposium Green'93 / Bolton / U.K. 28 June-July Pp.215-223.
- Akesson, M., Nilson, P. (1997), "Seasonal Changes of Leachate Production and Quality from Test Cell." J. Environ. Eng. ASCE 123-892-900.
- APHA-AWWA-WPCF, Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., (1990), Standard Methods for the examination of water and waste-water, 17 th , USA
- Asmuth, T., (1992) "Distribution and Attenuation of Hazardous Substances in Uncontrolled Solid Waste Landfills". Waste Management. Res. 10, 235-255.
- Atanur, A., (1973) Kireçtaşı Stabilizasyonu ve Yol Yapımındaki Tatbikatı, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları No: 208, Ankara.
- Aydemir, İ., Yörükoğulları, E. (1999) Katı Atıkların Depolanmasında Doğal Zeolitlerin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 40-50.(yayımlanmamış)
- Bagchi, A., (1987), "Natural Attenuation Mechanism of Handfill Leachate and Affects of Various Factors on the Mechanisms" Waste dianagement and research. Vol 5 pp. 453-464.
- Bagchi A., (1990); Design, Construction Monitoring of Sanitary Lanfill. Wiley, Newyork.
- Baradan, B. (1984), Uçucu Küllü Yapı Blok Elemanı Üretimi Ön Çalışmaları ve Fizibilite Etüdü Ara Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü, İzmir.
- Bayat, O. (1996), "Türkiye'deki Termik Santral Çıkışı Uçucu Küllerin Beton ve Seramik İçinde Katkı Maddesi Olarak Kullanım İmkanlarının Araştırılması", Çukurova Üniv. Müh. ve Mim. Fak. Sy. 23. Adana.
- Belevi, H., Baccini, P., (1992), Long-term Leachete Emissions from Municipal Solid Waste; Leachate, Elsevier, London, 431-440.
- Black D. K., Lee K. L. (1973) Saturating Laboratory Samples by Back Pressure. ASCE, Soil Mech Found End. Div. 99: 75-93.
- Blottnitz, H.von., Pehlken, A., Pretz, Th., (2002), The Description of Solid Wastes by Particle Mass Instead of Particle size Distributions. Resources, Consevation and recycling. 34: 193-207.
- Braja, D., (1990), Principle of Geotechnical Engineering, Second Edition, USA
- Buluş., G., (1998), "Değişik Bağlayıcı Maddeler ile İyileştirilmiş Kömür Külünün Mühendislik Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği",Yüksek Lisans Tezi,Ankara Üniversitesi, Fen Bil. Enstitüsü, Ankara
- Calace, N., Massimiani, A, Petronio, B.M., Pietrotti. M., (2001), "Municipal Landfill Leachate-Soil Interactions: a Kinetic Approach", Chemosphere, 44: 1025-1031.

