

75578

uygundur
2. CAKIR
Zurrah
16-11-1998

**ATIK DEPOLANMASININ VE ENDÜSTRİYEL
ATIKLARDAN TERMİK SANTRAL KÜLLERİNİN MADEN
OCAKLARINDA DEPOLANMASININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Elif ALGURKAPLAN

75578

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Haziran 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Haziran 1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şinasi ESKİKAYA 16.11.1998

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Senai SALTOĞLU 16.11.1998

Yrd. Doç. Cengiz KUZU 16.11.1998

Haziran 1998

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURUMU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

ÖNSÖZ

“Atıkların depolanması ve uzaklaştırılması”, maden mühendisliği alanında yabancı bir konu. Ancak, bir o kadar da maden mühendislerini yakından ilgilendirdiğine inanıyorum.

Böyle kapsamlı ve farklı bir konu üzerinde çalışırken, değerli yardımlarını esirgemeyen ve bu çalışmayı yürüten Sayın Hocam Prof. Dr. Şinasi ESKİKAYA’ya;

Hazırlık aşamasından bitimine kadar bu tezin ortaya çıkmasında pay sahibi olan ve bilimsel desteğini esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Cengiz KUZU’ya;

Uygulamalar sırasında gösterdikleri yakın ilgiden dolayı TEAŞ İnşaat Daire Başkanlığı’ndan Baş Mühendis Sayın Ethem SAVAŞ’a, Çevre Dairesi Başkanlığı’ndan Baş Mühendis Sayın Nurettin ARIEL’e, Seyitömer Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü’nden Müdür Yardımcısı Sayın Haşim BAYTEKİN’e ve burada adlarını tek tek sayamayacağım TEAŞ Çayırhan Termik Santrali ve TEAŞ Seyitömer Termik Santrali yetkililerine çok teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman yanımda yer alarak, maddi ve manevi yardımlarıyla bana büyük destek veren aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

Elif ALGURKAPLAN
Haziran 1998

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1 GENEL OLARAK ATIKLAR	1
1.1 Belediye Atıkları	3
1.2 Tehlikeli Atıklar	4
1.3 Endüstriyel Proses Atıkları	7
1.4 Madencilik Atıkları	10
1.5 Tarama Atıkları	12
1.6 Tarım Atıkları	12
BÖLÜM 2 ATIKLARLA İLGİLİ MEVZUAT	14
2.1. Türkiye’de Atıklarla İlgili Mevzuat	14
2.1.1 Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	15
2.1.1.1 Evsel Katı Atık Depo Alanına Depolanacak Atıklar ve İstisnaları	16
2.1.1.2 Katı Atık Depolarının İnşaatı	18
2.1.1.2.1 Katı Atık Depo Tesislerinin Yer Seçimi	18
2.1.1.2.2 Depo Tabanı İnşaatı	18
2.1.1.2.3 Drenaj	19
2.1.1.3 Depo Sahasının Kapatılması	19
2.1.2 Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	20
2.1.2.1 Tehlikeli Atıkların Yönetimine İlişkin İlkeler	21
2.1.2.2 Atıkların Bertarafına İlişkin Hükümler	22
2.1.2.2.1 Bertaraf Yöntemlerine Örnekler	22
2.1.2.2.2 Geri Kazanım İşlemleri	22
2.1.2.3 Bertaraf Edenin Sorumlulukları	23
2.1.2.4 Atıkların Depolanma Şartları	23
2.1.2.4.1 Tek Tür Atık Depo Tesisleri	25
2.1.2.4.2 Ara Depolama Tesisleri	25

2.1.2.5 Depo Tesisi İnşası	26
2.1.2.5.1 Depo Tesislerinde Yer Seçimi	26
2.1.2.5.2 Depo Zemini	27
2.1.2.5.3 Depo Tabanı	27
2.1.2.5.4 Drenaj sistemi	27
2.1.2.5.5 Depo Tesisinde Dolgu	28
2.1.2.5.6 Depo Üst Örtüsü Teşkili	30
2.1.2.6 Depo Tesisinin Kapatılması	30
2.1.2.7 Depo Tesisine Lisans Verilmesi	31
2.2 Amerika’da Atıklarla İlgili Mevzuat	31
2.2.1 Tarihsel Perspektif	32
2.2.2 Kaynak Korunumu ve Geri Kazanımı Kanunu (RCRA)	34
2.2.2.1 Altbaşlık-D Yönetmeliği (Subtitle-D Regulations)	34
2.2.2.1.1 Konum Sınırlamaları	35
2.2.2.1.2 Operasyon Kriterleri	37
2.2.2.1.3 Dizayn Kriterleri	39
2.2.2.1.4 Kapatma Kriterleri	40
2.2.2.1.5 Kapatma Sonrası Koruma Kriterleri	41
2.2.2.2 Altbaşlık-C Yönetmelikleri (Subtitle-C Regulations)	41
2.2.2.2.1 Tehlikeli Atıklar	42
2.2.2.2.2 Tehlikeli Atıkların Depolanması ile İlgili Şartlar	48
2.2.2.2.2.1 Geçici Durum	48
2.2.2.2.2.2 Yeni Tehlikeli Atık Düzenlemeleri İçin Standartlar	51
2.2.3 CERCLA (Superfund)	61
BÖLÜM 3 ATIK DEPOLAMA ŞEKİLLERİ	63
3.1 Arazi Depolama Sistemlerinde Alan Seçimi	63
3.2 Depolama Yöntemleri	66
3.2.1 Yeraltı Depolama Yöntemleri	67
3.2.1.1 Üretim Sonucu Oluşan Hacimlere Depolama	68
3.2.1.2. Galerilerde, Kuyu ve Kör Kuyularda Depolama	73
3.2.2 Yüzey Depolama Şekilleri	75
3.2.2.1 Arazi Dolguları “ <i>Landfill</i> ”	75
3.2.2.2 Barajlı Sistemler “ <i>Surface Impoundments</i> ”	81
3.2.2.2.1 Göletsiz (Dolgulu) Depolama Tesisleri	82
3.2.2.2.2 Göletli Depolama Tesisleri	83
3.3 Barajlar	84
3.3.1 Artık Barajlarının İnşaat Teknikleri	84
3.3.1.1 Başyukarı veya Akıntıya Karşı İlerletimli Yöntem “ <i>Upstream Method</i> ”	87
3.3.1.2 Başaşağı veya Akıntı Yönünde İlerletimli Yöntem “ <i>Downstream method</i> ”	88
3.3.1.3 Merkez Hattı veya Her İki Yönde İlerletimli Yöntem “ <i>Centerline method</i> ”	89
3.3.2 Barajlı Yöntemlerle Külün Depolanması	90
3.3.3 Mühendislik Tasarımı	94
3.3.3.1 Sızma Analizi	95

3.3.3.2 Hidroloji ve Hidrolik	98
3.3.3.3 Stabilite	102
3.3.4 Barajlı Depolama Sistemlerinin Çevreye Etkisi	102
3.3.4.1 Yer Üstü ve Yer Altı Asidik Su Akıntısı	102
3.3.4.2 Erozyon ve Sedimentasyon	103
3.3.4.3 Toz	103
3.3.4.4 Ani Yanma	104
3.3.4.5 Tesisin Terkedilişi	104
3.3.4. Yeryüzüne Depolanan Küllerin Etkileri	105
3.3.5 Maliyet	106
BÖLÜM 4 ASTAR SİSTEMLERİ	110
4.1 Astar Sistemleri ve Bileşenleri	110
4.1.1 Taban Astar Sistemleri	111
4.1.2 Örtü Astar Sistemleri	115
4.2 Toprak Astarlar	117
4.2.1 Doğal Kil Astarlar	117
4.2.2 Sıkıştırılmış Kil Astarlar	118
4.2.2.1 Malzeme Özellikleri	118
4.2.2.2 Su İçeriği	121
4.2.2.3 Sıkıştırma Enerjisi	123
4.2.2.4 Topak Boyutları (clod)	124
4.2.2.5 Astar-Liç Uyumu	125
4.2.2.6 Kurumanın ve Donmanın Etkisi	126
4.2.2.7 İnşaat	127
4.2.2.8 Kil Astar Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Testler	132
4.2.3 Jeosentetik Kil Astarlar (Geosentetic Clay Liners)	133
4.2.3.1 Mühendislik Özellikleri	136
4.3 Jeosentetik Malzemeler	140
4.3.1 Jeomembran	140
4.3.1.1 Jeomembran Seçimi	143
4.3.1.2 Jeomembranların Yerleştirilmesi	147
4.3.1.3 Jeomembran Kalite Sigortası	149
4.3.2 Jeotekstil	149
4.3.3 Jeonet	150
4.3.4 Jeogrid	151
4.4 Liç Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri (LCRS)	152
4.4.1 Sistem Bileşenlerinin Düzeni	153
4.4.2 Sistem Dayanıklılığı	153
4.4.3 Sistem Kuvveti	155
4.4.4 Tıkanmaların önlenmesi	155
4.4.5 Malzeme Seçimi	157
4.4.6 Liç Toplama ve Uzaklaştırma Sisteminin Yerleştirme	158
4.4.7 Kalite Sigortası	159

BÖLÜM 5 TÜRKİYE’DE TERMİK SANTRAL ATIKLARI	161
5.1 Giriş	161
5.2 Termik Santral Atıkları	161
5.2.1 Baca gazları	163
5.2.2 Katı Atıklar	167
5.2.3 Sıvı Atıklar	170
5.3 Kömür Özelliklerinin Önemi	170
5.4 Termik Santraller	172
5.4.1 Çayırhan Termik Santrali	172
5.4.1.1 Kül Akış Şeması	173
5.4.1.1.1 Kül Miktarı	178
5.4.1.1.2 Su Miktarı :	179
5.4.1.1.3 Kül/Su Oranı:	179
5.4.1.2 Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) Tesisi	179
5.4.1.3 Kül Depolama Alanı	182
5.4.1.4 Çayırhan Yeni Proje	185
5.4.1.5.1 Bir Yıllık Depolama Projesi	187
5.4.1.5.2 Yirmibeş Yıllık Proje	190
5.4.1.5.3 Projedeki Hesaplamalar:	191
5.4.2 Seyitömer Termik Santrali	193
5.4.2.1 Kül Depolama	195
5.4.2.2 Sulu Kül Yayma Sisteminde Kaza	201
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	205
KAYNAKLAR	208
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Çeşitli Atıkların Depolanması ve Yeniden Kullanımına Ait Uygulama Türleri	1
Şekil 2.1	Depo Tabanı Sızdırmazlık Sistemi	29
Şekil 2.2	Depo Üst Örtüsü Sızdırmazlık Sistemi	29
Şekil 2.3	Belediye Atık Depoları için Altbaşlık-D Yönetmeliği Taban ve Örtü Astar Sistemleri	40
Şekil 2.4	Tehlikeli Atık Depolaması için Kullanılan Yüzey Barajlarının Karma Astar Sistemi	55
Şekil 3.1	Jeokimyasal Madde Dolaşım Süreleri	64
Şekil 3.2	Hidrolik Dolgu ile Ayak Arkasına Depolama	70
Şekil 3.3	Galerilerde Depolama	74
Şekil 3.4	Arazi dolguları (a) yer seviyesinin üzerinde (b) yer seviyesinin altında ve üzerinde (c) yer seviyesi altında	76
Şekil 3.5	Belediye Atık Depolarında Çalışma Sistemi	77
Şekil 3.6	Atık Depolamasında Polder Yöntemi	79
Şekil 3.7	Açık Ocaklarda Depolamanın İşletme, Geçiş ve Nihai Durum Aşamaları	80
Şekil 3.8	Göletsiz (Dolgulu) Atık Depolama Şekilleri	82
Şekil 3.9	Göletli Atık Depolama Şekilleri	83
Şekil 3.10	Başyukarı veya Akıntıya Karşı İlerletimli Yöntem “upstream method”	87
Şekil 3.11	Baş aşağı veya Akıntı Yönünde İlerletimli Yöntem “Downsream Method”	89

Şekil 3.12	Merkez Hattı veya Her İki Yönde İlerletimli Yöntem “Centerline method”	89
Şekil 3.13	Tipik Başlangıç Seti	91
Şekil 3.14	Gale Common’daki Kül Döküm Göleti Kesiti	92
Şekil 3.15	Polonya, Silesia Bölgesinde’ki Tipik Kül Göleti Kesiti	92
Şekil 3.16	Przechlebie’deki Ana Kül Barajı Kesiti	93
Şekil 3.17	Kül Göletinin ve Setlerin Plan Görünüşü	93
Şekil 3.18	Przechlebie’deki Deney Platformu Altındaki Sıkışmış Kül Zonları	94
Şekil 3.19	Üç Farklı Sızma Kontrol Sistemi	97
Şekil 3.20	Geçirimsiz Çekirdek ile Sızmanın Önlenmesi	97
Şekil 3.21	Atık Tesislerinde Aktarmaların Kullanılışı	99
Şekil 3.22	Atık Tesislerinde Künklerin Kullanılışı	99
Şekil 3.23	İç Akış Hidrografi	100
Şekil 3.24	İç ve Dış Akış Hidrografları	101
Şekil 4.1	Zararsız Atık Depoları, Tek Tabakalı Astar sistemi	111
Şekil 4.2	Zararlı Atık Depoları, Çift Tabakalı Astar Sistemi	112
Şekil 4.3	Daniel ve Koerner(1991) Tarafından Önerilen Taban Astar Sistemi	113
Şekil 4.4	Zararlı Atık Depoları Örtü Sistemi	115
Şekil 4.5	Zararsız Atık Depoları İçin Önerilen Örtü Sistemi	116
Şekil 4.6	Su İçeriğine Karşılık Permeabilite ve Kuru Birim Ağırlığı	121
Şekil 4.7	Su İçeriği ve Kuru Birim Ağırlık İçin Kabul Edilebilir Zonun Tespiti	122
Şekil 4.8	Permeabilite, Kesme Dayanımı ve Kuruma Sebebiyle Çekme Kriterlerine Bağlı Kabul Edilebilir Zonlar	123

Şekil 4.9	Sıkıştırma Kuvvetinin Permeabilite ve Kuru Ağırlık Üzerine Etkisi	123
Şekil 4.10	Test Alanı	128
Şekil 4.11	Ayaklı Silindirler Üzerindeki (a)Tam ve (b)Kısmen batan ayaklar	131
Şekil 4.12	(a) paralel (b) yatay katmanlarla inşaa edilen yanıl yüzeyler	131
Şekil 4.13	Jeosentetik Kil Astarlar(a)Bentofix®veBentomat® (b)Claymax®(c)Gundseal	134
Şekil 4.14	Jeomembran, toprak ve karma astarlarda sızıntı durumları	138
Şekil 4.15	Polietilen Molekülüne Dönüşen İki Etilen Monomeri	143
Şekil 4.16	Jeonet	151
Şekil 4.17	Jeogrid	151
Şekil 5.1	Çayırhan Termik Santrali Bulduru Haritası	172
Şekil 5.2	Çayırhan Termik Santrali Genel Görünüş	173
Şekil 5.3	Kül Akış Şeması	174
Şekil 5.4	Santral Genel İşleyiş Şeması	175
Şekil 5.5	İnşaat Halindeki BGD Sistemi	181
Şekil 5.6	Külün Depolama Alanına Verildiği Beton Kanal	183
Şekil 5.7	Kül Depolama Alanı Görüntüsü	184
Şekil 5.8	Kül Depolama Sistemi	185
Şekil 5.9	Yeni Depolama Sahasının Görüntüsü	186
Şekil 5.10	Seyitömer Termik Santrali Bulduru Haritası	194
Şekil 5.11	Termik Santralin Genel Görünüşü	194
Şekil 5.12	Kül-Curuf Taşıma Sitemi Akım Şeması	196
Şekil 6.13	Kül Depolama Alanı Topografik Haritası	198

Şekil 5.14	Kül Dağı	199
Şekil 5.15	Kül Dağında Meydana Gelen Tozuma	200
Şekil 5.16	Yıkılan Sedde ve Heyelan Bölgesi	202
Şekil 5.17	Yıkılan Sedde ve Heyelan Bölgesi	203
Şekil 5.18	Küllü Suyun Yayıldığı Araraziler	204
Şekil 5.19	Küllü Suyun Yayıldığı Ararazi	204



TABLO LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 1.1	Amerika’da Yıllık Üretilen Katı Atık Miktarları	3
Tablo 1.2	Endüstri Tarafından Üretilen Tehlikeli Maddeler	5
Tablo 1.3	Külün İçeriği	9
Tablo 2.1	Atıkların Bertarafı ile İlgili Türk Kanun ve Yönetmelikleri	14
Tablo 2.2	Tehlikeli Özelliklerden Listesinden Örnekler	20
Tablo 2.3	Genel Tehlikeli Atık Katagorilerinden Örnekler	21
Tablo 2.4	Atıkların Yerüstü Depo Tesislerinde Depolanabilme Kriterleri	24
Tablo 2.5	Evsel Katı Atık Depo Tesislerinde Depolanmasına İzin Verilen Atık Konsantrasyonları	25
Tablo 2.6	Enüst Akiferde Maksimum Bileşik Konsantrasyonu	39
Tablo 2.7	Spesifik Kaynaklı Olmayan Tehlikeli Atıklara Örnekler	43
Tablo 2.8	Spesifik Kaynaklı Tehlikeli Atık Örnekleri	43
Tablo 2.9	Çok Tehlikeli Kimyasal Ürün Örnekleri	43
Tablo 2.10	Toksik Kimyasal Ürün Örnekleri	44
Tablo 2.11	Toksisite Karakteristiği İçin Maksimum Kirletic Konsantrasyonu	47
Tablo 2.12	EPA İçme Suyu Standartları	49
Tablo 2.13	Yeraltı Suyu Korunması İçin Maksimum Bileşik Konsantrasyonu	53
Tablo 3.1	Depo Alanı Seçimi Kriterleri ve Önemi	65
Tablo 3.2	Permeabilite Ölçüm Sonuçları	71

Tablo 3.3	Atık Barajları İnşaat Yöntemleri ile İlgili Özellikler	86
Tablo 4.1	Kil Astarların Performans Standartlarına Uygunluğunu Kanıtlamak için Kullanılan Bilgiler	120
Tablo 4.2	Düşük Permeabiliteli Toprak Astarlar İçin Test Metodları	133
Tablo 4.3	Jeosentetik Kil Astarların Konvansiyonel Kil Astarlarla Karşılaştırılması	137
Tablo 4.4	Akış miktarlarının örnek hesapları	138
Tablo 4.5	Jeomembran Performans Standartlarına Uygunluğunun İspatı için Kullanılan Dizayn Bilgileri ve Teknik Parametreler	142
Tablo 4.6	Jeomembran Özelliklerini Belirlemek Üzere Kullanılan Testler	145
Tablo 4.7	Seçilmiş Bazı Geomembranların Mekanik Özellikleri	146
Tablo 4.8	Jeotekstil Özelliklerini Belirlemek Üzere Kullanılan Testler	150
Tablo 4.9	Liç Toplama ve Uzaklaştırma Sisteminin Performans Standartlarına Uygunluğunu Göstermek için Kullanılan Bilgiler ve Parametreler	154
Tablo 5.1	Türkiye'deki Termik Santral Özellikleri	162
Tablo 5.2	Hava Kalitesi Sınır Değerleri	164
Tablo 5.3	Yakma Tesisleri İçin Emisyon Değerleri	165
Tablo 5.4	Termik Santrallerden Oluşan kül Miktarları	169
Tablo 5.5	Çayırhan Termik Santrali Külünün Elementer analizi	178
Tablo 5.6	Dört ünitenin kül ve su miktarları	191
Tablo 5.7	S.L.İ'den Sevk Edilen Yerlere Göre Ortalama Kömür Özellikleri	195
Tablo 5.8	Santral Külünün Elementer Analizi	195
Tablo 5.9	Santraldeki Kül ve Curuf Silolarının Kapasitesi	197

ÖZET

Günümüzde ister zararlı, ister zararsız olsun; atıklar önemli bir problem oluşturmaktadır. Atıkların miktarı, nüfus artışı ve endüstrideki gelişmelere paralel olarak artmakta, bununla birlikte içerikleri de karmaşık ve tehlikeli hale gelmektedir.

Gerek son yıllarda gelişen çevre bilinci doğrultusunda çıkartılan yasaların getirdiği sınırlamalar, gerekse atıkların depolanması ve uzaklaştırılması amacı ile kullanılacak karasal alanların azalması nedeniyle; bilimsel çalışmalarda ağırlık atık depolanması ve uzaklaştırılmasından ziyade; atık miktarının azaltılması ve geri dönüşüm teknolojilerine verilmektedir.

Bu çalışmada, endüstriyel atıkların özellikle depolama ve uzaklaştırma yöntemleri üzerinde durulmuştur. Atıkların, gerek yeraltı maden ocaklarında ve gerekse açık ocak işletmelerinde üretim sonucu oluşan hazır boşluklara, çevreye zarar vermeksizin depolanması konu edilmiştir. Örnek olarak, bir endüstriyel atık olan "termik santral külleri" alınmış, bu atıkların Türkiye'deki genel durumu ve depolanma yöntemleri üzerinde durulmuştur. Çalışmalar örnek olarak seçilen Seyitömer ve Çayırhan Termik Santralleri'nde sürdürülmüştür.

İlk etapta, atıklar genel olarak sınıflandırılmış; termik santral küllerinin bu sınıflamadaki yeri belirlenmiştir. Atıkların depolanması ve uzaklaştırılması ile ilgili hukuki sınırlarının belirlenmesi amacıyla; ilgili yurtiçi ve yurtdışı (ABD) yönetmelikler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yönetmeliklerde ağırlıklı olarak depoların inşaatı ile ilgili teknik bilgiler üzerinde durulmuştur.

Daha sonra uygulanan tüm yeraltı ve yeryüzü atık depolama ve uzaklaştırma tekniklerinin (*landfill, surface impoundments*) genel özellikleri anlatılmıştır. Kül depolanmasında kullanılan bu yöntemlere, uygulamalardan örnekler verilmiştir.

Depolamada asıl amaç çevreye zarar vermeksizin uygulamaların yürütülebilmesidir; bu bağlamda deponun sızdırmazlığı yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmemesi için önemlidir. Bu nedenle *landfill, surface impoundment* gibi atık depolama alanlarında yalıtım görevini üstlenen astar sistemleri (taban ve örtü astar sistemleri) anlatılmıştır. Bu sistemlerin bileşenleri olan geçirimsiz kil astarlar, jeosentetik malzemeler ayrıca liç toplama ve uzaklaştırma sistemleri teknik özellikleri verilerek ayrı ayrı incelenmiştir.

Son bölümde örnek olarak alınan Çayırhan ve Seyitömer Termik Santrallerinde kullanılan kömür ve çıkan kül miktarları verilmiş; santrallerin çalışma prensiplerinden kısaca bahsedilmiştir. Ayrıca kül depolama sahalarının konumu ve özellikleri üzerinde durulmuştur. Külün, santralden itibaren kül sahasına taşınması, kül sahasında uygulanan depolama sistemleri; drenaj ve baraj özellikleri de dahil olmak üzere, ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

SUMMARY

Waste may be generated in the form of solids, liquids, gases and any combination thereof. With increasing industrialisation the quantity of waste has increased immensely. Depending on the source of generation some of these wastes may degrade into harmless products whereas others may be non-degradable and hazardous. In United States regulations; "solid waste" is defined as, any garbage, refuse, sludge, and other discharged material, including solid, liquid, semisolid, or contained gaseous material resulting from industrial, commercial, mining, and agricultural operations. This does not include solid or dissolved materials in domestic sewage, in irrigation return flows or industrial discharges that are point sources.

Hazardous waste refers to any solid, semisolid, liquid, or gaseous waste that cannot be handled by routine waste management methods because of chemical, biological or physical properties that present a significant threat to human health, the health of other organisms or the environment. The United States' regulations define hazardous waste as being either: (1) a listed hazardous waste or (2) specific characteristics of hazardous waste like, ignitability, corrosivity, reactivity, toxicity, infectivity, etc.

In United States The Federal regulations governing waste are given in the "Resource Conservation and Recovery Act" (RCRA) and "Code 40 of the federal Regulations" (40 CFR). The objective of the act is to promote the protection of health and environment to conserve valuable materials and energy resources. The act is administered by "Environmental Protection Agency" (EPA). The federal EPA regulations are explained in Title 40 of the Code of Federal Regulations. The technical requirements for EPA regulations are explained in Title 40 of the CFR, part 260-270.

Subtitle C of RCRA establish a detailed "cradle to grave" provision for hazardous waste management. An effective hazardous waste management system is an efficient record-keeping system to track the transfers of hazardous waste from a registered generator to a licensed hauler and from the hauler to an approved and licensed treatment, storage, or disposal facility. Such a record-keeping system is called "cradle-to-grave management" The purpose of this manifest system is to prevent illegal dumping by unscrupulous generators and haulers who wish to avoid paying the cost of proper disposal.

Subtitle D of RCRA is governing non-hazardous wastes. The 40 CFR 257 and 258 are about municipal waste disposal. Municipal landfills are heterogeneous mixtures of wastes that are primarily of residential and commercial origin. The

composition of the fill materials will depend on the type of the commerce and industry.

The RCRA regulations established practices for safe disposal of hazardous waste currently being generated, but they did not address the problem of many existing sites where hazardous waste was dumped at some time in the past. To address the problem of old dump sites, the Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) or "Superfund" was passed. The purpose of this legislation was to provide funds to identify and remediate dump sites judged to present serious hazards to humans and environment. An important aspect of CERCLA was assign the financial responsibility for cleanup of contaminated disposal sites to the generator.

In Turkey, "Control of Solid Waste Regulation" and "Hazardous Waste Control Regulation" are the regulations that govern solid waste disposal. While "Solid Waste Control" which is passed 1991 is about municipal waste; "Hazardous Waste Control" which is passed in 1995 concerns hazardous wastes and disposal techniques.

In this study especially industrial waste disposal techniques are considered. Disposal of wastes in underground or open pit mines is explained. Thermal power plant ash in Turkey and its disposal is taken as an example of industrial waste.

Mine wastes are group of waste materials resulting from the extraction of metals and non-metals. The wastes include solid as well as liquid waste and can be inert or can contain hazardous constituents. In general mine waste consists of high volume, low toxicity wastes. Solid mine wastes usually consist of (1) waste rock from mine development or overburden (2) stockpiles of low-grade ore or ore with unfavourable milling mineralogy (3) leach dumps or heaps and (4) milling waste. With the increasing demand on natural resources, ores of poorer quality are being mined and proceed, generating ever larger amounts.

In thermal power plants, burning of coal ends up as fly ash and bottom ash. In coal burning industry, depending on its technology four types of fly ash is produced; conventional fly ash, spend-bed ash, fluidized bed combustion ash and scrubber sludge. Conventional fly ash is formed in furnaces where pulverised coal is burned. The fly ash is composed of very fine spherical shaped particles; typically 65% of particles are less than 0.01 mm. Fly ash produced burning sub-bituminous coal or lignite is called class C. This type of fly ash contains lime and other compounds that impart to it self-cementing properties. The fly ash formed by burning bituminous coal or anthracite is known as class F. Though this type of fly ash is pozzolonic, it shows little self-cementing properties. In US every year 90 million tons of coal combustion products are produced by the electric utility. Currently, only 1/3 of generated by-products can be utilised, the remaining is disposed of in surface facilities or landfills near the power plants.

In US RCRA specifically exclude “ash” from regulation as a hazardous waste treatment. Most states treat the ash as non-hazardous. However on May 2, 1994 US Supreme Court ruled that exclusion provided to the facilities does not extend to the ash. Ash must be tested to determine whether or not it is qualified as hazardous.

According to Turkish Regulations “ash” is considered as a “hazardous waste”. The rules related with ash are determined by “Environmental Agency”. But the study being done by agency has not finished. So there is a big confusion and uncertainty about fly ash disposal in Turkey now.

Turkey is generating 50% of its energy demand from thermal power plants. As a result 12 million tones of fly ash was produced in 1996. In this study case studies are carried out in Seyitömer and Çayýrhan Thermal Power Plants. The properties and the amount of coal burned in the furnace and the fly ash's are given. The working principles of the plants are explained briefly. The place of ash disposal areas and properties are given. The transportation of ash from plant to disposal area, and disposal techniques with drainage and dam construction properties are explained.

In the past, fly ash was generally disposed of by a wet method in which it is allowed to settle in ponds. Because of environmental concerns the emphasis is now shifting to dry disposal where moisture content of fly ash is controlled and it is compacted as soil. While the dry disposal of ash is used in Seyitömer, wet method is preferred in other thermal power plants. An accident was occurred in May, 1997 in Seyitömer when they were studying to change their system to wet method. Their starter dam was collapsed, and about two million metre cube of fly ash was spread to an area of 12 km long and 3 or 5 meters wide.

In a study of EPRI (Electric Power Research Institute); the cost of disposing one ton of fly ash in surface landfills was reported to range from \$5 to \$15.

Although wastes can be disposed into oceans, lakes, etc. today it has a little opportunity because of strict environmental regulations. Therefore we divided disposal systems into two groups as surface and underground.

Landfills and impoundments are surface disposal applications. Landfills are specially trapezoid shaped closed volumes that are isolated from environment by liner systems.

Impoundments are classified as impounding (cross-valley, side hill, incised pond, diked pond) or non-impounding (valley fills, ridge, side hill, heaped). In impounding facilities fine refuse is disposed of in slurry form behind or within the embankment, forming the impoundment. Embankments of the impounding facilities are usually made of coarse refuse, but borrowed material can also be added when there is not enough coarse refuse. Embankments of non-

impounding facilities can be made of either coarse refuse alone or coarse refuse mixed with drained and thickened fine refuse.

Refuse disposal facilities have also been classified by their method of construction. The three types of construction are, upstream, downstream and centreline methods. In the upstream method, a small starter dam is constructed initially with coarse refuse, then fine refuse slurry is disposed of behind it. Then, over a period of time, as the fine refuse drains and settles, new, small, coarse refuse dams are built, resting partially on the previous dam and partially on the settled fine refuse, and construction progress upstream. This method requires less refuse material than the others. It is important the compressive strength of drained fine refuse must be high enough to withstand the load of the extending dams. In the downstream method, the dam is constructed by gradually expanding it on the downstream side of the starter dam. This method allows construction of high embankments and these dams are claimed to be safer. The centreline method uses coarse refuse on both sides of dam. This method has found to be useful in areas of steep terrain.

In mining facilities every year, large volumes are excavated. Using these empty spaces; voids, resulted both from underground and surface mining, for waste disposal facilities will be economical. And if good precautions are taken it will also be safe for environment. Instead of using new areas for waste facilities, mining volumes are ready voids for this process. It must be taken into consideration that using abandoned mines or active mines effects the disposal techniques. So techniques of disposal in open pit or underground mines especially the construction of storage spaces and their sealing against underground water must be determined.

Current regulations (40 CFR 264) require that hazardous waste land disposal facilities be constructed with liner systems that prevent any migration of waste out of unit. "Liner system" includes the liners, leak detection/ leachate collection systems and any special additional structural components such as filter layers or reinforcements. They are used for two purposes; as covers to minimise leachate generation and surface water contamination by providing a barrier from precipitation and other percolating waters, and as containment liners to contain leachate and minimise its downward migration into underlying groundwater. To meet these objectives, liners systems must have low hydraulic conductivity over long period of time.

Liner systems can be constructed either in single or double system structure. The major components of both single and double liner systems are; lower permeability soil liners; flexible membrane liners, leachate collection and removal systems. A single liner system consists of one liner and one leachate collection system while a double liner system consists of two liners, primary and secondary, with a primary leachate collection system, above the primary (top) liner and secondary leak detection/leachate collection systems between the two liners.

Low-hydraulic-conductivity soil liners that used in liner systems, are given various names, including soil liner and clay liner. There are three types of clay liners; naturally-occurring clay liners, compacted clay liners and geosynthetic clay liners. Clay liners are low-permeability material, while drainage materials are of high permeability.

Geosynthetics are defined as synthetic materials, mostly plastic, which are commonly used in place of, or to enhance the function of, natural soil materials. These include geomembranes, geotextiles, geonets, geogrids. Geomembranes are flexible, polymeric sheets that have extremely low permeability and are typically used as liquid or vapour barriers. Geotextiles are synthetic fabrics used in geotechnical engineering for various applications. The majority of geotextiles are composed of polyamide or polyethylene. Geonets and geosynthetic drainage products are extruded sheets of plastic formed into a configuration to promote drainage. They are most commonly composed of PE but may also be composed of polypropylene, polystyrene, high impact polystyrene or other materials.

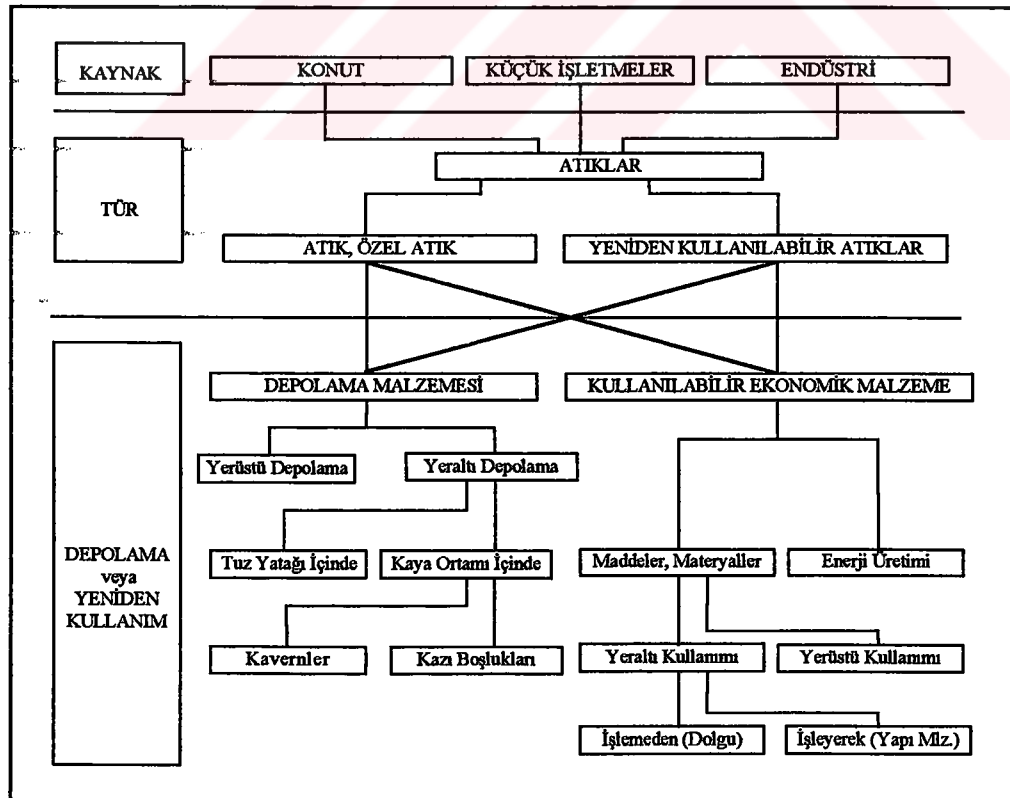
Leachate collection and removal systems (LCRA) are designed to minimise the leachate head above the liner by collecting and removing it to a location where it can be treated properly. Regulations require that the LCRA systems be designed and operated to ensure that the leachate depth over the liner does not exceed 30 cm. The system must also be chemically resistant to wastes and leachate, sufficiently strong to withstand landfill loading and protected from clogging through the scheduled closure of the unit.

When a landfill has reached full capacity and no longer receives waste, a final cover is put in place to minimise infiltration of moisture and erosion.

BÖLÜM 1

GENEL OLARAK ATIKLAR

Atıklar, enerji eldesi veya çeşitli maddelerin üretilmesi, hazırlanması, yeniden şekillendirilmesi aşamalarında ortaya çıkan maddelerdir. Atıklar, işletme tarafından çeşitli amaçlarla kullanılabileceği gibi, sonradan değerlendirilmek üzere geçici olarak da depolanabilir. Değerlendirme imkanı olmayan atıklar ise nihai depolamaya tabii tutulurlar. Ancak atık oluşumunu azaltmaya ve atıkları değerlendirmeye yönelik uygulamalar her zaman depolamaya tercih edilmektedir (Kuzu ve diğ, 1996). Çeşitli atıkların depolanması ve yeniden kullanımına ait uygulama türleri Şekil 1.1’de verilmiştir (Kuzu ve diğ, 1996).



Şekil 1.1 Çeşitli Atıkların depolanması ve yeniden kullanımına ait uygulama türleri(Kuzu ve diğ,1996).

Üretilen atık miktarının ve içinde bulunan tehlikeli bileşenlerin endüstrinin gelişimine paralel olarak artması, atık bertarafı ile ilgili yeni yönetmeliklerin uygulamaya konması ve depolama için uygun alanların azalmasıyla, atık bertarafı gün geçtikçe daha pahalı olmakta ve zorlaşmaktadır. Bu nedenle günümüzde belirlenen strateji, atıkların bertarafı değil, atıkların azaltılması ve geri dönüşümüne önem vermektir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Atıklar, 20814 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği”ne göre; atılmak istenen, çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru olarak tanımlanmıştır.

A.B.D.’de, atıklarla ilgili yasaya açıklık getiren federal, Çevre Koruma Teşkilatı (EPA) yönetmelikleri (Environmental Protection Agency); “Title 40 of Code of Federal Regulations” 40 CFR’de açıklanmıştır. İncelen bu yönetmeliklerden; 40 CFR 257’de **katı atık**; herhangi bir atık işleme tesisinden, su muamele tesisinden veya hava kirliliği kontrol faaliyetinden gelen çöp, atık, şlam veya endüstriyel, ticari, madencilik, tarım faaliyetleri ve topluluk aktiviteleri sebebiyle oluşmuş, katı, sıvı, yarı katı veya kirlenmiş gaz materyallerini kapsayan diğer atılmış materyaller olarak tanımlanmıştır. Ancak bu tarif evsel kanalizasyonlardaki ve sulama suları dönüşündeki katı veya çözünmüş atıklar, Atom Enerji Kanununca belirtilen nükleer yarı ürünleri ve atıkları kapsamamaktadır (40 CFR 257.2). Tablo 1.1’ de Amerika’da bir yılda üretilen katı atık miktarları verilmiştir.

Katı atıklar ilk etapta “tehlikeli” ve “tehlikesiz atıklar” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Amerika’da oluşan atıkların yaklaşık % 10-15’i tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Tehlikeli atıklar insanlar ve yaşayan organizmalar için potansiyel risk oluşturmaktadırlar (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18). Tehlikeli ve tehlikesiz atıkların tanımları, Bölüm-2’de Türkiye ve yurtdışı yönetmelikler dahilinde açıklamalı olarak verilmiştir.

Bu bölümde atıklar tehlikeli veya tehlikesiz olmalarına bakılmaksızın belediye atıkları, madencilik atıkları, endüstri atıkları, tarım atıkları ve tarama atıkları olarak ele alınmış

ve bu atık katogorileri kısaca açıklanmıştır.

Tablo 1.1 Amerika’da Yıllık Üretilen Katı Atık Miktarları (Ryner ve diğ;1995)

İşin Tipi	Yıllık Miktar (milyon tonnes)*
Tarım	Bilinmiyor
İnşaat/Yıkım	28.10
Evsel (tehlikeli)	0.27
Endüstriyel(zararsız,kuru bazda)	390.00
Endüstriyel (tehlikeli)	178.00
Madencilik	1270.00
Belediye Katı Atık	177.60
Belediye Şlam (kuru bazda)	7.70
Belediye Yakma Külü	2.10

*tonnes x 1.2 = ton

1.1 Belediye Atıkları

Belediye atıkları, evsel, ticari, kurum ve endüstri kaynaklarından gelen dayanıklı dayanıksız eşyalar, konteynerler ve paketler, yiyecek atıkları, şantiye döküntüleri, çeşitli organik ve inorganik atıklardan oluşmaktadır. Depolanan malzemenin kompozisyonu endüstriye veya evsel kaynaklara bağlı olarak değişmektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18) (Ryner ve diğ, 1995, s.25-35).

Evsel atıklar; evlerden ve diğer tip mesken üniteleri tarafından üretilirken; ticari atıklar perakende ve toptan satış, toplumdaki servis hizmetleri nedeni ile oluşmaktadır. Kurum atıkları ise, okullar, hastaneler ve evsel yönetim fonksiyonlarının olduğu binalar tarafından üretilmektedir. Son grup olan endüstriyel atıklar temel olarak ofis ve destek operasyonlarını içerirken, atıklar proses ve üretim sonucu oluşan atıkları içermemektedir (Ryner ve diğ, 1995, s.25-35).