- Canziani, R., Cossu, R., (1989), Landfill Hydrology and Lachate Production. In: Christensen, T.H. Cossu, R. Sanitary Landfilling Process, Technology and Environmental Impact, Academic press, London, 185-212.
- Çeçen, F., Gürsoy, G., (2000), "Characterization of Handfill Leachates and Studies on Heavy Metal Removal.", *Jeo.Environmental Monitoring*, 2: 436-442.
- "Çevre Yönetimi ve Kontrolü", (1999); Kent yönetimi, insan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul
- Chang, W.S., Hong Seok W., Park, J., (2002), "Effect of Zeolite Media for the Treatment of Textile Wastewater in a Biological Aerated Filter", *Process Biochemistry*, 37: 653-696.
- Chapman, D. L., (1913), "A Contribution to the Theory of Electrocapillarity", *Philosophical Magazine* 25(6) 475-481.
- Chapuis R. P., (1981), "Permeability Testing of Soil-Bentonite Mixtures" *Proceedings 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Stockholm, vol 4, 744-745.
- Chapuis R. P., (1990), "Sand-bentonite liners: Predicting Permeability from Laboratory Tests", *Can Geotechnic j* 27: 47-57.
- Christensen, T. H., Kjeldsen, P., Albrechtsen, H. J., (1994), "Attenuation of Landfill Leachate Pollutants in Aquifers" *Crit. Rev. In Environmental Science Technic*, 24: 119-202.
- Christensen, T. H., Kjeldsen P., Bjerg, P. L., (2001), "Biogeochemistry of Landfill Leachate Plumes" *Applied Geochemistry rev.* 16: 659-718.
- Çinicioğlu, S.F, Öztoprak, S., Şen A.D., (1997), "The Influence of Waste Leachate and Acidic Solutions on the Geotechnical Properties of Clay" *National Clay Symposium of Turkey* 24-27 September 1997, Kütahya., Turkey, 428-438.
- Conner, J.R., (1990), *Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Cristensen J. B., Tippmy. E., Kinniburgh, D. G., Christensen T. H., (1998 b), "Proton Binding by Groundwater Fulvic Acid of Different Age, Origin and Structure Modelled with Model V and the NICA" *Environmental Science Technic*, 32: 3346-3355.
- Cumpston, B., Shadman, F., Risbud, S., (1992), "Utilization of Coal Ash Minerals for Technological Ceramics" *Journal of Materials Science*, 27: 1781-1784
- Daniel D. E., Anderson D. C., Boston ss (1985), Fixed-Wall Versus Flexible-Wall Permeameters: In: *Hydraulic Barriers in Soil and Rock*. Am soc Test Mat. Spec Tech publ 874: pp.107-126.
- Daniel, D. E., Shan, H. Anderson, J., (1993), Effect of Partial Wetting on Strength and Hydrocarbon Permeability of a Geosynthetic's93. Vancouver, British Columbia, Canada., pp.1483-1496.
- Daniel D. E., Olson R. E.; (1995), Measurement of the Hydraulic Conductivity of Fine Grained Soils. In *Permeability and Ground Water Contaminant Transport*. Am Soc Test, Spec Tech. Publ 746, 18-67.
- DIN 22019 part 1, (1985), Investigations of Raw Material in Hard-Coal Mining; Determination of the Particle Size Distribution > 20 µm by Sieve Analysis. eq. ISO 1953

(1972); and ISO 2591 (1973)

Diamandopolos, E., (1994), "Characterization and Treatment of Recirculation-Stabilized Lachate" Water Res. 28: (12), 2439-2445

Dobras, T. N., Elzea, J. M., (1993), "In-Situ Soda Ash Treatment for Contaminated Geosynthetic Clay Liners", Proceedings of Geosynthetic'93. Industrial Fabrics Association, St.Paul, M.N., USA, Vol.3, 1145-1160.

Edil T. B., Ericson A. E., (1985), Procedure and Equipment Factors Affecting Permeability Testing of a Pentonite-Sand Liner Material in Hydraulic Barriers in soil and rock. Am Soc Test Mater, Spec. tech. Publ. 874:155-170.

Edward, J., Fouad, F.; (2002), Bottom Ash as an Aggregate in Structural Concrete.

Ehrig H. J., (1983). Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate, Waste Management. Res. 1,53-68.

Ehrig, H. J., (1988), Water and Element Balances of Landfills, in: Baccini, p. (ed), The landfill vol. 20. Springer, Berlin, 83-116.

El-Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine. W., Alayli, B., (2002), "Temporal Variation of Leachate Quality from Pre-Sorted and Baled Municipal Solid Wastes with High Organic and Moisture content" Waste Management 22: 269-282.

Faber, J. H., (1979), Overview of Ash Production and Utilization. Fifth International Ash Utilization Symposium, METCS/SP 79/10: 24-28, Atlanta.

Frederick, F., (2002), "U.S. Coal Supply and Demand, Review" U.S. Energy Information Administration. 6 May 2002: (Available FTP)

Frimoncel, F., H., Weis, M., (1991), "Ageing Effects of High Molecular Weight Organic Acids Which can be Isolated from Landfill Leachates. Water Sci. Tech. 23: 419-426.

Günay, A., (2002), "Çöp Depo Sahası Sızıntı Sularının Anaerobik Arıtımı ve $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ Çökeltmesi ile Amonyum Giderimi" Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bil. Enstitüsü, Doktora tezi

Giroud, J. P.; Bonaparte, R.; (1989), "Leakage Through Liners Constructed with Geomembranes" Geotextiles and Geomembranes, 8: 28-111

Gounaris, V., Anderson, P. R., Holson, T. M., (1993), "Characteristics and Environmental Significance of Colloids in Landfill Leachate", Environmental Science Technology, 27: 1381-1387.

Gouy, G., (1910), Sur la Constitution la Charge Electrique a la Surface d'un Electrolyte. Annive Physique (Paris), seri 4: 457-468.

Gönüllü, M. T., Baştürk, A., (1988), "Katı Atık Depo Yerlerinde Oluşan Sızıntı Suyu İnorganik Kirlenici Özelliklerinin Zamanla Değişiminin Modellenmesi" Türk-Alman Çevre Mühendisliği Sempozyumu-88, 221-236.

Harmsen, J., (1983), "Identification of Organic Compounds in Leachate From a Waste Tip" Water Res. 17, 699-705.

Hsin, Yu Shan, Yen-Jing Lai, (2001), "Effect of Hydrating Liquid on the Hydraulic Properties of Geosynthetic of Clay Liners. Geotextiles and Geomembranes, 20: 19-38.

- Hosogqvist, H., Bendz, D., Öman C., Meijer J. E. Water Flow in a Plot Scla Landfill.
- Huang, W. H. and Lovell. W. C., (1990), "Bottom ash as Embankment material", American Society for Testing and Materials, 71-75, Philalelphia.
- ISSMF Technical Commitie TC5 on Environmental Geotechnics, Boshum, September 1997.
- Jo, H. Y., Katsumu, I.Benson, C.H., Edil, I. B., (2001), "Hydraulic Conductivity and Swelling of Non Pre Hydrated GCL_s Permeated with Single-Species Salt Solutions", Journal of Geotechnical and Geonenvronmental Engineering, ASCE 127 (7): 557-567.
- Joshi, R. C., (1979), "Sources o f Puzzdonic A ctivityity i n Fly ash", Fifth International Ash Utilization Symposium, METC/SP 79/10, 610-623, Atlanta.
- Karanfil, T., Kilduff, J. E., Chin, Y., Weber, J. R., (1996), "Adsorption of Natural Organic Poly Electrolytes by Activated Carbon", Environmental Science Technology, 30: 1336-1343.
- Kargı F., Pamukoğlu M. Y., (2004), "Adsorbent Supplemented Biological Treatment of Pre-Treated Landfill Leachate by Fed Batch Operation" Bioresource Technology, 46: 111-119
- Katsumi T.;Benson C. H.;Foosse ,G. J.;Kamon, M., (2001), "Performance-Based Design of Landfill Liners", Engineering Geology, 60: 139-148
- Kaya A., Durukan S.,(2004), "Utilization of Bentonite-Embedded Zeolite as Clay Liner" Applied Clay Science 25, 83– 91
- Kayabalı, K., (1996b), "Engineering Aspects of a Novel Landfill Liner Material: Bentonite Amended Natural Zeolite". Engineering Geology, 46 (2), 105-114.
- Kayabalı, K., Mollamahmutoğlu, M., (2000), "The Influence of Hazardous Liquid Waste on The Permeability of Earthen Liners", Environmental Geology, 39 (3-4), January, 201-210.
- Kennet T. C., Vanveen W. A., Swallow M. A. (1992), "Hydraulic Conductivity of Compacted Bentonite - Sand Mixtures", Can Geotech. j 29: 638-649.
- Kilduff, J. E., Wigton, A., (1999), "Sorption of TCE by Humic-Preloaded Activated Carbon", Environmental Science Technology, 33: 250-256.
- Kjelsen, P., Christophersen, M., (2000), Composition of Leachate from Old Landfills in Denmark, Submitted.
- Kjelsen, P., Grundtvig, A., Winther, P., Anderson, J.S., (1998a), "Characterization of an Old Municipal Landfill (Grindsted, Denmark) as a Groundwater Pollution Source", Waste Manda. Res. 16: 3-13.
- Kmeth, P., (1982), EPA's Water Balance Method: Its Use and Limitations. A Wisconsin Dept. of Natural Sources Guidance Report, Madison, October 1982, 28-52.
- Kula, I., Olgun A., Erdoğan Y., Sevinç V., (2001), "Effects of Colemanite Waste, Cool Bottom Ash, and Fly Ash on the Properties of Cement", Cement and Concrete Research, 31: 491-494.
- Leonards, A. and Bailey B., (1982), "Pulverized Coal Ash Structural Fill", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, (108) GT4, 517-531
- Lin, C. Y., Yang, D. H., (2001), "Removal of Hydrogen Gas and Landfill Leachate Treatment Using Coal Bottom Ash" Journal of The Air & Waste Management Association. 51(6): 939-