Belediye atıklarının ağırlıkça % 50’si kağıt ve şantiye atığından oluşmaktadır. Günlük üretim Amerika’da kişi başına 1990 yılı için 1.6 kg olarak hesaplanmıştır. Ayrıca

belediye atıklarının içinde büyük hacimli, örneğin ağaç kütükleri, buzdolapları, otomobil gövdeleri ve inşaat atıkları bulunabilir (Oweis ve Khera, 1990, s. 1-18).

A.B.D. Çevre Koruma Teşkilatı (USEPA) (U.S. Environmental Protection Agency) 1990 yılında A.B.D’de üretilmiş belediye atıklarının 195.1 milyon ton olduğunu belirlemiştir, bunun 162.3 milyon tonu arazi depolarına veya yakma fırınlarına gönderilirken, kalan miktar geri kazanılmış veya kompostlaştırılmıştır. Burada konu edilen belediye atıkları (Municipal solid Waste (MSW)) tarifine; endüstriyel atıklar, atıksu şamları, inşaat ve yıkım atıkları, hurda otomobiller, tarım atıkları, maden atıkları dahil edilmemiştir. Bu materyaller için rakkamlar tam olarak elde edilememektedir. Katı atıklara ek olarak, belediyeler ve kurumların 60 milyar metrekübün üzerinde atık su boşalttıkları tahmin edilmektedir (Ryner ve diğ, 1995, s.25-35).

Evsel tehlikeli atıklar genellikle araziye depolanmakta veya kanalizasyon, septik sistemlere boşaltılmaktadır. Bu tip atıklar; temizliyicileri, otomotiv ürünlerini, boyaları ve bahçe ürünlerini içermektedir (Oweis ve Khera, 1990, s. 1-18).

Termal bozundurma ve geri kazanım, kentsel atıkların hacminin küçültülmesinde önemlidir. Kuru ağırlık kabaca yanmamış atık ağırlığının %20-25’i kadardır. Kent kaynaklı ısınmaya yönelik kömür külü yanında, belediye atıklarının yakılması sonucunda oluşan ucucu kül ve curuf miktarı da küçümsenmeyecek miktarlara ulaştığı tahmin edilmektedir. Bu küller az miktarda metaller, polivinilklorit ve diğer toksik bileşimleri içerebilmektedir. Uçucu külün absorblama karakteri, depolama işleminde gözönünde bulundurulmalıdır (Oweis ve Khera, 1990, s. 1-18).

1.2 Tehlikeli Atıklar

Tehlikeli atık, kimyasal, biyolojik, fiziki özellikleri nedeni ile insan sağlığı, yaşayan organizmalar ve çevre için önemli tehdit oluşturan ve bu nedenle rutin atık metodları ile muamele edilemeyen katı, yarı katı, sıvı veya gaz atık olarak tanımlanmaktadır (Rhyner ve diğ, 1995).

Amerika’da endüstriyel tehlikeli atıkların %90’ı sıvı halde üretilmektedir. Bu atıkların %60’ını organik, %40’ını inorganik sıvılar oluşturmaktadır. Dört çeşit tehlikeli atık sınıflandırılmıştır (Oweis ve Khera, 1990, s 1-18):

- I. Tip Sıvı inorganikler
- II. Tip Sıvı organikler
- III. Tip Organikler
- IV. Tip Tehlikeli şamlar,sıvılar ve katılar

Birinci tip atıklarda su çözücü, çözünenler ise genellikle elektrolakalama endüstrisi ürünleri olan kadmiyum, siyanür ve metallerdir. Böcek, bitki ilacı endüstrisi tarafından üretilen organikler (karbon bileşikler) ikinci tip atıkların çözünenleridir. Üçüncü tip atıklarda, hem çözünen hem de çözücü organiktir; yağ bazlı boyalar ve motor yağları gibi. Dördüncü tip ise, çeşitli susuzlandırma ürünlerini, filtrasyon ve muamele ürünlerini kapsamaktadır. Örnekler ise petrol rafineri ve muamele endüstrisinden gelen şamlardır. Endüstriyel atıklar tehlikeli atıkların temel kaynağıdır. Tablo 1.2’te değişik endüstriler tarafından üretilen tehlikeli maddeler gösterilmiştir (Oweis ve Khera, 1990).

Tablo 1.2 Endüstri Tarafından Üretilen Tehlikeli Maddeler (Oweis ve Khera, 1990)

ENDÜSTRİ	As	Cd	CH	Cr	Cu	CN	Pb	Hg	MO	Se	Zn
Pil		X		X	X						X
Kimyasal Üretim			X	X	X			X	X		
Elektrik ve Elektronik			X		X	X	X	X		X	
Elektrolaka ve Metal finishing		X		X	X	X					X
Patlayıcılar	X				X		X	X	X		
Deri				X					X		
Madencilik ve Metalurji	X	X		X	X	X	X	X		X	X
Boya ve Apre		X		X	X	X	X	X	X	X	
Böcek ve bitki ilaçları	X		X			X	X	X	X		X
Petrol ve Kömür	X		X				X				
Eczacılık	X							X	X		
Yazı ve Duplicating	X			X	X		X		X	X	
Kağıt hamuru ve Kağıt								X	X		
Tekstil				X	X				X		

EPA'nın (Environmental Protection Agency) 1989'da yaptığı hesaplara göre, A.B.D'de 216 milyon ton tehlikeli atık oluşmuştur (Rhyner ve diğ, 1995).

Radyoaktif atıklar, işlenmesi, kullanımı nedeni ile özel atıklardır ve bu atıklar Amerika Nükleer Yönetmelik Komisyonu tarafından yönetilmektedir. Nükleer atıklar diğer tehlikeli atık kategorileri ile ilgili olan federal ve eyalet yönetmeliklerinden çıkartır (Rhyner ve diğ,1995).

Nükleer Atıklar

Nükleer atıklar yapı olarak, radyoaktivite ve zararlı yaşam süreleri açısından farklılık gösterirler. Atık üreticileri, işlenmeleri açısından atığı; düşük, orta ve yüksek seviyeli olarak kategorilere ayırmışlardır. Düşük seviyeli atıklar özel bir paketlenme gerektirmeden muamele edilip, depolanabilirken, orta seviyeli atıklar güvenli bir depolama için radyasyon kalkanına sahip olmalıdırlar. Yüksek seviyeli atıklarda, paketlenme ve depolanma öncesi ek bir soğutma işlemine gerek vardır (Broşür, 1989).

Radyasyon korumalarında, temel amaç yeraltında derinlere depolanmış atıktan yayılan radyoaktivitenin insanların yaşadığı alanlara yüksek konsantrasyonlarda ulaşmasını önlemektir. Bu da ancak doğal veya yapay bariyerlerle sağlanmaktadır. Deponun kapatılmasından sonra, depolanmış atıktan yayılan radyasyonun yaklaşık 10.000 yıl, normal radyasyon dozu ölçülerinde tutulması gerekmekte, bununla birlikte, güvenlik değerlendirilmeleri; tüm depolama sisteminin kalitesinin uzun dönem korunacağını kanıtlamalıdır (Broşür,1989).

Nükleer enerji üretimi sonucunda, elde edilen nükleer atıkların yönetimi tüm ülkelerde önemli bir konudur. Ortak uluslararası konseptin nükleer atık yönetiminde uygulanması önemlidir. OECD'nin (Organisation for Economic Co-operation and Development) Nükleer Enerji Bürosu NEA (Nuclear Energy Agency) 1972'de kurulmuştur. NEA'nın temel amacı üye ülkeleri arasında, nükleer gelişme konusundaki güvenlik ve yönetmeliklerde; nükleer enerjinin ekonomik ilerlemeye olan katkısında, birlikteliği ve ortak çalışmayı sağlamaktır (Broşür, 1989).

1.3 Endüstriyel Proses Atıkları

Endüstriyel atıklar birçok endüstri örneğın, kimya, gıda, petrol rafınasyonu, plastik, reçine, kağıt, kağıt hamuru, kereste, ağaç ve ilaç tarafından üretilmiş olabilirler. Ziraai atıklar, sulama atıklarını, toplanmış arazi çıkış suyunu, tarım üretilimi atıkları ve gübrelerini de içermektedir. Bu atıklar çeşitli derecelerde organik ve inorganik kimyasallar; ile ağır metaller içermektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18)

Ayrıca şlam, yanma işlemleri sonucu oluşan küller, curuf, organik ve inorganik atıklar, ile geniş aralıktaki proses atıklarını da içerir. Bu tip atıklar, tehlikeli atık oldukları takdirde “Kaynak Korunumu ve Geri Kazanımı Kanunu”nun (RCRA- Resource Conservation and Recovery Act) “Altbaşlık-C yönetmelikleri”; zararsız olduklarında ise “Altbaşlık-D yönetmelikleri” altında değerlendirilmektedir. Arazilerde depolanan atıklar içinde, kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi payı %35, bütün endüstriler içinde en büyük payı alırken, demir ve elik endüstrisi %20; inorganik kimya endüstrisi %14 yer kaplamaktadır (Rhyner ve diğ, 1995).

1978’in sonuna kadar endüstriyel atıkların % 80’i organik ve inorganiklerin sulu solüsyonları, organik özücölü organik sıvılar ve şlam şeklinde, izolasyonsuz “landfill”lere veya barajlı sistemler depolanmaktaydı. Kasım 1981 yılından itibaren yasalar (RCRA); uygun bir koruyucu tabaka ve atık toplama sistemi olsa dahi sıvı atıkların arazide depolanmaları yasaklamıştır (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Kömür Yanma Ürünleri

Amerika’da elektrik üretim endüstrisi tarafından yılda yaklaşık 90 milyon ton kömür yanma ürünü (CCBs “Coal Combustion By-products”) üretildiği belirtilmiştir. Bu 90 milyonun; 48 milyonu uçucu kül (fly ash), 14 milyonu curuf (bottom ash), 20 milyonu “scrubber şlamı”dır. Üretilen bu miktarın 1/3’ü tüketilebilirken, geri kalanın 2/3’ü barajlara veya santral yanındaki landfill’lere depolanmaktadır (Sevim, 1997) (Sevim, 1996).

4 tip kömür yanma ürünü vardır (Sevim, 1997):

- 1) Bilinen konvansiyonel uçucu kül
- 2) Scrubber (yıkayıcı kule) şlamı
- 3) Akışkan yataklı yakma sistemlerinin uçucu külü
- 4) Curuf (spent-bed)

1) Konvansiyonel uçucu kül (convensional fly ash (CFA)); pülverize kömürün yakıldığı fırınlarda oluşmaktadır. Uçucu kül çok küçük küresel şekilli partiküllerden oluşur ve tipik olarak partiküllerin %65'inin boyutu 0.01 mm (10 μ m)'den küçüktür. Bu sebeble taşıma ve elde işleme aşamasında toz büyük önem taşır, dikkat edilmelidir.

2) Yıkama kulesi şlamı; ağırlıklı olarak kalsiyum sülfat (jips) ve sülfitten oluşmaktadır. Kuleden çıkan malzeme %15-20 arasında katı kısım içerirken, kuru depolama amacı ile, ilk etapta katı konsantrasyonu, tikinerlerde %40-50'e yükseltirken, daha sonra bu oran vakum filitrelerde, santrifüjde veya siklonlarda %65-75 oranına kadar yükseltilmektedir.

3) Yeni bir yakma tekniği olan, akışkan yataklı yakma işlemleri (Fluidized Bed Combustion(FBC) sonucu oluşan kül ise değişik yakıtların, kireç taşı gibi akışkan absorblayıcı yataklarda, SO_2 'yi uzaklaştırmak amacı ile yakılması sonucu oluşmaktadır. Yanma esnasında temel olarak iki tip ürün; uçucu kül ve curuf oluşmaktadır.

Tipik olarak FBC-uçucu kül, daha çok homojen bir şekil dağılımı olmayan boyutu 45 μ m'den küçük partiküllerdir. Curufun boyutu ise 75 μ m'den daha büyüktür. FBC ürünleri, genellikle serbest nem içermez, ancak suyla büyük birleşme eğilimi gösterirler. Nemle temas sonucu, kalsiyum oksit ve sülfatla hidratasyon reaksiyonuna sebep olur. Bu reaksiyon yan ürünü sertleştirir ve buna bağlı olarak yüksek hidratasyon ısı meydana gelebilir. Ayrıca bu yan ürünler, solunum yoluyla alınışında veya deri ile direkt temasında tahriş edici olabilen yüksek derecede yakıcı (kostik), sönmemiş kireç içermektedir. Bu nedenle; taşıma kapalı ve kapatılmış araçlarda olmalıdır ki, kaçak toz ve suyla teması engellenebilsin (Sevim, 1997).

Yanan kömürün, özelliğine bağlı olarak, en az %12-15'i uçucu kül ve curuf olarak sonuçlanmaktadır. Amerika'da yarı bitümlü kömürün veya linyitin yanması sonucu oluşan uçucu kül "C sınıfı" olarak adlandırılmaktadır. Bu tip kül, kireç ve çimentolama özelliği veren diğer bileşenleri içermektedir. Bu tip kül Batı Amerika'da yaygındır. Bitümlü kömür ve antrasitin yakılması sonucu oluşmuş kül ise "F sınıfı" olarak adlandırılmaktadır. Bu tip uçucu kül ise, daha çok Doğu Amerika'da yaygındır. Puzzolonik özellik göstermesine rağmen az çimentolanma özelliği göstermektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18) (McLaren ve DiGioia, 1987).

Daha önceleri uçucu kül, genellikle havuzlarda çökmeye bırakılarak, yaş olarak bertaraf edilmekteydi. Ancak çevresel etkilerin artması nedeniyle günümüzde önem, uçucu külün kondisyonlama olarak bilinen nem içeriğinin kontrolünün yapıldığı ve toprak gibi sıkıştırılabildiği kuru bertaraf yöntemine kaymaktadır (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Uçucu külün genel kompozisyonu Tablo 1.3'de verilmiştir. Uçucu külün mühendislik özellikleri en çok içerdiği serbest kireç ve yanmamış karbondan etkilenmektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Tablo 1.3 Külün İçeriği (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18)

İçerik	Uçucu Kül (%)	Curuf (%)
Silis (SiO_2)	34-58	21-60
Aliminyum (Al_2O_3)	20-40	10-37
Demir Oksit (Fe_2O_3)	4-24	5-37
Kalsiyum (CaO)	2-27	0-22
Magnezyum (MgO)	1-6	0-4
Sülfat (SO_3)	0.5-4	
Suda çözülebilir Alkaliler	2-6	0-7

Yeni yönetmelikler partiküllerin ve sülfürdioksitin bacagazından arındırılmasını zorunlu kılmaktadır. Toz parçacıkları, bağl yoğunluğu (Gs), 2 ile 3 arasında olan külden; az oranda organiklerden ($\text{Gs} \approx 1$) ve ağır metaller ve onların oksitlerinden

($G_s > 5$) oluşan boyutu ise 1-100 μm olan partiküller olarak tanımlanır. Duman ise; boyutu 1 μm 'den küçük katı ve sıvı partiküllerin dağılması sonucu oluşmaktadır (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Boyutu 100 μm (0.1 mm)'den büyük olan parçalar yerçekimi ile çökmekle, diğer partiküllerin uzaklaştırılması mekanik seperatörlerle, filtre toplayıcılarıyla, elektrostatik çöktürücülerle ve ıslak sıyrıcılarla yapılmaktadır. Kullanılacak aygıtın tipi, prosesin durumuna göre belirlenmektedir. Mekanik seperatörler yüksek gaz akışı için uygundur. Elektrostatik seperatörler uçucu külün uzaklaştırılmasında iyi performans gösterirler ve yağ sıyrıcılar ise genellikle gazın ve partiküllerin beraber bulunduğu koşullarda seçilmektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Baca gazlarından sülfüroksitlerin uzaklaştırılması, sülfür oksitleri absorblayan kireç veya kireçtaşı solüsyonlarıyla temas ettirme şeklinde gerçekleşir. Bu ıslak sıyırma işlemi sonucunda, atılması gereken kalsiyum sülfat (jips), kalsiyum sülfid içeren şlam, genellikle reaksiyona girmemiş kireç ve kireçtaşı atıkları oluşur. Çok miktarda su içeren sülfid şlamlarının karasal depolama işlemleri için geniş alanlar gerekli olur ve tiksotropik özelliği bu atıkların bertaraf edilmesini zorlaştırır. Bu atıklar uçucu kül ile karıştırılıp, sıkıştırılarak, depolanmaktadır (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

1.4 Madencilik Atıkları

Maden atıkları; minerale ulaşmak için kaldırılan malzemeyi ve cevherin işlenmesi sonucu oluşan atıkları ve şlamı kapsamaktadır. Bunlara ek olarak bakır, gümüş, veya altın işletmelerinin yığın lıci sonucu oluşturdıkları yığın veya dökülmüş haldeki atıklarda dahil edilmektedir. Maden atıkları, genellikle büyük hacimli, düşük toksisiteli atıklardır (Rhyner ve diğ., 1995) (Zyl, 1993)

Doğal kaynaklara artan istek ve cevher zenginleştirme tekniklerindeki gelişmeler, düşük tenörlü cevherler üretilmekte; bu da atık miktarında artışa sebep olmaktadır (Oweis ve Khera, 1990, s 1-18) (Zyl, 1993).

Büyük miktarlarda oluşan maden atıkları genellikle madencilik ve üretim operasyonlarının yanında depolanmaktadır. Maden atıkları genellikle tehlikeli atık olarak kabul edilmemekle birlikte, iyi organize edilemedikleri takdirde, toprak, hava ve su için kirlетici kaynak olabilirler (Oweis ve Khera, 1990, s 1-18).

Maden atığı, genel olarak cevher veya maden yatağına ulaşmak için yapılan işlemler sonucunda çıkartılmış toprak ve kayalardır. Geleneksel olarak, maden atıkları ekonomik ve çabuk bir şekilde bertaraf edilebilirler. İdeal olarak, atık malzemeler, cevheri alınmış işi bitmiş alana geri döndürülmeli, bozulmuş alan ise restore edilip eski haline döndürülmelilerdir. Bu işlemin ideal olmasına karşılık; özellikle maden hala aktif ise bu uygulama her zaman uygun ve pratik olmamaktadır (Rhyner ve diğ.,1995) (Zyl, 1993).

Artık, cevherden değerli metal ve mineralleri kazanmak amacıyla uygulanan fiziksel ve kimyasal zenginleştirme prosesleri sonucunda geride kalan malzemedir.. Artık veya gang sert köşeli kum boyutlu tanecikleri (iri-boyutlu, öğütölmüş materyaller) ve kil ve kolladial boyutlu küçük tanecikleri (ince boyutlu materyalleri) içerir. Bu artıklar inşaa edilen barajların arkasında oluşturulan havuzlara depolanabilir, derin kuyulara enjeksiyon edilebilir veya kullanılmış madenlerde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler (Rhyner ve diğ.,1995) (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Şlam olan kısmın hacmi fazla ve kesme dayanımı düşüktür. Jeoteknik mühendisinin amacı, bu büyük hacimleri azaltmak ve zayıf olan bu malzemenin stabilitesini sağlamaktır. Buna ek olarak, proses kimyasalları, erimiş tuzlar, ağır metaller içeren artık yeraltı ve yerüstü suları için kısa ve uzun dönemli bir tehdit oluşturabilmektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18) (Zyl, 1993).

Maden atıklarının miktarları hakkında bir fikir oluşumunu destekleyici datalar sınırlıdır. Yapılan hesaplara göre Amerika'da yıllık maden atığı miktarı 1-2 milyar ton olmaktadır. Bu değerin yarısı maden atığı, geri kalanı ise artık ve yığın liçi atıkları olduğu belirlenmiştir (Ryner ve diğ.,1995).

Kömür Atığı

Kömüre olan artan istek ve gelişen madencilik teknolojileri nedeni ile düşük kaliteli damarların üretime alınması nedeniyle büyük miktarlarda kömür ve buna bağlı değişik oranlarda kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve şist gibi yan kayaçlar ortaya çıkmaktadır. Amerika'da üretilen kömürün %30'u atık olarak ortaya çıkmaktadır. 1990 yılında Amerika'da 120 milyon ton atık üretilmiştir (Sevim, 1996) (Oweis ve Khera, 1990, s 1-18).