945.

Lin, C. Y., Yang, D. H., (2002), "Removal of Pollutants from Waste Water by Coal Bottom Ash", *Journal of Environmental Science and Health Part a Toxic / Hazardous Substances*. 37 (8): 1509-1522.

Manz O. E., (1970), *Ash From Lignite, Symposium on Fly Ash Utilization*, 282-299, Pittsburgh.

Menon, M. P., Ghuman, G. S., James, J. and Chandra, K., (1990), "Physicochemical Characterization of Water Extracts of Different Coal Fly Ashes and Fly Ash-Amended Composts", *Water, Air and Soil Pollution*, 50: 343-353.

Metaxas, M., Rigopoulou, V. K., Galiatsatou, P., Konstantopoulou, C., (2003), "Thorium Removal by Different Adsorbent" *Journal of Hazardous Material. B*, 97: 71-82

Mc Bean, E. A., Rovers, F. A., Farquhar G. J., (1995), *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Chapter 6, 7, 2, 5, 7-260.

Mier, M. V.; Callejas, R. L., Gehr, R., Cisneros, B. J., Alvarez, P. J., (2000), "Heavy Metal Removal with Mexican Clinoptilolite-Multi Component Ionic Exchange" *PII:S0043-1354(00)(00270-0)* 373-378

Millot (1970) ve Grim (1968)'den Bülent Kiper çevirisi ile; *Killerin Jeolojik Özellikleri*, Ankara,

Minnick, L.J., (1979), *The Role of Fly Ash in Structural Types of Stabilized Applications*. Fifth International Ash Utilization, 148-169, Pittsburgh.

Mollamahmutoğlu, M., Yilmaz, Y., (2001), "Potential Use of Fly Ash and Bentonite Mixtures as Liner or Cover at Waste Disposal Areas", *Environmental Geology*. Sip. Var. June, 110-127.

Nakoman, E., (1988), *Kemerköy Termik Santrali Uçucu Külünün Değerlendirilme İmkanlarının Araştırılmasına İlişkin Ön Rapor*. Dokuz Eylül Ün. İnş. Müh. Böl. İzmir.

Niinen, M., Kallioikoski, P., Pärjälä, E. (1993) *Quality of landfill Leachates and Their Effect on Groundwater*. Waste Disposal by Landfill-Green'93. U.K. p.p. 655-659.

Otal, E., Arenas, L. F., Moreno, N., Querol, X., Parapar, J.V., (2003), "Application Zeolized Coal Fly Ash to the Depuration of Liquid Wastes", *International Ash Symposium*, paper # 59, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky

Palmer, B. G.; Edil, T. B., Benson, C. H., (2000), "Liners for Waste Containment Constructed with Class F and C Fly Ashes", *Journal of Hazardous Math*, 76: 193-216

Phillips, E. M., Pugh, D. S., (1994), *How to get a PhD; A Hand Book for Students and Their Supervisors*. Thith Edition, England

Querol, X., Moreno, N., Umana J. C., Alastucy A., (2002), "Synthesis of Zeolites from Coal Fly Ash. An Overview", *Coal Geology*, 50: 413-423.

Öztürk, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O., (1999), "Katı Atık Sızıntı Suyu Kirliliğinin Boyutları ve Arıtma Teknikleri.", *Kent yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Çevre Yönetimi ve Kontrolü (Cilt 3)*, İstanbul

Robinson, H. D., Luo, M. M. H., (1991), "Characterization and Treatment of Leachates from

Hong Kong Landfill Sides. J. İnstitawater", Environmental Management, 5: 326-334.

Robinson, H. D., Barr, M. J., Last. S. D., (1992), "Leachate Collection, Treatment and Disposal", Waste Management, 321-331.

Ruhl, J. L., Daniel, D. E., (1997), "Geosynthetic Clay Liners Permeated with Chemical Solutions And Leachates", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 123 (4): 369-381.

Saka, N., Tuncan, M., (2001), "Endüstriyel Atıkların Çöp Depolama Alanı Dizaynında Geçirimsizlik Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi" Y.Lisans Tezi. 1-20, 52-92.

Seals, K., Asce, A. M., Moulton, K., Ruth, E., (1972), "Bottom Ash an Engineering Material", Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 106: 321-325.

Seals, R. K., (1977), "Properties of Bottom Ash, Boiler Slag and Fly Ash", WVU College of Engineering and NAA, Technology and Utilization Og Power Plant Ash, 59 P., Morgantown.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, (2001),,, "Endüstriyel Hammaddeler Alt K omisyonu, Genel Endüstri Mineralleri, II. Çalışma Grubu Raporu –Mika, Zeolit, Lüle Taşı-, Ankara, 2001

Shan, H. Y., Daniel, D. E., (1991), "Results of Laboratory Tests on a Geotextile / Bentonite Liner Material", Proceedings of Geosynthetics'91., Industrial Fabrics Assoc. St. Poul, MN, 517-535.

Shubert, W. R., (1987), "Bentonite Matting in Composite Lining System", In: Woods, R. D. (Ed.), Geotechnical Practice for Waste Disporal'87. ASCE, Newyork, N. Y.,784-796.

Standart Methods for The Examination of Water and Waste Water, (1995), APHA, AWWA, WEF, 19th Ed.,

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği.,Resmi gazete: 4.Eylül 1988 Tarih ve 19919 Sayı

Tatsi, A. A., Zouboulis, A. I., (2002), "A Field İ Investigation of The Quantity and Quality of Leachate From a Municipal Solid Waste Landfill in a Mediterranean Climate (Thessaloniki, Greece)", Advances in Environmental Research, 6: 207-219.

Thomas A., Eglopfstein, (2001), Naturel Bentonites - İ nfluence of The İ on-Exchange and Partial Desiccation on Permeability and Self Healing Capacity of Bentonites Used in G.CL. Environmental Protection Agency, E.P.A.

Toth, P. S., Chan, H. T., and Cragg. C.aB., (1988), "Coal Ash as Structual Fill, With Special Reference to Ontario Experience", Canadian Geotechnical Journal, 25: 694-704

Tuncan, A., Tuncan, M., ve Koyuncu H., (1996), "Reuse of Stabilized Petroleum Drilling Eastes as Sub-Bases", 2nd International Congress On Environmental Geotechnics, IS-Osaba 96, Editör, Vol.2. Pp. 933-938, 5-8 Kasım, Osaka, Japan

Türk Standartları, (1989), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri. TS 1900/Nisan 1987

Twardowska, I., (1990), "Buffering Capacity of Coal Mine Spoils and Ash as a Factor in The Protection of Aquatic Environment", The Science of The Total Environment, 91: 177-189.

Usmen, M., (1978), "Poroperties and Engineering Behavior o f Coal Wastes Used in Road Consruction", Civil Engineering By Products And Waste, 487-492..

Usmen, M., (1978), "Poroperties and Engineering Behavior of Coal Wastes Used in Road Construktion", Civil Engineering By Products And Waste, 487-492..

Wang, Y., Ren D., Zhao F., (1999), " Comparative Leaching Experiments for Trace Elements in Raw Coal, Laboratory Ash, Fly Ash and Bottom Ash", International Jounral of Coal Geology, 40: 103-108

Wigh, R. J., (1984), "Comparison of Characteristics, from Municipal Solid Waste Teat Cells", Us. Environmental Protection Agency, E.P.A. 600/2-84-124, July.