Kömürün yıkanması sonucu oluşan ince boyutlu kömür artıkları(1 mm'den küçük), iri atıklar (0.5 mm'den büyük) tarafından oluşturulan setler arkasına depolanır. İnce atıkların bağıl yoğunluğu, iri tanelerin yoğunluğundan daha düşüktür (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

1.5 Tarama Atıkları

Tarama atıkları, gemilerin işlediği sulardan taranmış malzemeler veya dip sedimanları olarak tanımlanabilir. Bu atıklar, farklı atıklarla ve karadan gelen akıntı ile kirlenmiş olan; çakıl, kum, silt ve kil gibi doğal sedimanlardan oluşmaktadır (Oweis ve Khera; 1990, s 1-18).

Tarama atıklarının, büyük kısmı okyanuslara boşaltılmaktadır. Çevresel yönetmeliklerin bir sonucu olarak geliştirilen, karasal alanlara depolama ise yeni bir uygulamadır. Arazi depolaması, kirlenmiş bileşikler ve açık sularada istenmeyen oranda bulanıklığa sebep olan atıklar için şarttır. Taranmış atıkların yaklaşık % 20'si, su içeriği %200-300 arasında değişen şlam şeklinde; hidrolik yöntemlerle, barajlanmış arazilere depolanmaktadır (Oweis ve Khera; 1990, s 1-18).

1.6 Tarım Atıkları

Tarım atıkları genel olarak, hayvan ve bitki atıklarını içermektedir. Bunlar tipik olarak homojen ve organik materyallerdir. A.B.D.'de tarım atıkları miktar olarak belediye

atıklarının birkaç katıdır. Tarım atıklarının büyük bir kısmı çiftlik alanlarında, geri kazanım işlemi, örneğin bitki ve hayvan atıklarının gübre olarak toprağa katılmasıyla gerçekleştirilmekte ve atık problemi ortadan kalkmaktadır. Ancak; çok sayıda hayvanın bulunduğu besleme alanlarında, kümes hayvanları çiftliklerinde veya yiyeceklerin işlendiği alanlarında, üretilen bu büyük hacimdeki atıklar, bunları değerlendirip kullanacak alanların absorblama kapasitesini aştıkları için atık problemini gündeme getirmektedirler (Ryner ve diğ.,1995, s. 25-39).



BÖLÜM 2

ATIKLARLA İLGİLİ MEVZUAT

2.1. Türkiye’de Atıklarla İlgili Mevzuat

Atıkların bertarafı ile ilgili Türk kanun ve yönetmelikleri Tablo 2.1’de, resmi gazete’de yayınlanma tarihine ve sayısına göre özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Atıkların Bertarafı ile İlgili Türk Kanun ve Yönetmelikleri

KANUN VE YÖNETMELİKLER	TARİH	SAYI
Çevre Kanunu	11/08/1983	18132
	09/08/1983	2872
Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği	02/11/1986	19269
Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği	04/09/1988	19919
Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği	03/04/1991	20834
	14/03/1991	20814
Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği	07/01/1991	20748
Çevresel Etki Değerlendirilmesi Yönetmeliği (ÇED)	07/02/1993	21489
	23/06/1997	23028
Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	20/05/1993	21586
Tehlikeli Atıkların Sınırlar Ötesi Taşınması Ve Bertarafının Kontrolü	15/05/1994	21935
Tehlikeli Atıkların Kontrol Yönetmeliği	27/08/1995	22387

Atıkların çevreye zarar verecek şekilde gelişigüzel alıcı ortama bırakılmasını, uzaklaştırılmasını, depolanmasını, önlemek ve buna yönelik politika, prensip ve programların belirlenmesi amacı ile yayınlanan 14/03/1991 tarihli 20814 sayılı “Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği” ve 27/08/1995 tarihli 22387 sayılı “Tehlikeli Atıklar Kontrol Yönetmeliği” bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Türk yönetmelikleri incelendiğinde, atıkların, katı atık (belediye atıkları) ve tehlikeli atık olarak iki grupta toplanmış olduğu ve yönetmeliklerin de bu platform üzerine oturtulduğu görülmektedir.

Atılmak istenen; çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamurları; katı atık olarak tanımlanırken (20814 sayılı resmi gazete,1991); patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, oksitleyici, zehirli, korozif, toksik ve ekotoksik özellik taşıyan müsteşarlıkça tehlikeli ve zararlı atık olduğu onaylanan atıklar da tehlikeli atık olarak tanımlanmıştır (22387 sayılı resmi gazete,1995).

Bu doğrultuda “Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği” evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların (belediye atıkları) bertarafını, “Tehlikeli Atıklar Kontrol Yönetmeliği” de; zararlı ve tehlikeli atıkların depolanmasını ve bertarafını incelemektedir.

2.1.1 Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Üreticisi tarafından atılmak istenen; çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamurları; “Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği”nin 3. maddesinde “Katı atık” olarak tanımlanmıştır (20814 sayılı resmi gazete,1991).

“Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği”nin 2. maddesinde; bu tanım açıklanmış ve

- meskun bölgelerde evlerden atılan evsel katı atıkların (çöp) [konutlardan atılan, tehlikeli ve zararlı katı atık kavramına girmeyen atıklar]
- park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki artıklarının
- iri katı atıkların (buzdolabı, mobilya, vs..)
- zararlı atık olmamakla birlikte evsel katı atık özelliklerine sahip sanayi ve ticarethane katı atıklarının
- evsel atık su arıtma tesisinden elde edilen arıtma çamurlarının
- zararlı atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarının

- hafriyat toprağı ve inşaat molozlarının

katı atık olarak değerlendirildiği ve belirtilen atıkların toplanması, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi, bertaraf edilmesi ve zararsız hale getirilmesine ilişkin esasların bu yönetmelik tarafından düzenlendiği belirtilmiştir(20814 sayılı resmi gazete,1991).

Bertaraf etmek; katı atıkların, konutlarda ve iş yerlerinde; atıldıkları yerlerde geçici olarak biriktirilmesi, bu iş yerlerinden toplanması, taşınması, madde ve enerji kazanmak üzere işleme tabii tutulması (yakma, kompostlaştırma, geri kazanma); düzenli depolanması suretiyle, çevre ve insan sağlığına zararsız hale getirilmesi ve gerekiyorsa depolanma işlemlerini tanımlamaktadır (20814 sayılı resmi gazete,1991).

“Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği”nin 22.maddesinde de belirtildiği gibi; atık yönetiminde asıl amaç; evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların geri kazanılmasıdır. Geri kazanım işleminin ekonomik ve teknik olarak mümkün olmadığı durumlarda, çevre sağlığının korunması, katı atık hacminin azaltılması, kısmen enerji ve kompost elde edilmesi maksadıyla; atıklara termik veya biyolojik işlemler uygulanmaktadır. Ancak termik veya biyolojik işlemlere elverişli olmayan veya bu işlemler sonucu yan ürün olarak ortaya çıkan atıkların depolanması zorunlu olmaktadır.

2.1.1.1 Evsel Katı Atık Depo Alanına Depolanacak Atıklar ve İstisnaları

“Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği”nin Yönetmeliğin 2.maddesinde katı atık olarak tanımlanan tüm atıklar;(evsel katı atıklar (çöp), park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki artıkları; iri atıklar; evsel katı atık özelliklerine sahip sanayi ve ticarethane atıkları, vs.) hafriyat toprağı hariç evsel katı atık depolarında depolanır.

Üretilen hafriyat toprağı da belediyenin gösterdiği alanlara dökülmektedir. Hafriyat toprağının denizlere, göllere, akarsulara dökülmesi ve dolgu yapılması Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği”nin 23.maddesi uyarınca yasaklanmıştır (20814 sayılı resmi gazete, 1991).

1580 sayılı Belediye Kanunu gereğince evsel atıkları depolamak üzere inşaa edilen düzenli depolara;

1-Sıvıların ve sıvı atıkların

2-Akıcılığı kayboluncaya kadar suyu alınmamış arıtma çamurlarının

3-Patlayıcı maddelerin

4-Hastane ve klinik atıklarının

5-Hayvan kadavralarının

6-Depolanma esnasında aşırı toz, gürültü, kirlenme ve kokuya sebep olabilecek atıkların

7-Radyoaktif madde ve atıkların

8-Tehlikeli atık sınıfına giren katı atıkların

Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği'nin 22. maddesi uyarınca depolanması yasaklanmıştır.

Ayrıca Tehlikeli Atıklar Kontrol Yönetmeliği Ek-13'e göre evsel katı atık depo tesisine depolanması yasak olan atıkların özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Asit katranı
- İçinde %1'den büyük karışmayan organik bileşikler bulunduran organik çözücüler ve sulu atıklar
- İçinde %10'dan fazla su ile karışan organik çözücü ihtiva eden atıklar (jeomembran depo tesisleri için %1 olarak geçerlidir.)
- Su veya organik maddelerle hızlı reaksiyona giren atıklar
- PCBs (Poli klorürlü bifenil) >50 ppb (ug/kg)*
- PCTs (Poli klorürlü terfenil) >50 ppb (ug/kg)*
- TCDDs (Tetra klorürlü benzodioksin) >10 ppb (2,3,7,8 izomerleri için)#
- PCNs (Poli klorürlü naftalin) >50 ppm (mg/kg) ⊗
- PAH (Poli aromatik hidrokarbon) >20 ppm ⊗
- Metal organik bileşikler tamamen yasak #
- Klorürlü hidrokarbonlar >1 ppm ⊗
- Pestisit >2 ppm ⊗
- Serbest siyanür >10 ppm⊗

* AT Direktifleri

WHO Önerileri

⊗ Alman Kanunu

Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği'nde madde-32'ye göre tesisi işleten belediyeler veya belediyelerin yetkilerini devrettiği kişi veya kuruluşlar evsel katı atık niteliğinde olmayan endüstriyel atıkları depolarına kabul edemezler.

2.1.1.2 Katı Atık Depolarının İnşası

Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği'nin 25. maddesi uyarınca evsel ve evsel katı özelliğindeki endüstriyel atıklar ile bunların atıksu arıtma çamurlarını depolamak üzere inşaa edilen depo tesislerinin asgari kapasiteleri, nüfusu 100 000'den küçük olan yerleşim bölgelerinde 10 yıllık depolama ihtiyacını karşılayacak şekilde; nüfusu 100 000'den büyük olan yerlerde ise 500 000 m³ olarak planlanmalıdır.

2.1.1.2.1 Katı Atık Depo Tesislerinin Yer Seçimi

Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği'nin 24.maddesine göre, katı atık depo tesisleri:

1)- Müsteşarlık veya ilgili belediyeler tarafından içme suyu temin edilen ve edilecek olan yüzeysel su kaynaklarının korunması ile ilgili olarak çıkarılan yönetmeliklerde, çöp dökülmeyeceği ve depolanmayacağı belirtilen koruma alanlarında kurulamaz.

2) Depo tesisleri, yerleşim bölgesine en az 1000 metre uzakta inşaa edilebilir. (Ancak depo tesislerinin çevresinde tepe, yığın ve ağaçlandırma gibi tabii engeller varsa; mahalli çevre kurullarının kararı ve gerektiğinde müsteşarlığın uygun görüşü ile, belirlenen bu mesafeden yakın yerlerde de ilgili belediye ve mahallin en büyük mülki amirliğince depo kurulmasına müsaade edilebilir.)

3) Taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, heyelan, çığ ve erozyon bölgelerinde, içme kullanma ve sulama suyu temin edilen yeraltı suları koruma bölgelerine katı atık depo tesislerinin yapılmasına müsaade edilmez.

Bu alanlar işletmeye açıldıktan sonra iskana açılmayacak şekilde planlanır ve etraflarına bina yapılmasına müsaade edilmez.

2.1.1.2.2 Depo Tabanı İnşası

Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği'nin 26. maddesinde depo tesisi tabanının inşaa kriterleri verilmiştir. Buna göre; depo tabanı tabii yeraltı suyunun maksimum

seviyesinden en az 1 m yüksekte inşaa edilmelidir. Depo tabanı; kalınlığı 60 cm, geçirimsizlik katsayısı (permeabilitesi) en az 1×10^{-8} m/sn olan sıkıştırılmış kil tabaka ile geçirimsiz hale getirilmelidir. (Derinliği en az 10 m ve az çatlaklı kaya zeminlerde bu permeabilite değeri 1×10^{-7} m/sn olarak alınabilir.)

2.1.1.2.3 Drenaj

Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanmalıdır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı minimum 100 mm ve eğimi %1 olmalıdır. Dren boruları münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkartılmalı ayrıca dren boruları çevresine, boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm olan kum ve çakıl filtre yerleştirilmelidir. Toplanan sızıntı suları, Su Kirliliği Kontrolü yönetmeliğinde verilen deşarj limitlerini sağlayacak şekilde artırılmalıdır (20814 sayılı resmi gazete,1991).

2.1.1.3 Depo Sahasının Kapatılması

Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği'nin 30. maddesinde depolama işlemi tamamlandıktan sonra veya şevlerde dolgu sırasında, deponun en üstüne ve şevlere tarım toprağı serilmesi, yeşillendirilmesi, ağaçlandırılması gerekli görülmüştür. Bundaki amaç depo sahasının görünüş olarak çevreyi rahatsız etmemesi ve arazinin tekrar kullanılabilir hale getirilebilmesidir. Serilecek toprak kalınlığı dikilmek istenen bitkinin kök derinliğine göre seçilebileceği belirlenirken, yönetmelikte minimum toprak kalınlığı ile ilgili ifade bulunmamaktadır.

Depo gövdesi üzerine düşen yağmurun kısa sürede sahayı terk edebilmesi için en üst toprak tabakasının eğiminin %3'den büyük olması öngörülmüştür. Aynı yönetmelik, madde-32'de, tesisi işletenler tarafından sızıntı suyu miktarı ve özellikleri belirli aralıklarla ölçülmesi gerekliliği vurgulanmaktadır. Sızıntı suyu ölçümlerinin depo yeri kapatıldıktan sonra, 10 sene boyunca devam etmesi uygun görülmektedir.

2.1.2 Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 3. maddesi "tehlikeli atık"ı; iki şekilde tanımlanmaktadır. Atık,

- 1) Yönetmeliğin Ek-5 ve Ek-6 kısmında verilen "tehlikeli atık listesinde" yer alıyorsa
- 2) Ek-7'de tanımlanan tehlikeli özelliklerden (patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, oksitleyici, zehirli, korozif,vb.) bir veya birkaçını taşıyor veya bu atıklarla kirlenmiş bir madde ise tehlikeli atıktır. Ek-7'deki "Tehlikeli Özellikler Listesi"nden birkaç örnek Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Tehlikeli Özellikler Listesinden Örnekler (22384 sayılı resmi gazete,1995)

KOD	ÖZELLİK	AÇIKLAMA
H 1	Patlayıcı	Patlayıcı madde veya atık kendi başına reaksiyon yoluyla belli bir sıcaklık ve basınçta ve hızla gaz oluşmasına ve çevresindekilerin zarar görmesine neden olabilecek katı veya sıvı halde madde veya atıktır. (ya da maddelerin veya atıkların karışımı)
H-3	Parlayıcı :	Parlayıcı kelimesi tutuşabilen kelimesi ile aynı anlamdadır. Parlayıcı sıvılar, kapalı hazne deneyinde 60.5°C, açık hazne deneyinde 65.6°C'ın altındaki sıcaklıklarda parlayıcı bir buhar bırakan sıvılar, sıvı karışımları, çözeltide veya süspansiyonda katı madde ihtiva eden maddelerdir.
H 5.2	Oksitleyici	Kendilerinin yanıcı olup olmamasına bakılmaksızın, oksijeni verme yoluyla diğer maddelerin yanmasına sebep olan veya katkıda bulunan madde ve atıklardır.
H10	Korozif maddeler	Canlı doku ile teması halinde kimyasal olarak dokuya ciddi zararlar verebilen veya sızıntı halinde diğer mallara yada ulaştırma araçlarına zarar verebilen hatta tümüyle tahrip edebilen veya başka türden tehlikeler yaratabilen maddeler veya atıklardır.

Tablo 2.3'de Ek-5'teki genel tehlikeli atık katagorilerinden örnekler verilmiştir. Bu atık katagorileri yönetmelik Ek-6'da "Ulusal Tehlikeli Atık Listesi"nde atık kod numaraları, atık tanımı, tehlikeli özellikleri, yasal bertaraf yöntemleri, atığın muhtemel içeriği ve kaynakları verilerek özetlenmiştir.

Tablo 2.3. Genel Tehlikeli Atık Kategorilerinden Örnekler (22384 sayılı resmi gazete,1995)

KOD NUMARASI	ATIKLAR
Y1	Hastanelerden, tıp merkezlerinden kliniklerden kaynaklanan atıklar
Y6	Organik çözücülerin üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar
Y19	Metal karbonilleri içeren atıklar
Y22	Bakır bileşikler
Y31	Kurşun, kurşun bileşikler

Belirlenen bu tehlikeli atık grupları içinde ayrıca “Özel İşleme Tabii Tutulacak Atıklar” grubu oluşturulmuştur. Aşağıdaki atık türlerinin

- Tarama çamurları
- Atık yağlar
- Jips ve çeşitli yakma fırınlarından kaynaklanan küller
- Tıbbi atıklar

bu grup içinde değerlendirmeye tabii tutulacağı ve bu atıkların toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertarafına ilişkin esasların Çevre Bakanlığı tarafından belirleneceği ifade edilmiştir. Örneğin enerji sektöründe, kömür endüstrisi, kömür ve kömür ürünlerinin üretimi, hazırlanması ve elektrik üretimi; metal dışı minerallerin madenciliği ve taş ocağı işletmeciliği, atıkların toplanması ve yeniden işlenmesi; yerüstü ve yeraltı depolama işlemleri tehlikeli atık üreten aktiviteler olarak belirlenmiştir.

Yukarıda kullanılan tüm ifadeler doğrultusunda “termik santral külleri”nin Türkiye’de “tehlikeli atık” olarak nitelendirildiği ve bu yönetmelik doğrultusunda bertaraf edileceği kararına varılmaktadır. “Özel işleme tabii tutulacak atıklar” grubuna dahil edilen “termik santral külleri” yönetmelik gereği Çevre Bakanlığı tarafından belirlenmiş olan kriterler doğrultusunda işleme tabii tutulmalıdır.

2.1.2.1 Tehlikeli Atıkların Yönetimine İlişkin İlkeler

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin 5.maddesinde atıkların yarattığı çevresel kirlenme ve bozulmadan atık üreticileri, taşıyıcıları ve bertaraf edicileri, kusur şartı aramaksızın sorumlu tutulmuşlardır. Ayrıca atıkların yönetiminden kaynaklanan her

türlü çevresel zararın maddi sorumluluğu “kirleten öder” prensibine göre yine atıkların yönetiminden sorumlu olan gerçek ve tüzel kişilere yüklenmiştir.

2.1.2.2 Atıkların Bertarafına İlişkin Hükümler

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde belirtildiği gibi, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin 14. maddesinde, atıkların geri kazanılmasının ve tekrar kullanılmasının asıl amaç olduğu, ancak atıkların geri kazanılmasının ve tekrar kullanılmasının mümkün olmadığı durumlarda çevreye zarar vermeden bertaraf edilebileceği belirtilmiştir. Ek-10’da “Bildirim Formu Açıklama Klavuzu” bölümünde verilen bertaraf sistemlerinden birisi Ek-7’de belirlenen tehlikeli atık özelliklerine ve uygun teknolojilere göre tercih edilir. “Bildirim Formu Açıklama Klavuzu”nda verilen bertaraf etme ve geri kazanma yöntemlerinden bazılarına örnekler aşağıda verilmiştir.