White, S.C. And Case, E.D., (1990), "Characterization of Fly Ash From Coal-Fired Power Plants", Journal of Materials Science, 25: 5215-5219.

Yalçın, E., Mordoğan, H., (1996), "Coal Fierd Power Plants in Turkey and Their Effects on The Environment", The First İnternational Symposiyum on Mine Environmental Engineering, 205-214, Kütahya.

Yiğit, E., (1994), "Türkiye'de Linyit Madenciliği Ve Ekonomik Boyutları (1973-1977)", - 2000'li Yıllara Doğru Linyit Sektörümüz- Sempozyumu, 9-25, Ankara.

Yong, R. N., Mohamed, A. M. O., Warkentin, B. P., (1992), Principles Of Contaminant Transportin Soil. Elsevier, The Netherlands

Yörükoğulları, E., (1997), Doğal Zeolitlerde Fiziksel Adsorbsiyon Uygulamaları, Anadolu Üniv. Fen Fak. Fizik Bölümü, İkinci baskı, Eskişehir.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.cevreorman.gov.tr

[2] www.EPA.gov

[3] www.maden.org.tr

[4] www.sciencedirect.com

[5] www.sistek2000.com/

[6] www.yok.gov.tr

[7] www.ulakbim.gov.tr.

[8] www.Web of science.com

[9] www.Wisconsin publicservice.com/news/coal ash.

EKLER

Ek 1 Odayeri Düzenli Depolama Alanının, 2003 yılına ait, tesisi ve inşaa keşif bedelleri
(İstaç A.Ş.)

Yapılan İşler Listesi (İmalat)

07-ODAYERİ EK SAHA TANZİMİ İNŞAATI

Sıra No	Poz No	Yapılan İşin Cinsi	Uyg. Yılı F.F. Esas Tik. B	C=A	Birim	Sözleşme B.F. D	Uygulama B.F. E	Birim Mik. İçin Fiyat Farkı F=E-D	Söz. Fiyatıyla Yap. İş. Tutarı G=AxD	Uyg. Yılı F.F. Tutarı H=CxF
108.005/K-1		GRANÜLOMETRİK ÇAKIL TEMİNİ(YIKAMA HARÇ)	0,000	M3		11.541.044			0	0
215.001/1A		MAKİNA İLE YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZISI	0,000	M3		1.176.267			0	0
315.001/3C		MAKİNA İLE HER DERİNLİKTE DAR DERİN YUMUŞAK VE SERT TOPRAK KAZIMAK	0,000	M3		2.310.897			0	0
415.140		MEVCUT DOLGUNUN MAKİNA İLE SERİLMESİ	0,000	M3		310.877			0	0
516.003		250 DOZLU DEMİRSİZ BETON	0,000	M3		56.877.947			0	0
616.059		BS.25 BETON 300 HAZIR BETON	0,000	M3		68.233.046			0	0
721.057		AHŞAP KALIP İSKELESİ (YÜKSEKLİĞİ 4.01- 6 M KADAR)	0,000	M3		3.448.218			0	0
821.059		AHŞAP KALIP İSKELESİ (YÜKSEKLİĞİ 6.01- 8 M KADAR)	0,000	M3		4.234.038			0	0
92205		HER ÇİNS TOPRAĞIN SULANMASI VE SIKŞTIRILMASI	0,000	M3		560.806			0	0
1023.014		0 8-12 MM İNCE NERVÜRLÜ YÇELİĞİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	0,000	TON		849.475.000			0	0
1123.015		0 14-28 MM KALIN NERVÜRLÜ ÇELİĞİN BÜKÜLÜP DÖŞENMESİ	0,000	TON		804.206.250			0	0
122649/1		TEŞKİL(MAKİNA İLE HAZIRLANMIŞ KİL İLE)	0,000	M3		4.515.225			0	0
135005/3		İNCE KIRMATAŞ HAZIRLANMASI VE MAKİNE İLE SERİLMESİ	0,000	M3		11.159.942			0	0
141YFZ 10		0 355 MM HDPE (PN 10) YARIKLı BORU	0,000	MT		255.751.575			0	0
151YFZ 5		HDPE MEMBRAN TEMİNİ VE YERLEŞTİRİLMESİ	0,000	M2		11.125.000			0	0
161YFZ 6		GEOTEKSTİL TEMİNİ VE SERİLMESİ	0,000	M2		9.039.500			0	0
171YFZ 8		0 200 MM HDPE (PN 10) YARIKLı BORU	0,000	MT		80.521.762			0	0
								TOPLAM	0	0