2.1.2.2.1 Bertaraf Yöntemlerine Örnekler

- D1 Toprağın altında veya üzerinde depolama (arazi dolgusu, *landfill*, vb.)
- D2 Arazi işlemi (sıvı veya çamur atıkların toprakta biyolojik bozulmaya uğraması, vb)
- D3 Derine enjeksiyon (pompanabilir atıkların, kuyulara, tuz kaynaklarına veya doğal olarak bulunan boşluklara enjeksiyonu, vb)
- D4 *Surface impoundment*, Yüzey Barajları (sıvı veya çamur atıkların kovuklara, havuzlara, ve lagünlere doldurulması)
- D5 Özel işlemlerle arazi depolaması (üzeri kapatılmış hem birbiri ile hem de çevre ile teması kesilmiş hücrelere yerleştirme)
- D6 Denizler ve okyanuslar dışında bir su kütlelerine bırakma
- D7 Deniz dibine gömme de dahil, denizlere ve okyanuslara bırakma, vb

2.1.2.2.2 Geri Kazanım İşlemleri

- R1 Yakıt olarak kullanma (doğrudan yakma dışında) veya enerji üretimi için diğer şekillerde yararlanma
- R2 Solvent (çözücü) ıslahı, geri kazanımı

R3 Solvent olarak kullanılmayan organik maddelerin ıslahı/yeniden işlenmesi

R4 Metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı/yeniden işlenmesi

R5 Diğer anorganik maddelerin ıslahı/yeniden işlenmesi

R6 Asitlerin veya bazların geri kazanımı

2.1.2.3 Bertaraf Edenin Sorumlulukları

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 10.maddesine göre, atığın tesise girişinde bertaraf işleminden önce atığın fiziksel ve kimyasal analizini yapmak, atığın taşıma formunda belirtilen atık tanımına uygunluğunu tespit etmek bertaraf edenin sorumluluğu altındadır. Ayrıca "Atık Beyan Formu"nun 14.sorusunda; "sıvılık testi", "ekstrasyon testi", "toksikite (kanserojen) testi", "indikatör testleri" ve şirket tarafından yapılan diğer testlerin sonuçları da istenilmiştir.

Depo tesisi işletmecileri tarafından, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 36.maddesinde depo tabanının işlevini yapıp yapmadığı, yüzey ve sızıntı sularındaki miktar ve özellik değişimleri ile depo gövdesi içindeki sıcaklık değişimleri; gövdedeki oturma devamlı olarak ölçülmelidir. İzleme kuyularından periyodik olarak, işletme çalışırken her ay, kapatıldıktan sonra ise altı ayda bir gaz ve sızıntı suyu ölçümleri yapılması şarttır. Ayrıca koku ve toz çıkaran atıkların çevreyi olumsuz yönde etkilememesi için önlemler alınmalıdır.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği madde-9'da; ayda 1000 kilograma kadar atık üreten üretici, biriktirilen atık miktarı 6000 kilogramı geçmemek kaydı ile valilikten izin almaksızın atıklarını arazisinde en fazla 180 gün geçici olarak depolayabileceği belirtilmiştir. Bu durumda herhangi bir tehlike halinde arazide önlem alabilmek için en az bir kişiyi görevlendirmek ve bu kişiyi valiliğe bildirmek zorundadır.

2.1.2.4 Atıkların Depolanma Şartları

Depolama işlemi sırasında alınan önlemlerin yeterli olduğu veya atığın özelliği sebebi ile depolama işleminde çevrenin olumsuz yönde etkilenmeyeceğinin ispat edilmesi

halinde, atıklar depolanabilir veya bu amaçla depo tesisi kurulmasına Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 18. maddesi izin vermektedir. Bu durumda Ek-11A'da belirtilen sınır değerler aşılamaz (Tablo 2.4).

Atık analizleri Ek-11B'de bahsedilen DIN ve ISO standartlarına göre yapılır. Bu analizler sonucunda tablo 2.4'teki sınır değerlerini aşan atıklar, değerlendirilmesi veya çevreye olan zararlarının en aza indirilmesi amacı ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler gibi ön işlemlere tabii tutulduktan sonra depolanır. Ön işlemlere rağmen bu değerleri sağlamayan atıklar tek tür atık depo tesisinde depolanır (Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (madde-36)).

Tablo 2.4 Atıkların Yerüstü Depo Tesislerinde Depolanabilme Kriterleri (22384 sayılı resmi gazete,1995)

	Tehlikeli Atıklar	İnert Atıklar
PH	4-13	4-13
Toplam organik karbon	40-200 mg/l	<200 mg/l
Arsen	0.2-1.0 mg/l	<0.11 mg/l
Kurşun	0.4-2.0 mg/l	
Kadmiyum	0.1-0.5 mg/l	
Krom VI	0.1-0.5 mg/l	
Bakır	2.0-10 mg/l	
Nikel	0.4-2.0 mg/l	
Civa	0.02-0.1 mg/l	
Çinko		D 1.04 – D 1.10
Fenoller	20-100 mg/l	10 mg/l
Fluorür	10-50 mg/l	<5 mg/l
Amonyum	0.2-1.0 mg/l	50 mg/l
Klor	1.2-6.0 g/l	<0.5 g/l
Siyanür ²	0.2-1.0 mg/l	<0.1 mg/l
Sülfür ³	0.2-0.1 g/l	<1.0 g/l
Nitrit	6-30 mg/l	<3 mg/l
Halojenli organik bileşimler ⁴	0.6-3 mg/l	<0.3 mg/l
Tiner ve çözücü ve sökücü maddeler ⁵	0.02-0.1 mg/l Cl/l	<Cl/l
Pestisidler ⁵	1-5 ug Cl/l	<0.5ug Cl/l
Yağda çözünen maddeler	0.4-2.0 mg/l	<1 mg/l

- 1) İnert olarak sınıflandırılan atıklarının hiç bir parametresi, tehlikeli atıklar için belirlenen alt sınırı geçmemelidir.
- 2) Kolay ayrılan/uçucu
- 3) Mümkünse <500 mg/l olmalıdır.
- 4) Organik şekilde bağlı olup absorbe olan halojenlerdir.
- 5) Klorlanmış

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 18.maddesine göre; tehlikeli atıklar, evsel katı atıklardan ayrı olarak işleme tabii tutulur ve depolanırlar. Ancak Tablo 2.5'de yeralan konsantrasyon limitlerini aşmamak ve Bakanlıktan izin almak kaydı ile bu atıklar evsel katı atık depo sahalarına depolanabilir.

Tablo 2.5 Evsel Katı Atık Depo Tesislerinde Depolanmasına İzin Verilen Atık Konsantrasyonları (22384 sayılı resmi gazete,1995)

Atık Madde	Normal Uygulama Değeri
Asitler	100 eşdeğer gr/ton evsel katı atıkta
Ağır Metaller	100 gr/ton evsel katı atıkta
Zn	100 gr/ton evsel katı atıkta
Cu	100 gr/ton evsel katı atıkta
Na	100 gr/ton evsel katı atıkta
Cr+6	100 gr/ton evsel katı atıkta
Pb	100 gr/ton evsel katı atıkta
Cd	10 gr/ton evsel katı atıkta
Hg	2 gr/ton evsel katı atıkta
As.Se	1 gr/ton evsel katı atıkta
Siyanür	1 gr/m ³ evsel katı atık/günde
Fenol	5 gr/m ³ evsel katı atık/günde
Yağ/Karbonhidratlar	2.5 gr/ton evsel katı atık/günde
TOC (Toplam Organik Karbon)	10 gr/m ³ evsel katı atık/günde

2.1.2.4.1 Tek Tür Atık Depo Tesisleri

Ön işleme rağmen, Tablo 2.4'te belirtilen kriterleri sağlamayan, tek bir atık türü veya birbirine yakın özellik gösteren atıklar özel depo tesisinde depolanabilir. Bu durumda atığın, çeşidine bağlı olarak, Bakanlık, depo tesisleri için istenen asgari şartların yanında başka şartlar istemeye yetkilidir (Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, madde-19).

2.1.2.4.2 Ara Depolama Tesisleri

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 20. maddesine göre; atıkların nihai bertarafı için uygun yer bulunamaması veya depolamadan önce bazı fiziksel, kimyasal işlemlerin yapıyor olması sebebi ile atıklar ara depolarda geçici olarak depolanabilir. Ancak geçici depolama süresi bir yılı aşamaz. Zorunlu hallerde bu süre valiliğin izni ile uzatılabilir. Ara depolama tesisleri ayrı alanlarda yapılabileceği gibi, işleme tesisleri içerisinde de yapılabilir.

2.1.2.5 Depo Tesisi İnşası

Tehlikeli atık depo tesislerinin inşasında yer seçimi ve seçilen alanın jeolojisi incelenirken; depo taban ve örtü malzemelerinin özellikleri ve yerleştirilmesi de önem kazanmaktadır. Depolanma sırasında ise, depolanacak malzeme özellikleri ve dolgu metodları ile depo içindeki drenaj teknikleri göz önünde bulundurulacak kriterlerden başlıcalarıdır.

2.1.2.5.1 Depo Tesislerinde Yer Seçimi

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’de Madde-27 uyarınca; düzenli depo tesislerinin,

- karstik bölgelerde
- içme kullanma ve sulama suyu temin edilen veya edilecek olan yeraltı suları koruma bölgelerinde
- taşkın riskinin yüksek olduğu bölgelerde
- kurulmasına ve işletilmesine izin verilmemektedir.

Katı atık depolarının meskun bölgelere asgari 1000 m uzaklıkta inşasına izin verilirken, yine aynı maddede bu mesafe tehlikeli atık depoları için minimum 3000 m olarak belirlenmektedir. Ayrıca depo alanlarında gerilim hatlarının bulunmamasına dikkat edilmesi de vurgulanmıştır.

Depo tesisleri için yer belirlenmesinde; seçilecek yerin jeolojik, hidrolojik, jeoteknik özellikleri; yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu akış yönleri; mevcut ve planlanan meskun bölge ile diğer yapılaşmalar; deprem kuşakları ve tektonik koruma bölgeleri; diğer zemin hareketleri; toprak özellikleri ve kullanım durumu; hakim rüzgar yönü; trafik durumunun incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Ancak incelenecek kriterlerle ilgili sınırlamalar getirilmemiş, elde edilen dataların hangi aralıklarda değerlendirileceği konusu aydınlatılmamıştır.

2.1.2.5.2 Depo Zemini

Depo tabanı, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 28.maddesi gereğince; doğal olarak sıkışmış ve kompresibillitesi (Dpr) [Proktor; mineral sızdırmazlık tabakasında ince taneli zemin sıklığı (madde-4)] %95'den büyük, en az 3 m kalınlığında zemin üzerine yerleştirilmelidir.

2.1.2.5.3 Depo Tabanı

Tehlikeli atık depo tabanı, maksimum yeraltı su seviyesinin en az 2 m üzerinde inşaa edilmelidir. (Bu değer katı atık depoları için 1 m olarak uygun görülmüştür.)

Depo tabanının inşaa Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği madde-30'da detaylı olarak ele alınmıştır. Deponun tabanı sızıntı suyunun yeraltı suyuna karışmasını önleyecek şekilde teşkil edilmelidir. Bu amaca yönelik olarak mineral sızdırmazlık tabakası (kil) ile plastik geçirimsizlik tabakasının birlikte kullanıldığı kompost geçirimsiz bir tabaka oluşturulmalıdır. Şekil 2.1'de inşaa edilecek tabanın özellikleri verilmiştir.

Tabii zemin üzerine serilen kil tabakasının kalınlığı en az 0.90 m olmalı ve en fazla 0.30 metrelik üç katman halinde sıkıştırılarak döşenmelidir. Oluşturulan bu tabakanın permeabilitesi $k=1 \times 10^{-9}$ m/sn değerinden büyük olmamalıdır. Kil tabakasının üzerine serilen plastik geçirimsiz tabakanın (Yüksek yoğunluklu polietilen-High Density Polietilen [HDPE]) kalınlığı en az 0.25 cm olarak seçilmeli, plastik tabakanın korunması, kalınlığı en az 0.10 m olan ince kum katmanı tarafından sağlanmalıdır. Tabanın boyuna eğimi %3'den, enine eğimi %1'den küçük olmayacak şekilde eğimlendirme yapılmalıdır.

2.1.2.5.4 Drenaj sistemi

Oluşturulan bu geçirimsiz taban tabakası üzerine Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği madde-31'de belirtildiği şekilde, sızıntı sularını uzaklaştırmak amacı ile

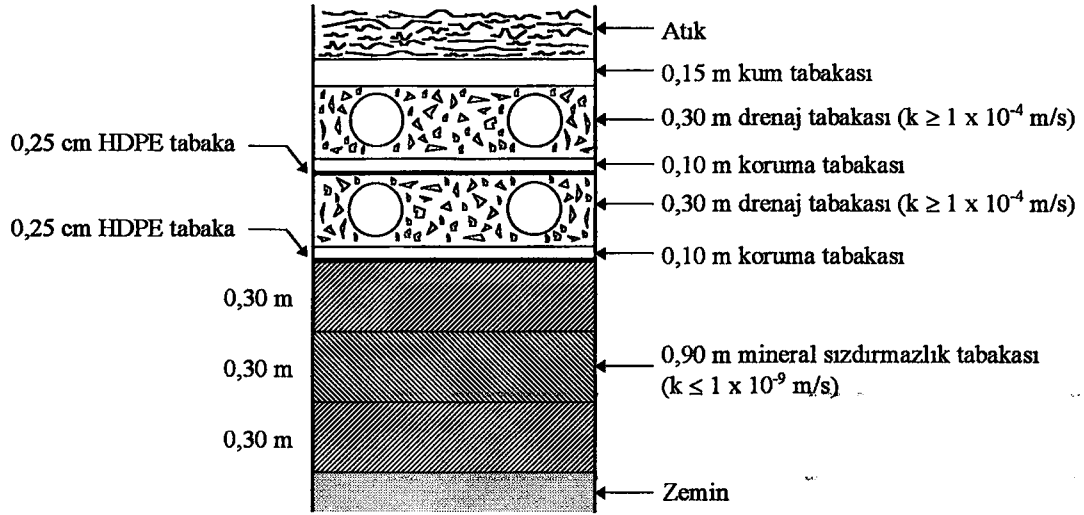
çift drenaj sistemi teşkil edilmelidir. Dren borularının içinde yer aldığı bu tabakaların her birinin kalınlığı 0.30 m olmalı, geçirimsizlik katsayısı da $k=1 \times 10^{-4}$ m/sn'den küçük olmamalıdır. Depo tabanında yeteri kadar dren borusu, ana toplayıcılar ve bacalar bulunmalı, ayrıca atığı getiren araçların geçişleri drenaj sistemine zarar vermiyecek şekilde planlanmalıdır. Toplanan sızıntı suyu 4/9/1988 tarih ve 19919 sayılı resmi gazetede yayımlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde öngörülen deşarj limitlerini sağlayak şekilde artırılmalıdır.

2.1.2.5.5 Depo Tesisinde Dolgu

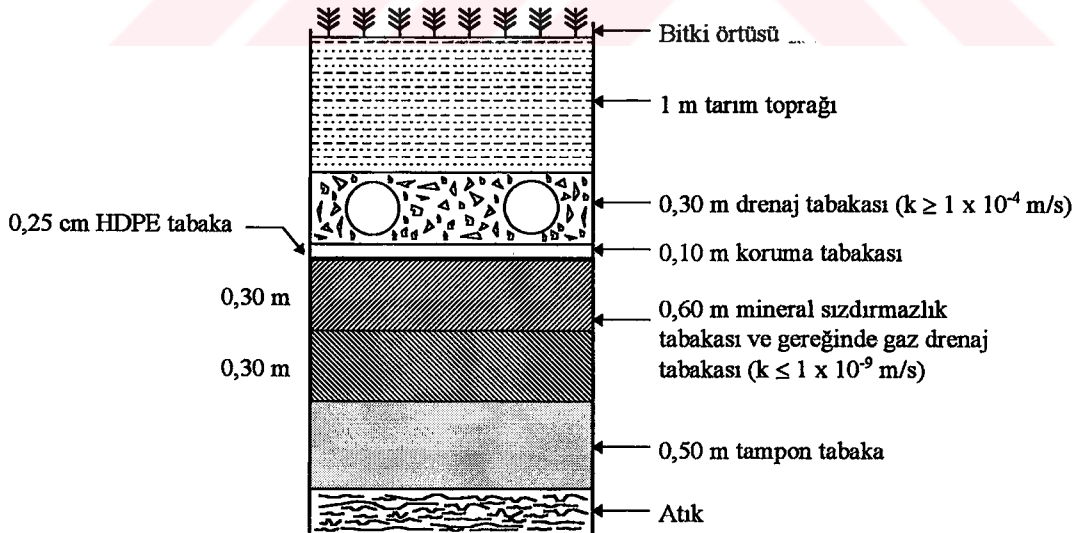
Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 32.maddesinde depo tesislerinde dolgu işleminin yapılma kriterleri verilmiştir. Depolama işleminde, atıkların veya sızıntı sularının çevreye zarar verecek şekilde, birbiri ile reaksiyona girmemesine dikkat edilmelidir. Bu nedenle bazik ve asidik reaksiyon gösteren atıkların ayrı hücrelere depolanması ve sızıntı sularının ayrı ayrı toplanması zorunlu kılınmıştır.

Dolgu süresince, depo sahasının yağmur suyu ile dolmasının önlenmesi için, atık hücrelerinin üzerinin bir çatı ile kaplanması, girebilecek yağmur suyu miktarını azaltacak önlemler alınması; hücrenin, atık ile bir defada doldurulamaması durumunda ara örtü olarak kil veya plastik ile örtülmesi ve benzer türden atıklarla doldurulacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Dolgu çalışmaları sırasında atığın oluşturduğu eğimin; şev stabilitesinin sağlayan ve makinaların kolayca manevra yapabildiği, 1/3 değerini sağlaması uygun görülmüştür. Atıkların, dolgu çalışmaları esnasında, boşluk kalmayacak biçimde sıkıştırılarak depolanması gerektiği ve atık kalınlığı en az 1 m olmadan dolgu sahasında sıkıştırma yapılamayacağı belirtilmiştir. Ancak, belirlenen bu 1 m kalınlık değerinin ne tür atıklar için uygun olduğu açıklığa kavuşturulmadığı gibi, hangi kriterlere dayandırıldığı da belirsizdir.



Şekil 2.1 Depo Tabanı Sızdırmazlık Sistemi (Resmi Gazete, Ağustos 1995)



Şekil 2.2 Depo Üst Örtüsü Sızdırmazlık Sistemi (Resmi Gazete, Ağustos 1995)

2.1.2.5.6 Depo Üst Örtüsü Teşkili

Depolama işlemi tamamlandıktan sonra, deponun üst gövdesi yüzeysel su girişini önleyecek biçimde, Şekil 2.2.'deki şartlara uygun olarak üst örtünün teşkili ile sızdırmaz hale getirilmelidir.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 33. maddesi depo üst örtüsünün teknik özelliklerini belirlenmiştir. Buna göre; atık üstündeki ilk örtü kalınlığı 0.5 m'den az olmayan homojen ve kohezyonsuz zeminden teşkil edilmeli, bunun üzerine geçirimsizlik katsayısı $k=1 \times 10^{-9}$ m/sn'den küçük olmayan en az 0.6 m kalınlığında olan kil tabaka yerleştirilmelidir. Depo tabanında kullanılan komposit tabaka gibi üst örtüde de kil tabakası ile birlikte en az 0.25 cm kalınlığında olan (HDPE) plastik tabaka kullanılmalıdır.

Üst örtüde de drenajı sağlayacak olan elemanlar bulunmalıdır. Yönetmelik gereğince; drenaj tabakası geçirimsizlik katsayısı $k=1 \times 10^{-4}$ m/sn'den küçük, kalınlığı da 0.30 m'den az olmayacak şekilde inşaa edilmelidir. Sızdırmaz tabaka üstüne tarım toprağı serilmeli; bu katmanın kalınlığı yönetmelik gereğince 1 m'den az olamak şartı ile ekilecek bitki çeşidine bağılı olarak tespit edilmelidir. Ayrıca tarım toprağında erozyonu önleyici gerekli tedbirlerin alınması da ihmal edilmemelidir.

Depo üst yüzeyi nihai eğimi, en az %5 olacak şekilde düzenlenmelidir. Ancak plastik tabaka üzerinde sürtünmeyi artırıcı ilave özellikte maddeler yoksa, eğim en fazla % 15 olacak şekilde ayarlanmalıdır.

2.1.2.6 Depo Tesisinin Kapatılması

Tesis sorumluları tarafından kapatılan sahanın civarında yeterli sayıda izleme kuyusu açılarak periyodik olarak; işletme çalışırken her ay, kapatıldıktan sonra altı ayda bir gaz ve sızıntı suyu ölçümleri yapılması Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği madde-33) ve madde-36 uyarınca şarttır. Bu nedenle 37.madde de belirtildiğı üzere kapatma işleminden sonra da bertaraf edenin sorumluluğı devam etmektedir. Ölçüm

izlemeye ilişkin raporlar, 20 yıl süreyle her yıl sonunda bakanlığa iletilmek zorundadır.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 29. maddesinde, uzun süreli çevre emniyetinin sağlanması için depo tesislerinin bulunduğu alanlar 50 yıl süre ile iskana açılması yasaklanmış ve 20 yıl boyunca denetlenmesi şart koşulmuştur.

2.1.2.7 Depo Tesisine Lisans Verilmesi

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin 23, 24 ve 26.maddeleri gereğince, bertaraf tesisi kurmak isteyen gerçek ve tüzel kişilerin, kuracakları tesislerle ilgili her türlü plan, proje, rapor, teknik veri, açıklamalar ve diğer dökümanlarla birlikte Bakanlığa başvurmaları gerekmektedir. İstenilen şartlar sağlanıyorsa tesise önlisans verilir. Önlisans verilen tesisin proje şartnamesine uygun olarak yapıldığının ve işletilme planının değerlendirilip uygunluğunun saptanması halinde bakanlıkça tesise üç yıl süre ile geçerli olan lisans verilir. Atık bertaraf tesisine inşaat ruhsatı verme yetkisi, belediye hudutları ve mücavir alan sınırları içinde belediye, bu alanların dışında ise mahallin en büyük mülki amirine aittir.

2.2 AMERİKA'DA ATIKLARLA İLGİLİ MEVZUAT

Son yirmi yıldır, birçok endüstrileşmiş ülke; atıkların oluşumunu, bertaraf edilmesini ve yönetimini denetim altına almakta ve kontrol etmektedir. Önceleri Amerika'da temel önem, atıkların azaltılmasından çok atıkların bertaraf edilmesine verilmekteydi. Batı Avrupa ülkelerindeki yönetimler ise kirlilik yönetiminde daha geniş rollere sahiptiler. Geri kazanım, tekrar kullanım ve temiz teknoloji gelişmeleriyle atıkların azaltılması asıl önem verilen konuydu. Son yıllarda Amerika'daki eyaletler de büyük miktarda ürettikleri atıklarını güvenli bir şekilde bertaraf edebilecekleri yerlerinin azaldığını farketmişler ve geri dönüşümü, atık azaltılmasını ve alternatif teknoloji gelişimini gerektiren yasalar çıkartmışlar ve çıkartmaktadırlar. Ayrıca son yıllarda toplumun çevreye artan ilgisi de değişik federal ve eyalet yasalarını beraberinde getirmiştir (Sharma ve Lewis, 1994 , s.9-18) (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

Amacı; çevre ve insan sağlığını korumak olan bu yönetmelikler; var olan atık depolama sahalarının iyileştirilmesini ve düzgün dizaynlarla kapatılmasını gerektirmektedir. Yeni atık sahaları için; konum, dizayn, inşaat, izleme ve kapatma konuları da bu yönetmeliklerde açıkça belirlenmiştir. Bütün bunlar çevresel olarak güvenli atık depolama çalışmalarıyla sonuçlanmıştır (Sharma ve Lewis, 1994, s.9-18).

2.2.1 Tarihsel Perspektif

İlk kanun 1889 Nehirler ve Limanlar Kanunu (The Rivers and Harbours Act of 1889); mühendisleri, enkazların boşaltılmasını idare etmeye yönlendirdi. Bundan sonra, federal yönetim tarafından, eyaletler arası katı atık taşınmasını düzenleyen bazı Amerikan Halk Sağlığı Servisleri (U.S.A. Public Health Service (USPHS)) yönetmelikleri yürürlüğe kondu. 1965'te; Amerikan Kongresi, katı atık yönetimi ve kaynak korunumu sistemlerini ilerletmek ayrıca; eyalet ve yerel yönetimlere; bertaraf ve korunum programlarında finansal ve teknik desteği sağlamak için "Katı Atık Bertarafı Kanunu"nu (Solid Waste Disposal Act (SWDA)), kabul etti (Sharma ve Lewis, 1994, s.1-18).

1969 yılında Uluslararası Çevresel Politika Yasası (National Environmental Policy Act) çıkartıldı ki bu, federal yönetim tarafından desteklenen veya yargılanma çerçevesinde olan tüm projeler için Çevresel Etki Raporununun (Environmental Impact Statement (EIS)) hazırlanmasını gerektiriyordu. (Çevresel etki raporu (EIS) için, biyolog, ekonomist, toprak bilimcisi, arkeolog, jeolog, toprak-kullanma plancısı, ve mühendis gibi; birçok disiplindeki uzmanların bilgileri kullanılmaktadır) 1965'teki Katı Atık Bertarafı Yasası (SDWA), 1970'te Kaynak Geri Kazanım Yasası (Resource Recovery Act) olarak değiştirildi. A.B.D. Çevre Koruma Kuruluşu, EPA, (The U.S. Environmental Protection Agency) 1970 yılında kuruldu ve tüm katı atık yönetimi işlemleri USPHS'den USEPA'ya devredildi. 1976 yılında Kaynak Korunumu ve Geri Kazanım Yasası, RCRA, (Resource Conservation and Recovery Act) kabul edildi. Bu yönetmelikte USEPA halka; katı atık yönetimi için bir çok kılavuz sundu ve bunlar katı atık yönetiminde uzun vadeli etkiler ile sonuçlanmıştır (Sharma ve Lewis, 1994, s.1-18).

Kontrol edilemeyen tehlikeli atık sahalarındaki problemlerin çözümlerini bulmak ve bu çözümleri ödemeyi sağlamak için 1980'de Tam Kapsamlı Çevre Temizleme, Zarar Ödeme ve Yasal Sorumluluk Kanunu, (bu yasa Superfund olarak da isimlendirilir) CERCLA, (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) yürürlüğe kondu. Bu yasa aktif veya kapalı olsun zararlı atıkları içeren veya tehlikeli atık kaynağı olarak gösterilen, tüm kontrolsüz tehlikeli atık sahalarını, kontrolsüz evsel katı atık depolarını, MSWLF, (municipal solid waste landfill) kapsamaktadır(Sharma ve Lewis, 1994, s.1-18)

Aşağıda 19.yüzyıl itibarı ile geliştirilen federal mevzuatın bir özeti sunulmuştur(Sharma ve Lewis, 1994, s.1-18).

Yönetmelik Adı	Yıl	Yasanın İçeriği
Nehirler ve Limanlar Kanunu (River and Harbours Act)	1899	Gemilerin işletildiği sularda ve komşu kıyılara enkazların, molozların dökülmesini düzenlemek
Katı Atık Bertarafı Yasası (SWDA) (Solid Waste Disposal Act)	1965	Katı atık yönetimi ve kaynak iyileştirme sistemlerinin inşaaı ve uygulaması ile havayı, suyu ve karasal kaynakları korumak ve kalitesini arttırmak
Ulusal Çevre Politikası Kanunu (NEPA) (National Environmental Policy Act)	1969	Bakanlık ofisinde, Çevresel Kalite Konsültünü (Consil of Environmental Quality) oluşturmak; Otoritesi altında olan her federal kurumu; sponsorluğunu yaptığı veya yargılama çerçevesi içinde olan her proje için Çevresel Etki Raporu (EIS) Environmenntal İmpact Assesment) hazırlanmasını zorunlu hale getirmek
Kaynak Geri Kazanım Yasası (RCRA) (Resource Recovery Act)	1970	Ulusal katı atık yönetimi; bertaraf etmekten ziyade geri kazanılabilir materyalleri geri döndürmeye, tekrar kullanıma veya atığı enerjiye döndürmeye kaydırmak
Kaynak Korunumu ve Geri Kazanım Yasası (RCRA) (Resource Conservation and Recovry Act)	1976	Hem evsel hemde tehlikeli atıkların depolanması, işlenmesi ve bertarafı için; kılavuzlar ve standartların tamamlanması için yasal tabanı sağlamak
Tam Kapsamlı Çevre İslah, Zarar Ödeme ve Yasal Sorumluluk Kanunu (CERCLA) (Comprehensive Environmental Responce, Compensation and Liability Act)	1980	Kontrolsüz tehlikeli atık depolama sahalarındaki problemlere cevap vermek ve bu cevapları ödemeyi sağlamak

2.2.2 Kaynak Korunumu ve Geri Kazanımı Kanunu “RCRA” (Resource Conservation and Recovery Act 1976)

Mineral endüstrisinin ürettiği atıkları da içine alan katı atık yönetimi ile ilgili yönetmelikler “Kaynak Korunumu ve Geri Kazanma Kanunu 1976” “RCRA” (Resource Conservation and Recovery Act 1976) otoritesi altındadır. RCRA sağlığı ve çevreyi korumak amaçlı, atıkların karasal alanlara depolanmasını “beşikten mezara” bir yönetimle yapmak için hazırlanmıştır. Kanunun amacı; çevrenin ve sağlığın, değerli materyallerin ve enerji kaynaklarının korunmasını sağlamaktır. Temiz Hava Yasası (Clean Air Act), Temiz Su Yasası (Clean Water Act) ile birlikte RCRA havanın, suyun ve toprağın korunması için geliştirilen üçüncü kritik çevre yasasıdır (Kaas ve Paar, 1992) (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18)

Bu yasa, “EPA” Çevre Koruma Teşkilatı (Enviremental Protection Agency) tarafından yönetilir. RCRA’ya açıklık getiren kurallar Federal EPA Yönetmelikleri “40 CFR” de (Title 40 of the Code of Federal Regulations) açıklanmıştır. EPA’nın hazırladığı federal yönetmelikler, katı atık programlarının eyalet düzeyinde yürütülmesini sağlar. Her eyalet, bu doğrultuda yönetmelik programını kendi özelliklerine göre geliştirir ve uygular (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18) (Sharma ve Lewis, 1994, s.1-18)

RCRA yönetmelikleri; “Altbaşlık-D yönetmelikleri”(Subtitle-D Regulations) ve “Altbaşlık-C yönetmelikleri” (Subtitle-C Regulations) olmak üzere iki ana başlık altında incelenir. Atık eğer zararsız ise, RCRA’nın “Altbaşlık-D yönetmelikleri” geçerli olurken; tehlikeli atıklar ise RCRA’nın “Altbaşlık-C yönetmeliği” altında incelenmektedir.

2.2.2.1 Altbaşlık-D Yönetmeliği (Subtitle-D Regulations)

RCRA’nın “Altbaşlık-D yönetmeliği”, tehlikeli olmayan atıklarla ilgili hükümleri içerir. Genel olarak, insan ve çevre sağlığını temin edebilmek için, bütün belediye atık depoları “MSWLF” (Municipal solid waste landfills) için minimum ulusal kriterleri belirler. Bu kriterler 40 CFR 258 “Belediye Atık Depoları İçin Kriterler” (Criteria for

Municipal Solid Waste Landfills) yönetmeliğinde toplanmıştır ve bu kurallar; varolan depolara, yeni depolara veya uzantılarına uygulanmaktadır. 40 CFR 258'de konum sınırlamaları, operasyon kriterleri, dizayn kriterleri, kapatma ve kapatma sonrası koruma, finansal garanti kriterleri ele alınmıştır(40 CFR 258.1) (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18) (Sharma ve Lewis, 1994, s.1-18).

2.2.2.1.1 Konum Sınırlamaları

Belediye atık depo konumlarının belirlenmesinde bölgenin jeolojik özellikleri ve çevre yerleşimi ile olan ilişkisi önemlidir. Bu nedenle depo konumuna getirilecek sınırlamalarda aşağıdaki şartlar gözönüne alınmaktadır.

Havaalanı Güvenliği (40 CFR 258.10)

Depolar turbojetler tarafından kullanılan hava alanı pistlerine 3000m (10.000 feet), piston tipli uçaklar tarafından kullanılan pistlere 1500 m (5000 feet) uzakta inşa edilmeli ve kuş tehlikesi yaratmayacak şekilde dizayn edilip çalıştırıldıkları ispat edilmelidir.

Hava alanlarına (jumbo jet ve piston tipli uçaklar için) 8 km (5 mil) yarıçaplı bir alan içinde belediye atık deposu kurmayı planlayan operatör veya işletme sahibi etkilenmiş havaalanını bildirmek ve Federal Havacılık Yönetimini bilgilendirmek zorundadır.

Taşkın Alanları (Floodplains) (40 CFR 258.11)

100 yıllık taşkın alanları içinde yer alan belediye atık depolarının sahipleri ve operatörleri, bu ünitenin 100 yıllık seli kesmiyeceğini, sınırlamayacağını, sel alanının geçici su toplama kapasitesini azaltmayacağını, atıkların sel suları sonucu insan sağlığına ve çevreye zarar verecek şekilde taşınmayacağını kanıtlamalıdır.

Taşkın alanları (Floodplain) : 100 yıllık sel suları altında kalmış, düşük kottaki, iç sular ve kıyılal sulara bitişik düz alanlar; deniz ötesi adaların sele uygun alanları olarak

tanımlanırken; 100 yıllık sel; herhangi bir yıl içinde %1 gerçekleşme şansı olan sel, veya 100 yıl gibi uzun bir zamanda bir kere gerçekleşme şansı olan sel olarak tanımlanmıştır.

Bataklıklar (Wetlands) (40 CFR 258.12)

Bataklıklarda belediye atık depolarının kurulması yasaklanmıştır. Ancak deponun inşası ve operasyonu, eyalet suları kalite standartlarının, bozulmasına neden olmayacak; Toksik Sızma Standartlarını ve Temiz Su Yasasını bozmayacak; Azalmakta Olan Türler Yasası (Endangered Species Act) ile korunan kritik habitat için tehlike yaratmayacak, Deniz Koruma ve Araştırma ve Sığınak Yasası'nı (Marine Protection Research and Sanctuaris Act) bozmayacak şekilde olduğu ispat edilirse bu bölgelerde depoların kurulmasına izin verilebilir.

Fay Bölgeleri (40 CFR 258.13)

Belediye atık depoları Holosen zamanlı olan bir faya minimum 60 m (200 feet) uzakta inşaa edilmelidir. Operatör veya işletme sahibinin belediye atık depolarının yapısal bütünlüğünün korunacağını, çevre ve insan sağlığı için herhangi bir sorun oluşturmayacağını ispat etmesi durumunda, deponun faya 60 m'den daha az bir mesafede kurulmasına izin verilebilir. (Holosen; Kuvaterner periyodun son çağıdır, Pleyistosen devrinin sonlarından günümüze kadar uzanır.)

Sismik Etki Zonu (40 CFR 258.14)

Belediye atık depoları sismik etki zonlarında yer almamalıdır. Ancak operatör eyalet başkanına, depo içindeki tüm kirlenmiş yapıların; astarlar, liç toplama sistemleri ve yüzey suyu kontrol sistemleri de dahil olmak üzere, zemindeki (lithified earth material) maksimum yatay harekete dayanıklı inşaa edildiğini ispatlatladığı takdirde, bu şart yumuşatılabilir.

Sismik etki zonu; yerçekiminin yüzdesi olarak ifade edilen, maksimum yatay

ivmelenmenin (g); %10 veya daha fazla olasılıkla; 250 yıl içinde 0.10 g'yi geçeceği alanlardır.

Zemindeki maksimum yatay ivmelenme: %90 veya daha büyük olasılıkla 250 yıl içinde artmayacağı tahmin edilen maksimum yatay ivmelenmenin zarar haritasında işlenmiş halidir, ya da beklenen maksimum yatay ivmelenmenin inceleme alanındaki, sismik risk araştırmalarına dayandırılmış tahminleridir.

Lithified earth material: Bütün kayaları; doğal olarak oluşan veya oluşmuş olan agregaları, mineral kütlelerini, magmanın kristalleşmesi veya gevşek sedimanlarının parçalanması sonucu oluşmuş eski kaya parçalarını içerir. Bu terim, insan yapısı materyalleri, dolgu, beton, asfalt veya konsolide oluşmuş toprağı içermez.

Duraysız Alanlar (Unstable Areas)(40 CFR 258.15)

İşletme sahibi veya operatörler, duraysız bölgelerdeki depoların yapısal bütünlüğünü sağlayan depo dizaynı ile ilgili mühendislik önlemlerinin bozulmayacağını temin etmekle yükümlüdür. Operatör bir arazinin duraysız olup olmadığını belirlemek için, jeolojik ve jeomorfolojik, şartları incelemelidir.

2.2.2.1.2 Operasyon Kriterleri

Belediye atık deposu sorumluları, faaliyetleri içinde yasal tehlikeli atıkların depolanmasını önleyecek şekilde önlem almakla yükümlüdürler. (Yasal tehlikeli atıklar, 40 CFR 261.3'te tanımlanan ve 40 CFR 261.4(b) veya 261.5'te tariflenen küçük ölçekli üretici ürünü olarak tehlikeli atık tanımından çıkartılmamış atıklardır.) Ayrıca 40 CFR 258.28 bölümünde şlam halinde veya konteynere konmamış sıvı atıklar belediye atıkları deposuna konamazlar. Septik atık dışındaki evsel atıklar bunun dışında tutulur.

Örtü Malzemesi Şartları (40 CFR 258.21)

Belediye atık sorumluları her operasyon gününün sonunda, yangın, koku, hastalık yayıcıları (böcek, sinek, fare, vs), çöplerin uçması, çöplerin hayvanlar tarafından taşınması gibi istenmeyen olayların önlenmesi için dökülmüş atıklarını en az 15 cm (6 inç) örtü malzemesiyle her iş günü sonunda, eğer gerekli ise daha sık aralıklarla; kapatmak zorundadır.

Patlayıcı Gazlar Kontrolü (40 CFR 258.23)

Belediye atık deposu sorumluları, depo yapılarında (gaz kontrol ve toplama sistemleri hariç) oluşan metan gazının (CH_4) değerinin, metan için “En Alt Patlama Sınırı”nın (Lower Explosive Limit (LEL)) %25’ini aşmamasına dikkat etmekle ve rutin gaz ölçümleri almakla yükümlüdürler. (En alt patlama sınırı; atmosferik basınçta ve 25°C sıcaklıkta alev üretebilecek, havadaki patlayıcı gazlar karışımının hacimce en düşük yüzdesidir.)

Giriş/Çıkış Suyu Kontrol Sistemleri (40 CFR 258.26)

Belediye atık deposu sorumluları, giriş (run-on) kontrol sisteminin, arazi depolamasının aktif bölümüne gelen 25 yıllık fırtınanın pik boşalımdan koruyacak şekilde; çıkış (Run-off) kontrol sisteminin ise; deposunun aktif kısmında, en az 24 saat, 25 yıllık fırtına sonucu oluşan su hacmini toplayacak ve kontrol edecek şekilde olmasını garanti etmelidir. (çıkış “run-off”; faaliyetin herhangi bir yerinden, sızan yağmur suyu, liç, sızıntı, diğer sıvılar; giriş run-on ise, faaliyetin herhangi bir yerine akan yağmur suyu, liç veya toprağa gelmiş diğer sıvı malzeme olarak tanımlanmıştır.)

Bunların dışında operasyon kriterleri bölümlerinde; depo işleticileri hastalık dağıtıcıların kontrolünden sorumlu tutulmuşlardır. Ayrıca hava kalitesi, yüzeysuyu ve kayıt tutma ile ilgili kriterler verilmiştir.