Yapılan İşler Listesi (Nakliyeler)

08-ODAYER/ EK SAHA TANZİMİ/İNŞAATI NAKLİYELER

Sıra No	Poz No	Yapılan İşin Cinsi	Uyg.Yılı F.F.Esas Mik. C=A+B	Birim	Sözleşme B.F. D	Uygulama B.F. E <i>2003</i>	Birim Mik. İçin Fiyat Farkı F=E-D	Söz.Fiyatıyla Yap.İş Tutarı G=AxId	Uyg.Yılı F.F.Tutarı H=CxF
107	006/3	ÇAKIL NAKLİ(ODAYERİ-ADAPAZARI)	0,000	TON		22.404.509		0	0
3	SNBF.14	KIRMA TAŞ (OCAKTANI) NAKLİ	0,000	M3		12.480.625		0	0
4	SNBF.15	KUM ÇAKIL(BEDELLİ HARİÇ) NAKLİ	0,000	M3		11.090.000		0	0
5	SNBF.21/B	NERVÖRLÜ ÇELİK NAKLİ(İZMİR)(RUMELİ Y.)	0,000	TON		68.685.685		0	0
6	SNBF.28	ŞANTİYE İÇİNDE KAMYONLA KAZI MALZ. VE MOLOZ NAKLİ	0,000	TON		231.094		0	0
TOPLAM								0	0

Ek 2 Taban külü öğütücü makine fiyat listesi (Örnek fiyat teklif belgesi)

Ürün tanıtımı *	Model	Fiyat (TL)
Darbeli Değirmen (Pulverizatör, motorsuz)	IP-15	9.200.000.000,-
Darbeli Değirmen (Pulverizatör, motorsuz)	IP-20	13.000.000.000,-
Darbeli Değirmen (Pulverizatör, motorsuz)	IP-25	19.000.000.000,-
Darbeli Değirmen (Pulverizatör, motorsuz)	IP-32	31.000.000.000,-
Darbeli Değirmen (Pulverizatör, motorsuz)	IP-42	63.000.000.000,-

Öğütücü makine kullanım ve özellikleri

Teknik Veriler (veriler 75 - 100 µm öğütme inceliği için geçerlidir):

Model	Ebat (mm)	Öğütülecek Malzeme	İşleme Kapasitesi (kg/saat)	Gerekli Motor Gücü (kW)	Kasnak Ölçüleri	Devir Hızı (dev/dak)	Kullanım Alan (m)
IP-15	380	Boksit, bentonit, barit Kömür, kalsit, redoksitler Porselen hammaddesi, kil, tuğla Kireğ taşı, feldspat, dolomit Sabun taşı, alçı, steatit Toprak boyalar, grafit, asbestos	50 60 70 70 75 70	5,5 - 7,4	Ø 102 mm 3 oluklu	3000	2,4 x 2,1 x 3,7
IP-20	508	Boksit, bentonit, barit Kömür, kalsit, redoksitler Porselen hammaddesi, kil, tuğla Kireğ taşı, feldspat, dolomit Sabun taşı, alçı, steatit Toprak boyalar, grafit, asbestos	100 100 150 150 150 150	11 - 15	Ø 127 mm 5 oluklu	2200	3,0 x 2,7 x 4,3
IP-25	635	Boksit, bentonit, barit Kömür, kalsit, redoksitler Porselen hammaddesi, kil, tuğla Kireğ taşı, feldspat, dolomit Sabun taşı, alçı, steatit Toprak boyalar, grafit, asbestos	125 175 230 225 250 225	18 - 22	Ø 203 mm 5 oluklu	2000	3,7 x 2,7 x 4,3
IP-32	813	Boksit, bentonit, barit Kömür, kalsit, redoksitler Porselen hammaddesi, kil, tuğla Kireğ taşı, feldspat, dolomit Sabun taşı, alçı, steatit Toprak boyalar, grafit, asbestos	500 500 500 450 500 500	37 - 44	Ø 229 mm 7 oluklu	1800	5,8 x 3,0 x 5,5
IP-42	1067	Boksit, bentonit, barit Kömür, kalsit, redoksitler Porselen hammaddesi, kil, tuğla Kireğ taşı, feldspat, dolomit Sabun taşı, alçı, steatit Toprak boyalar, grafit, asbestos	1000 1350 1120 1350 1120 1370	74	Ø 229 mm 7 oluklu	1600	6,1 x 6,1 x 7,6