2.2.2.1.3 Dizayn Kriterleri (40 CFR 258.40)

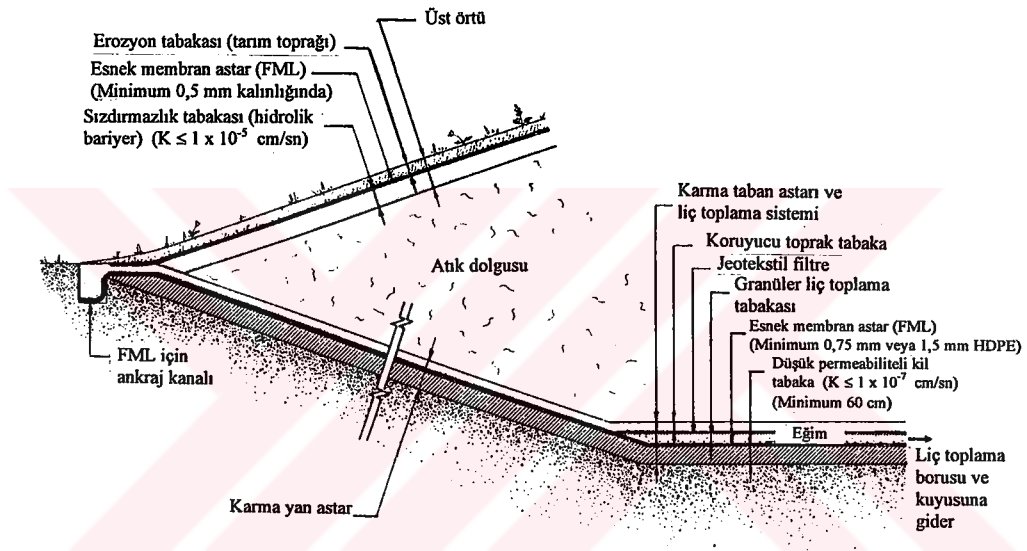
Eyalet yöneticisi tarafından belirlenen uygunluk noktasında, üst akiferde, Tablo 2.6'deki konsantrasyon değerleri aşılmamalıdır. Bu nokta atık ünitesi sınırından 150 m'den daha uzak olmamalı ve işletme sahibi arazisi içinde yer almalıdır. Uygunluk noktası belirlenirken dikkat edilecek faktörler:

- Faliyetin ve çevre arazisinin hidrojeolojik karakteristiği
- Liçin hacmi, fiziksel ve kimyasal karakteristiği
- Yeraltı suyunun akış yönü, miktarı ve kalitesi
- Yeraltı suyu kullanıcılarının yakınlık ve geri alma oranları
- Alternatif içme suyu kaynaklarının kullanılabilirliği
- Yeraltı suyunun şimdiki kalitesi, diğer kirlilik kaynakları ve yeraltı suyuna kümülatif etkileri. Yeraltı suyu kullanılıyor mu veya içme suyu olarak kullanılması düşünülüyor mu
- Halk sağlığı, güvenliği ve sağlık etkileri
- İş sahibi veya operatörün uygulayabilirlik faaliyeti

Tablo 2.6. En üst Akiferde Maksimum Bileşik Konsantrasyonu (CFR 258.40)

Kimyasal	Maksimum Konsantrasyon (mg/l)
Arsenik	0.05
Baryum	1.0
Benzen	0.005
Kadmiyum	0.01
Carbon Tetrachlorid	0.005
Krom(hexavalent)	0.05
2,4- Diklorofenoksi Asetik Asit	0.1
1,4-Diklorobenzen	0.075
1,2-Dikloroethan	0.005
1,1-Dikloroetilen	0.007
Endrin	0.0002
Florit	4.0
Lindane	0.004
Kurşun	0.05
Civa	0.002
Metoksiklor	0.1
Nitrat	10.0
Selenyum	0.01
Gümüş	0.05
Toxaphane	0.005
1,1,1-Triklorometan	0.2
Trikloroetilen	0.005
2,4,5- Triklorofenoksi Asetik Asit	0.01
Vinil Klorit	0.002

Deponun tabanında inşaa edilen karma astar, iki bileşenden oluşmuştur. Üst bileşen 0.7 mm (30 mil) kalınlığındaki esnek membran “FML” (flexible membrane liner), alt bileşen de en az 60 cm (2 foot) kalınlığında permabilitesi 1×10^{-7} cm/sn’den büyük olmayan kompakt (sıkıştırılmış) kil malzemedir. FML bileşenlerinden yüksek yoğunluklu polietilen malzeme ise “HDPE” (High Density Polyethylene) en az 1.4 mm (60 mil) kalınlığında olmalı ve FML toprak ile direkt ve düzgün kontak oluşturmalıdır. Depo tabanında yerleştirilen karma astar üzerinde, 30 cm’den daha az liç oluşmasını temin edecek liç toplama sistemi oluşturulmalıdır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Belediye Atık Depoları için Altbaşlık-D Yönetmeliği Taban ve Örtü Astar Sistemleri (Sharma ve Lewis, 1994)

2.2.2.1.4 Kapatma Kriterleri (40 CFR 258.60)

Belediye atık depolarının sahipleri veya operatörleri, erozyonu ve sızmayı minimuma indirecek şekilde dizayn edilmiş son örtüyü yerleştirmekle yükümlüdürler. Son örtünün inşaa ve dizayn kriterleri aşağıda verilmiştir (Şekil 2.3):

- 1) Permeabilitesi, en az taban astarının permabilitesi kadar veya daha az olmalı yahut bu değer 1×10^{-5} cm/sn’den daha büyük olmamalıdır.
- 2) Kapalı deponun içine sızıntıyı minimuma indirebilmek için, 45 cm (18 inç) kalınlığında toprak materyalden oluşan sızıntı tabakası (erozyon tabakasının altına

yerleştirilen) kullanılmalıdır.

3) Minimum 15 cm (6 inç) kalınlığında bitki yetiştirmeye uygun topraktan oluşan erozyon tabakası kullanılıp son örtünün erozyonu azaltılmalıdır.

2.2.2.1.5 Kapatma Sonrası Koruma Kriterleri (40 CFR 258.61)

Belediye atık depolarının kapatılmasından sonra operatör veya işletme sahibi, kapatma sonrası koruma planı yapmak zorundadır. Bu plan 30 yılı kapsamaktadır. Belediye atık deposu işletmecileri son örtünün bütünlüğünü ve etkinliğini korumak zorundadırlar. Bunun için gerekirse; sübsidansın, erozyonun ve diğer olayların etkilerini düzeltmek için tamir yapmak; giriş-çıkış suyunun erozyona neden olmasını veya örtüye zarar vermesini önlemekle yükümlüdürler. Ayrıca 40 CFR 258.40'ta belirlenen gibi liç toplama sistemini yapmak ve çalıştırmak zorunluluğundadır. Oluşan liçin çevre ve insan sağlığı için bir tehdit oluşturmadığı kanıtlanabilir ise; yetkililer işletmecilerin liç yönetimini terketmesine izin verilebilir. Bunun yanı sıra işletmeciler yeraltı suyu izleme bölümünde bahsedildiği şekilde yeraltı suyunu izlemek ve yeraltı suyu gözlem sistemini yönetmekle; gaz-izleme sistemini yönetmek ve çalıştırmakla yükümlü tutulmuşlardır.

Belediye atıkları ile ilgili bu 40 CFR 258 yönetmeliğinde ayrıca yeraltı suyu izleme ve düzeltme; finansal sigorta kriterlerinden de bahsedilmiştir.

2.2.2.2 Altbaşlık-C Yönetmelikleri (Subtitle-C Regulations)

RCRA'nın Altbaşlık-C Yönetmelikleri, tehlikeli atıklarla ilgili yönetmelikleri kapsar. Buna göre atık:

- 1) 40 CFR 261 Ek-VIII'de listelenmiş organik veya inorganik bileşikleri içeriyorsa,
- 2) 40 CFR 261.21-263.24'te anlatılan yanıcılık, korozivite, reaktivite ve toksisite özelliklerinden birini veya birkaçını taşıyor ise; atık tehlikeli olarak nitelendirilir (Oweis ve Khera, 1990, s.1-18).

2.2.2.2.1 Tehlikeli Atıklar

Listelenmiş Atıklar

40 CFR 261'de Ek-VIII'de listelenen organik veya inorganik içeriğe sahip olan atıklar tehlikeli atık listesinde yer alır. Listelenmiş her spesifik atığa EPA tarafından tehlikeli atık kod numarası verilmiştir. Bu numaralar kayıt tutmada, atık bildirim kriterleri için kullanılır. Bu kod numaraları zararlı atık bertarafı, taşınması, depolanması yönetmeliklerinin birer parçasıdır. Tehlikeli atıklar; Yanıcı atık (I) (Ignitable waste); Korozyif atık (C) (Corrosive waste); Reaktif atık (R) (Reactive waste); Toksik atık (T) (Toxic waste), şiddetli toksik atık (H) (Acute Toxic Waste) olarak kodlandırılmışlardır (40 CFR 261.30).

Listelenmiş bu tehlikeli atıklar; spesifik kaynaklı olmayan genel atıklar, spesifik kaynaklı atıklar ve şiddetli tehlikeli atık gruplarından oluşmuştur (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18)

Spesifik kaynaklı olmayan tehlikeli atıklar, 28 kaynaktan meydana gelmekte ve metal işleme atıkları, yaygın çözücüler, gibi atıkları içermektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18)

Spesifik kaynaklı olmayan atık; aynı atığın tek bir proses sonucu değil de, değişik üretim proseslerinde ve endüstrilerde de üretildiğini ifade etmektedir. Örneğin ksilen (EPA F001) hem ilaç, boya hem de kozmetik üretimi ile ilgili endüstrilerden kaynaklanabilmektedir. Bu atıklara örnekler tablo 2.7'de verilmiştir (Rhyner ve diğerleri; 1995 s. 365-375)

Spesifik kaynaklı olan atıklar, 85 kaynaktan oluşmaktadır. Organik kimya endüstrisi, ağaç koruyucuları malzemeleri gibi. Spesifik kaynaklı atık, sadece belirli kaynaklardan üretilen zararlı atıkları ifade etmektedir. Örneğin; kreosol veya pentaklorofenol kullanan ağaç koruma endüstrisi tarafından üretilen atıklar, şamlar ancak bu endüstri tarafından üretilmektedir. Bu atıklara örnekler tablo 2.8'de verilmiştir (Ryner ve

diğerleri; 1995 s. 365-375) (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18).

Tablo 2.7 Spesifik Kaynaklı Olmayan Tehlikeli Atıklara Örnekler (40 CFR 261.31)

EPA Atık Numarası	Tehlikeli Atık	Atık Kodu
F001	İndirgemedede kullanılan halojen çözücülerini kullanır; tetrakloroetilen, trikloroetilen, metilen klorid, 1,1,1-trikloroetan, karbontetraklorid, klorlufluorokarbonlar, İndirgemedede kullanılan çözücülerin bütün karışımları kullanılmadan önce, toplam hacmin %10'u kadarı, yukarıda sayılan halojen çözücülerden ve F002,F004,F005'ten bir veya daha fazlasını içerir.	(T)
F004	Halojen olmayan çözücülerini içerir; kreso, kresilikasit, nitrobenzen. Kullanılmadan önce; karışımlar toplam hacmin %10'u kadar yukarıda sayılan bileşikler, F001, F002, F005 'teki maddelerden içerebilir.	(T)

Tablo 2.8 Spesifik Kaynaklı Tehlikeli Atık Örnekleri (40 CFR 261.32)

EPA Atık Numarası	Tehlikeli Atık
<u>Ağaç Korunumu</u>	
K001	Pentoklorofenol veya kreozak kullanılan, ağaç koruma prosesleri sonucu oluşan atık sularının işlenmesi sonucu oluşan, dip şlamı
<u>İnorganik Pigmentler</u>	
K002	Krom sarı ve turuncu pigmentlerin üretimi sonucu oluşan atıksu işlem şlamı
K004	Çinko sarı pigmentlerin üretim sonucu oluşan atık su işlem şlamı
<u>Organik Kimyasallar</u>	
K010	Etilenden Asetilaldehit üretimi sonucu distilasyon curufu
<u>Patlayıcılar</u>	
K044	Patlayıcı üretimi ve prosesi sonucu oluşmuş atık su işlem şlamı
K047	TNT operasyonlarından pembe veya kırmızı su
<u>Petrol Rafineri</u>	
K048	Petrol rafineri endüstrisinden flotasyon atıkları

En son grup ise; 663 ürün içermektedir. Bu grup da çok tehlikeli atık (197 ürün) ve toksik atık (466ürün) olarak sınıflanmıştır (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18)

Tablo 2.9 Çok Tehlikeli Ticari Kimyasal Ürün ve Yarı Ürün Örnekleri (40 CFR 261.33)

EPA Numarası	Madde	Kod
P063	Hidrojen Siyanür	(H) (Acutely)
P056	Florin	(H)
P021	Kalsiyum Siyanür	(H)

Şiddetli zararlı atık olarak belirlenen bu atıkların ufak bir miktarı bile, diğer tehlikeli atıkların büyük miktarı kadar sıkı bir şekilde yönetilir. Şiddetli tehlikeli atıklara örnekler Tablo 2.9’da verilmiştir (Rhyner ve diğ., 1995 s. 365-375).

Toksik olarak sınıflanan atıklar; naftalin, fenol, aseton, benzen, trikloroetilen gibi atıkları içermektedir. Toksik atıklara örnekler Tablo 2.10’da verilmiştir. Bu tip atıklar ancak atıldıkları takdirde tehlikeli olarak kabul edilirler. Bu tip atıklar depolandıklarında veya herhangi bir ürünün oluşturulmasında kullanıldıklarında zararlı atık olarak değerlendirilmemektedir (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18).

Bu içerikleri test edebilmek için, EPA organik ve inorganik kimyasal maddeler için test metodları belirlemiştir (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18)

Tablo 2.10 Toksik Kimyasal Ürün Örnekleri (40 CFR 261.33)

EPA Numarası	Madde
U002	Aseton
U019	Benzen
U044	Kloform
U043.	Vinilklorid

Spesifik Kriterler

Bir katı atık yanıcı, korosif, reaktif veya “EP toksik” olarak tanımlanan spesifik özelliklerden birini veya birkaçını taşıyor ise tehlikeli atık olarak değerlendirilir.

Yanıcılık Karakteristiği (Characteristic of Ignitability)

Yanıcı atıklar, çabucak tutuşma veya düşük sıcaklıklarda kendiliğinden yanma eğilimleri nedeni ile yanma zararı verirler. Bu maddeler ayrıca patlama, toksik partiküller ve gazlar çıkartma riski de taşımaktadırlar. Örnek olarak; organik çözücüler-benzen, toluen, yağlar, yumuşatıcılar ve boya ve vernik çıkartıcıları verilebilir (Ryner ve diğerleri; 1995, s.365-375).

Katı atığın tanımlanan örneği sıvı halde veya hacim olarak %24'ten az alkol içeren sulu bir solüsyonsa ve tutuşma noktası 60°C'den (140° F) düşük ise yanıcı olarak tanımlanmıştır. Sıvının bu özelliği ASTM Standartı D-93-79 olarak tanımlanan "Kapalı Kap Testi" (Close Cup Tester) ile belirlenmektedir (40 CFR 261.21).

Eğer atık sıvı değilse; standart sıcaklık ve basınç altında sürtünme olmadan, nem alma veya doğal kimyasal değişikliklerden dolayı yanabiliyorsa ve yandığı zamanda inatla ve güçlü bir şekilde yanarak çevreye zarar veriyorsa yanıcı maddedir.(40 CFR 261.21)

Korozivite (Characteristic of Corosivity)

Eğer belirlenen numune solüsyon ise; pH değeri 2 ile 12.5 arasında ($2 \leq \text{PH} \leq 12.5$) değişiyorsa korozif olarak tanımlanmıştır. Ya da numune sıvı ise ve çeliği de (SAE 1020), 55°C (130°F) test sıcaklığında yılda 6,35 mm (0.25inç) aşındırıyorsa korozif olarak tanımlanır. (Ulusal Korozif Mühendisliği Birliği (Association of Corrosion Engineers (NACE) tarafından belirlenen standartlar TM-01-69) Sıvı kısım içermeyen atıklar için bu şartlar geçerli değildir. Yüksek alkali bileşikler, kostik soda veya kuvvetli asitler, sülfürik asit, nitrik asit gibi maddeler korozif maddelere örnek olarak verilebilir (Ryner ve diğerleri; 1995 s. 365-375) (40 CFR 261.22).

Reaktiflik Özelliği (Characteristic of Reactivity)

Eğer atık aşağıdaki özellikleri gösteriyorsa reaktiftir (40 CFR 261.23);

- 1) Normalde stabil değildir ve patlama olmadan şiddetli değişikliğe uğrar.
- 2) Suyla şiddetli reaksiyona girer ve suyla potansiyel olarak patlayıcı karışımlar oluşturur.
- 3) Suyla karıştırıldığında, insan sağlığına ve çevreye zarar verebilecek miktarda toksik gaz ve duman oluşturur.
- 4) Siyanür veya sülfid içeren atıktır. Ph değeri 2 ile 12.5 arasında tutulduğunda insan ve çevre sağlığına zarar verebilecek miktarda toksik gaz, buhar ve duman oluşturur.
- 5) Kuvvetli bir ısı kaynağı ile temas ederse veya kapalı bir kap içinde ısıtılırsa

patlayabilir veya patlayıcı reaksiyon oluşturabilir.

6) Standart sıcaklık ve basınç altında patlamaya veya patlayıcı bir bozunmaya veya reaksiyona uygundur.

Toksisite Özelliği (Toxicity Characteristic)

Toksisite, yutma, nefes alma, bedenin herhangi bir bölümünden absorblanma yolu ile, insanlarda hastalık ve incinmelere yolaçacak maddelerin kapasitesidir . Bu tip bir atıkla karşılaşmak kronik veya akut bir sağlık sorununa neden olur. Örnek olarak, ağır metaller- arsenik, kadmiyum, çinko, civa ve birçok sentetik organikler- böcek, bitki ilaçları, PCB'ler ve çözücüler verilebilir (Rhyner ve diğerleri; 1995, s. 365-375).

Bir atık, karakteristiği nedeniyle veya "Toksisite Karakteristik Liç Prosedürü (Toxicity Characteristics Leaching Procedure(TCLP))" testine dayanılarak toksik olarak tanımlanabilir. Bu testte atık örnekleri, arazi depolarındaki liç olayını simultene etmek için, asidik solüsyonlar ile işleme tabii tutulur. 24 saat sonra, süzülen kısım, toksik bileşikler açısından Tablo 2.11'deki değerleri geçip geçmediğini belirlemek için analiz edilir. Bu değerler aşılmış ise atık toksik olarak tanımlanır. Tablodaki bu değerler içme suyu limit değerlerinin 100 katıdır (Oweis ve Khera, 1990) (Rhyner ve diğ,1995).

Tehlikeli atık ve toksik atık deyimleri birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Ancak RCRA bunların arasında kesin bir ayırım yapmıştır. RCRA' ya göre, belirlenen birçok zararlı karakteristiktan herhangi birini sağlayan atık, tehlikelidir. Toksisite ise bu karakteristiklerden sadece bir tanesidir (Rhyner ve diğ.; 1995 s. 365-375).

Konsantrasyonların belirlenmesi "Çıkarma Prosesi" (Extraction Procedure(EP)) adı verilen toksisite testlerine dayanır. 100 gr numune, sıvı ve katı kısımlarına ayrılır. Katı kısım, ağırlığının 16 katı oranında iyonize olmayan suyla birlikte (pH'ı 5 ± 0.2 yapabilmek için gerekiyorsa 0.5N asetik asit eklenir) ayırıcıya konulur ve 24 saat boyunca karışımın çalkalanmasıyla ekstraksiyon sağlanır. Daha sonra iyonize olmayan su eklenir. Ayırıcıdaki numune, sıvı ve katı fazlarına filtre yöntemi ile ayrılır. Ayrılan

kısım içerdığı kirleticiler bakımından tablodaki değerlerle karşılaştırılır (Oweis ve Khera, 1990, s.9-18).