* Töreci Makine Ticaret a.ş. (Teklif usulü fiyatlandırma ile alınmış maliyetler.)

EK 3 Zeolit ve bentonite ait piyasa satış fiyat listeleri***Zeolit fiyat listesi ******Tablo 7: Zeolit Fiyatları (Milyon TL/ton)**

Ürün bazında	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

1) Üretici fiyatları : Malın fabrika çıkış fiyatları (KDV dahil)

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

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

Bentoni fiyat listesi *****Metal maden fiyatları***

Aşağıdaki sütunlarda verilen metal, ferroalyaj, cevher, konsantre ve endüstriyel mineral fiyatları, uluslar arası piyasalarda Şubat-Mart 2004 tarihi itibarıyla oluşan ve yazılı olarak çeşitli yayınlarda yer alan fiyatlardan derlenmiştir. Ağırlık birimlerinin tamamı, aksi belirtilmediği sürece, dış fiyatlar için metrik ton, iç fiyatlar için de kilogram cinsinden verilmiştir. Limanı belirtilmeyen CIF teslimatın boşaltma limanları, Avrupa'daki belli başlı ticaret limanlarıdır. Limanı belirtilmeyen FOB teslimatın yükleme limanları, anılan sahildeki belli başlı ticaret limanlarıdır. Büyük harflerle yazılı ülke, firma ve kurum adları malın orijinini belirtmektedir. \$, Euro ve £ (ingiliz sterlini) bazında verilen iç satış fiyatlarının, karşılığı Merkez Bankası döviz satış kuru üzerindendir (KDV hariç). Endüstriyel minerallerin fiyatları kalite, kaynak, miktar ve diğer satınalma koşullarına göre geniş aralıklar içinde, değişmektedir. Değişim aralığının çok geniş olduğu kalemlerde, fiyatların hangi özelliklere göre değişim gösterdiği açıklamalarda belirtilmeye çalışılmıştır

* Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, madencilik özel ihtisas raporu

ENDÜSTRİYEL MİNERAL FİYATLARI

Bentonit

ABD, ambalajlı, döküm AP1,FOW Wyoming,	\$/st	25-60
FAS ambalajlı inşaat kalitesi	FOB,S	82-90
Kedi toprağı, 1-7 mm,bulk,	UK, £	25-35
<u>Ham dökme, yerinde</u>	<u>\$/t</u>	<u>30</u>

Kısaltma listesi

FOW : Free On Wagon (Vagon Üzerinde Teslim)

FOB : Free On Board (Borda'ya Teslim)

FAS : Free Alongside Ship (Yükleme Limanı'nda Teslim)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.11.1967

Doğum yeri Eskişehir

Lise 1981-1984 Yunus Emre Teknik ve Endüstri Meslek lisesi
(Yapı Ressamlığı Bölümü)

Lisans 1989-1993 Gazi Üniversitesi İnşaat Bölümü

Yüksek Lisans 1994-1996 Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Müh. Böl. Hidrolik Anabilim Dalı

Doktora 1996-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Müh. Anabilim Dalı, Çevre Müh. Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1993-1998 Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Müh. Böl. Hidrolik Anabilim Dalı,
Araştırma görevlisi

2003-Devam ediyor Özel bir vakıfta Ar-Ge Birim Başkanlığı