Tablo 2.11 Toksisite Karakteristiği İçin Maksimum Kirletici Konsantrasyonu (40 CFR 261.24)

Kirletici	Maksimum Konsantrasyon (mg/l)
Arsenik	5.0
Baryum	100.0
Benzen	0.5
Kadmiyum	1.0
Karbon Tetraklorit	0.5
Chlordane	0.03
Klorobenzen	100.0
Kloroform	6.0
Chromium	5.0
o-Cresol	200.0
m- Cresol	200.0
p- Cresol	200.0
Cresol	200.0
2,4-D	10.0
1,4-Klorobenzen	7.5
1,2-Dikloroethan	0.5
1,1-Dikloroetilen	0.7
2,4-Dinitrotoluen	0.13
Endrin	0.02
Heptaklor(and its epoxide)	0.008
Hekzaklorobenzen	0.13
Hexachlorobutadiene	0.5
Hekzakloroethan	3.0
Kurşun	5.0
Lindane	0.4
Civa	0.2
Metoksiklor	10.0
Metil Etil Keton	200.0
Nitrobenzen	2.0
Pentaklorofenol	100.0
Pyradine	5.0
Selenyum	1.0
Gümüş	5.0
Tetrakloroetilen	0.7
Toxaphene	0.5
Trikloroetilen	0.5
2,4,5-Triklorofenol	400.0
2,4,6-Triklorofenol	2.0
2,4,5-TP (silvex)	1.0
Vinil Chloride	0.2

2.2.2.2.2 Tehlikeli Atıkların Depolanması ile İlgili Şartlar

Arazi dolguları “landfill”; atık yığınları “waste piles” ve yüzey barajları “surface impoundments” katı atık bertarafı için kullanılan üç yüzey depolama yöntemidir. RCRA çalışmaları, 19/Kasım/1980 tarihinde aktif halde olan faaliyetler ve yeni faaliyetler olarak iki gruba ayırmıştır. 1980 yılı ve öncesi tehlikeli atık faaliyetleri “geçici durum faaliyetleri” olarak nitelendirilirken, 1980 yılı ve sonrası faaliyetler ise “yeni düzenlemeler” olarak belirlenmiştir (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18)

2.2.2.2.2.1 Geçici Durum (40 CFR 265)

Tehlikeli atıkların işlenmesi, depolanması ve bertarafı ile ilgili olan işletme sahipleri ve operatörleri için “Geçici durum standartları” 40 CFR 265’te özetlenmiştir (Sharma ve Lewis, 1994). Geçici durum faaliyetlerinde, yönetmelikler geniş anlamda; operasyonlar devam ederken yeraltı suyunun izlenmesini, kapatma için son örtüyü ve kapatma sonrası son örtüyü ve bakımını gerekli kılmaktadır.

Yeraltı suyu İzlenmesi

Yönetmelikler en az bir adet hidrolik üst eğim izleme kuyusu; üç adet alt eğim izleme kuyusunu gerekli kılmıştır. Amaç, faaliyetlerin en üst akiferde yeraltısuyuna etkilerini izlemektir. Üst eğimdeki kuyuların amacı; zemindeki yeraltısuyunun kalitesini ölçmektir ki aslında bu sular faaliyetten etkilenmemektedir. Alt eğimdeki kuyuların amacı, istatistiksel olarak önemli miktarda tehlikeli atığın veya atık içeriğindeki maddelerin atık yönetimi alanında en üst akifere sızıp sızmadığını belirlemektir. İçme suyu kaynağı olarak uygunluğunu karakterize etmek için test edilerek Tablo 2.12’deki parametreler ile karşılaştırılır (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18).

Yeraltı suyunun kalitesini belirleyen parametreler; sudaki klorid, demir, manganez, fenol, sodyum ve sülfat miktarlarıdır. Kirliliğini belirleyen parametreler ise; pH, spesifik geçirgenlik, toplam organik karbon ve toplam organik halojen değerleridir. Kalite parametreleri için; testler senede bir defa yapılırken, kirlilik göstergeleri için

testler ise; senede iki defa yapılmaktadır (Oweis ve Khera;1990; s 9-18).

Buna göre, yönetmeliğin yürürlüğe girdiği günden itibaren, bütün kuyularda her parametrenin başlangıç alt yapı konsantrasyonları; bir yıl süresince 4 defa ölçülmeli, belirlenmelidir. Yeraltı suyunun gözlenmesi, depolama uygulamasının aktif olduğu dönemde ve ve kapatıldıktan sonraki 30 yıl boyunca devam ettirilmelidir (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18).

Tablo 2.12 EPA Geçici İçme Suyu Standartları (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18)

Parametreler	Maksimum Düzey
Arsenik	0.05 mg/lt
Baryum	1.00 mg/lt
Cadmiyum	0.01 mg/lt
Chromium	0.05 mg/lt
Fluoride	1.4-2.4 mg/lt
Lead	0.05 mg/lt
Civa	0.002 mg/lt
Nitrat (N)	10.00 mg/lt
Selenyum	0.01 mg/lt
Gümüş	0.05 mg/lt
Endrin	0.0002 mg/lt
Lindane	0.004 mg/lt
Metoxychlor	0.1 mg/lt
Toxaphene	0.005 mg/lt
2,4-D	0.1 mg/lt
2,4,5-TP-Gümüş	0.01 mg/lt
Radium	5pCi/lt
Gross α -radiation	15 pCi/lt
Gross β -radiation	4 memr/yıl
Turbidity a	1TU
Kloroform bakteri	1 100 ml

Uygulamanın sahibi veya operatör, üst akifer yolu ile su kaynaklarına veya yüzey sularına depodan zararlı atık veya atık bileşeni sızma riskinin az olduğunu ispat edebilirse tüm şartlardan veya bazı şartlardan feragat sağlayabilir. Yüzey barajları “surface impoundments” zararlı atıkları veya zararlı atık olarak listelenmiş atıkları, yalnızca korozif olduklarından dolayı, nötralize etmek için kullanılıyorsa bunlar için de yeraltısuyu izleme şartlarından, muafiyet sağlanabilir. Eğer zararlı bileşimler yeraltı suyuna karışma riskini gösteriyorsa, yönetmelik uygulamanın son kapama işlemine

kadar, senede 4 adet su kalite ölçümünün yapılmasını işletmeye şart koşar. Ancak bu ölçüm programları sonucunda hiçbir iyileştirici çare istenmemektedir (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18).

Kapatma Kriterleri

Arazi dolguları “Landfil” için, operasyon sahibi veya operatör, kapatma sonrası zararlı atıkların yeraltı suyuna, havaya, toprağa geçmesini minimize etmek için faaliyeti kapatmakla yükümlüdür. Bununla birlikte son örtünün inşaaı, yerleştirilmesi, giriş ve çıkış sularının kontrolünün yapılması da işletmeden istenilmiştir (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18).

Yönetmeliğe göre; yüzey barajları “Surface impoundments” ve atık yığınları “wastepile” için sızdırmazlık şartının sağlanması istenmektedir. Yüzey barajları için topraktan geçirimsiz setlerin yapılması da gerekmektedir (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18).

Atık yığınları için, sızabilecek madde tehlikeli ise, hem geçirimsiz taban hem de giriş-çıkış suyu (run-on run-off) kontrolü gerekli kılınmıştır. Yüzey barajları için ise; bulunan sıvının, atığın, atık tortularının, örtülerin, dolgunun altını ve çevresini saran kirlenmiş tabakaların uzaklaştırılması faaliyetin kapatılması için gerekleridir. Eğer bu şartlar sağlanmaz ise; en üst örtü tedbirleri ile birlikte “landfill” için uygulanan şartlar uygulanır (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18).

Atık yığınlarının, kapatılmasında da atık tortularının, örtülerin, kirlenmiş toprağın uzaklaştırılması veya arıtılması gerekir. Eğer tüm uzaklaştırma veya arıtma işlemi pratik değil ise ;atık yığınlarına da “landfill” ile ilgili şartlar uygulanır (Oweis ve Khera; 1990; s 9-18)

2.2.2.2.2 Yeni Tehlikeli Atık Düzenlemeleri İçin Standartlar

Yeni zararlı atık faaliyetleri yasal olarak RCRA'nın izni olmaksızın çalışamazlar. Tehlikeli atıklar için yeni uygulamalar 40 CFR 264'te özetlenmiştir (Sharma ve Lewis, 1994; s 1-18) Yeni izin durumları; uygulamanın konumu, dizaynı ve izlenmesi gibi birçok parametreye bağlıdır. 40 CFR 264'te özetlenen anabашlıklar şunlardır;

- Lokasyon şartları
- Hazırlama ve koruma
- İhtimal, kontenjan, imkan planı acil durum prosedürleri
- Açıklama sistemi, kayıt tutma, rapor etme
- Katı atık yönetimi birimlerinden sızmalar
- Kapatma ve kapatma sonrası
- Finansal gereklilikler
- Konteyner kullanımı ve yönetimi
- Tank sistemleri
- Yüzey barajları (Surface impoundment)
- Atık yığınları (Waste files)
- Arazi dolguları (landfills)
- Fırınlr (incinerators)
- Muhtelif üniteler

1) Lokasyon Standartları (40 CFR 264.18)

Sismik konum:

Tehlikeli atıkların muamele, depolama veya bertaraf işlemlerinin yönetileceği yeni faaliyet alanları Holosen zamanına ait faylardan en az 60 m (200 feet) uzakta yapılması şarttır(40 CFR 264.18).

Taşkın Alanları:

100-yıllık taşkın alanında yer alan faaliyetler, taşkınlardan veya zararlı atıkların dağılmasını önleyecek şekilde dizayn ve inşaa edilmeli ve ona göre yönetilmeli ve bakımı yapılmalıdır. Bu kuralda; aktivitenin sahibi sel suları gelmeden atığın güvenli bir biçimde uzaklaştırılacağını veya taşma olduğunda çevreye herhangi bir ters etki olmayacağını kanıtlayabilir ise bazı muafiyetler sağlanabilir (40 CFR 264.18).

Depo operatörü veya iş sahibi yerel yönetime; taşkın suları faaliyete ulaşmadan, atığın güvenli bir biçimde alınıp, sel sularından etkilenmeyeceği bir yere taşınabileceğini; veya sel gerçekleştiği takdirde varolan yüzey dolgularının, atık yığınlarının, arazi muamele birimlerinin, arazi depoları ve muhtelif birimlerinin çevre ve insan sağlığına ters herhangi bir etkisi olmayacağını ispatlamalıdır (40 CFR 264.18).

Depolama faaliyetinin sahibi bu faktörleri açıklarken; depodaki atığın hacmini, kimyasal ve fiziksel özelliklerini gözönünde tutmalı; taşkın sonucu olarak, yüzey sularını potansiyel olarak etkileyebilecek zararlı bileşimlerin konsantrasyonunu, bu konsantrasyonların, şimdiki ve potansiyel kullanıma ve etkilenmiş yüzey suları için tanımlanmış su kalite standartlarına etkisini de değerlendirmelidir. Buna ek olarak etkilenmiş yüzey suları sedimanlarındaki veya 100 yıllık taşkın alanlarında, taşkın sonucu oluşmuş topraktaki tehlikeli bileşimlerin etkisini de gözönünde bulundurmalıdır (40 CFR 264.18).

Tuz Domları ve Yeraltı Madenleri

Konteynere konmamış veya sulu halde bulunan tehlikeli atıkların, herhangi bir tuz domu, tuz yataklarına veya yeraltı boşluklarına yerleştirilmesi yasaklanmıştır (40 CFR 264.18).

2) Yeraltı Suyu Koruma Standartları

Yeraltı suyunun etkilenip etkilenmediği belirlenirken, Tablo 2.13'deki değerler aşılmamalıdır (Sharma ve Lewis, 1994; s 1-18)

Ayrıca; yeraltı suyunun aktiviteden etkilenmeyen, en üst tabakasında belirli inorganik ve organik kimyasalların konsantrasyonları önemli ölçüde yüksek ise, yeraltı suyu kirlenmiştir ve önlemler alınmalıdır (Oweis ve Khera, 1990; s.9-18).

Yönetmelikler; üst eğim ve alt eğimde yeraltı suyunun kalitesini en iyi ve en etkili şekilde temsil edecek sayıda kuyu yapılmasını şart koşmuştur. İşletme sahibi; bu

tehlikeli bileşenlerin varlığını güvenilir bir şekilde gösterebilmek için, atık bileşenlerinin ve reaksiyon ürünlerinin, indikatör parametrelerini (pH, spesifik iletkenlik, toplam organik karbon ve toplam organik halojen) gözlemleyecek planı oluşturmaktır. İşletme sahibinden, yılda bir defa yeraltı suyunun üst akiferindeki akış yönünü ve miktarını belirlenmesi istenmiştir. Eğer alt eğimde önemli ölçüde zararlı bileşik belirlenirse ve yeraltı suyunu etkiliyorsa yeterince gözlem yapılması gereklidir. Bu durumda bütün kuyular, 40 CFR 261'de Ek-VIII'de listelenen tehlikeli atık bileşimleri yönünden test edilmelidir (Oweis ve Khera, 1990).

Tablo 2.13 Yeraltı Suyu Korunması İçin Maksimum Bileşik Konsantrasyonu (Sharma ve Lewis, 1994; s 1-18)

İçerik	Maksimum Konsantrasyon (mg/l)
Arsenik	0.05
Baryum	1.0
Kadmiyum	0.01
Krom	0.05
Kurşun	0.05
Civa	0.002
Selenyum	0.01
Gümüş	0.05
Endrin (1,2,3,4,10,10-hekzakloro-1,7-epoksi-1,4,4a,5,6,7,8,9a-oktohidro-1,4-endo,endo-5,8-dimethanonaphthalene)	0.0002
Lindane (1,2,3,4,5,6-hekzaklorosaykloheksan, γ -isomer)	0.004
Metoksiklor (1,1,1-trikloro-2,2-bis-(<i>p</i> -metoksifeniletan)	0.1
Toxaphene (C ₁₀ H ₁₀ Cl ₆ , teknik chlorinated camphene, %67-69 chlorine)	0.005
2,4-D (2,4-diklorofenoksiasetik asit)	0.1
2,4,5-TP-Silveks (2,4,5-trichlorophenoxypropionic asit)	0.01

“Tamamlama İzlemesi”ne (compliance monitoring) göre, belirlenen bu standartlar aşılmışsa; geçici durumlar için geçerli olan yönetmelikte olduğu gibi operatör bu durum karşısında önlem almadan depoyu bırakamaz. Operatör, tehlikeli bileşimlerin, herbirinin konsantrasyon limitlerini aşmalarını önleyici; ya bu bileşikleri çıkartarak, uzaklaştırarak ya da yerinde müdahale ederek düzeltici faaliyet programını başlatmak zorundadır (Oweis ve Khera, 1990). EPA tarafından “tamamlama izlemesi”nin bir parçası olarak, tehlikeli atık limitleri 40 CFR 264.99’de tanımlanmıştır.

3) Depo Dizaynı

40 CFR 264'te tehlikeli atıkların depolanması için kullanılan yüzey dolguları, arazi depoları ve atık yığınları için ayrı ayrı; dizayn, operasyon, kapatma ve kapatma sonrası izlemesi ile ilgili açıklamalar yapılmıştır.

A) Yüzey Barajları (Surface Impoundment)

Dizayn ve Operasyon Gereklilikleri (40 CFR 264.221)

Tüm yüzey barajları bütün bölümleri (işlem gören bölümleri hariç) astarlı olmalıdır. Astar, yüzey dolgusunun aktif zamanında ve kapatma zamanında dahil olmak üzere atıkların, yan tabakalara, yeraltı ve yüzey sularına göçünü önleyecek şekilde dizayn ve inşaa edilmelidir.

Astar dizayn edilirken şu parametrelere dikkat edilmelidir.

- 1) Basınç büyüklüklerine (statik iç ve dış hidrojeolojik kuvvetler dahil) dayanıklı; atıkla veya liçe fiziksel kontaklarında bozulmacak; değişik iklimsel koşullara, inşaat ve operasyon kuvvetlerine karşı dayanacak nitelikte; uygun kimyasal özellikte, yeterli mukavemette ve kalınlıkta materyalden yapılmalıdır.
- 2) Astarın, çökmeye, basınca ve yükselmeye karşı korunması için, alttan ve üstten gelen basınç büyüklüklerine direnç gösterecek, astarı destekleyecek bir tabana yerleştirilmesi gerekir.
- 3) Tüm alanlar atıkla ve liçe temas edecekmiş gibi kaplanmalıdır.

Yerel yönetim, operatör veya işsahibi tarafından yapılan açıklamalara dayanarak diğer alternatif dizayn ve operasyon uygulamalarının, konum karakteristikleriyle birlikte ileride herhangi bir zararlı bileşiğin yeraltı ve yüzey sularını kirletmeyeceğine kanaat getirir ise; işin sahibi veya operatörü başta belirtilen gerekliliklerin dışında tutulabilirler.

29 Ocak 1992 tarihinden sonra inşaatı başlatılmış olan her yeni yüzey barajı için, taban

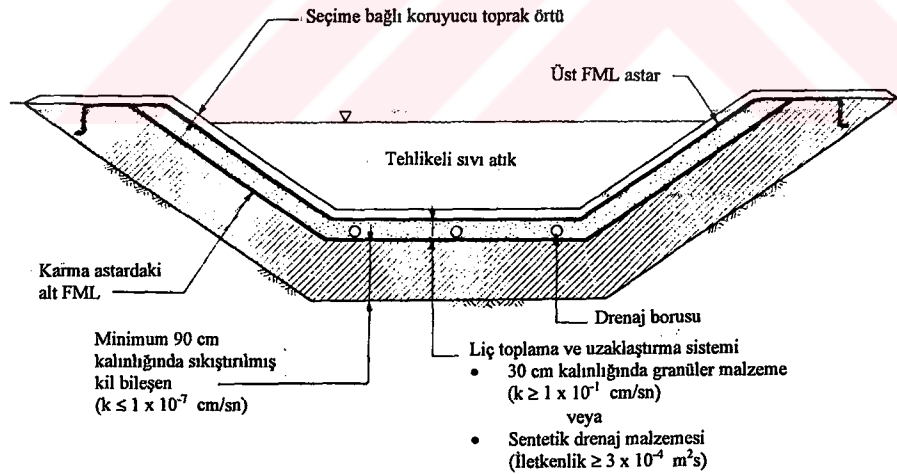
katmanları arasına iki veya daha fazla astar, liç toplama ve uzaklaştırma sistemi koymak, yerleştirmek zorunludur.

Astarın İnşaa Kriterleri

Astar sistemi şunları içermelidir (Şekil 2.4):

a) Depo üstü astar sistemi; deponun aktif hayatı ve kapatma sonrası ve gözlem süresince tehlikeli bileşiklerin bu astardan geçmesini sızmasını önleyecek materyallerden yapılmalı, inşaa edilmelidir.

b) Karma taban astar, en az iki bileşenden (üst bileşen ve alt bileşen) oluşmalıdır. Üst bileşen (jeomembran,vb) aktif hayat ve kapatma sonrası gözlem süresince tehlikeli bileşenlerin bu karma bileşenin içine sızmasını önleyecek materyalden dizayn ve inşaa edilmelidir. Alt bileşen, eğer üst bileşende bir yarıklık oluşur ise zararlı bileşimlerin sızmasını minimuma indirecek özellikte materyallerden yapılmalıdır. En alt bileşen permeabilitesi 1×10^{-7} cm/sn'den büyük olmayan ve en az 90 cm (3 ft) kalınlığında sıkıştırılmış topraktan inşaa edilmelidir.



Şekil 2.4 Tehlikeli Atık Depolaması için Kullanılan Yüzey Barajlarının Karma Astar Sistemi (Sharma ve Lewis,1994)

Drenaj Sistemi Özellikleri

Astarların arasında; çift liç toplama ve uzaklaştırma sistemi olduğu zaman, alt bileşenin hemen üstünde yer alan liç toplama ve uzaklaştırma sistemi, liç belirleme sistemi

görevini de yapmaktadır. Bu liç belirleme sistemi, aktif hayat ve kapatma sonrası bakım döneminde, en çabuk biçimde, atıkların sızıntısını belirleyebilecek, toplayabilecek ve uzaklaştırabilecek şekilde dizayn edilmelidir. Liç belirleme sistemi için şartların sağlanabilmesi aşağıdaki gibi bir sistemin inşası ile mümkündür.

- i) Dip eğimi %1 veya daha büyük olarak inşaa edilmeli
- ii) Granüler drenaj materyalinin permeabilitesi 1×10^{-1} cm/sn veya daha fazla; kalınlığı 30.5 cm (12 inç) veya daha fazla olmalı; ya da bunun yerine yayılımı 1×10^{-4} m²/sn olan sentetik veya jeonet drenaj materyalleri kullanılmalıdır.
- iii) Yönetilen atığa ve oluşması beklenen sızıntıya kimyasal olarak dayanıklı; atıkların ve atık kaplama materyallerinin düzeltilmesinde, yüzey dolgusunda kullanılan aletler ve makinalar çalışırken ortaya çıkan basınçlar yüzünden parçalanmayacak kalınlıkta ve dayanımda olan materyalden inşaa edilmelidir.
- iv). Aktif hayatı boyunca ve kapatıldıktan sonraki izleme sırasında tıkanmaları önleyecek şekilde dizayn edilmeli ve çalıştırılmalıdır.
- v) Yeterli boyutta toplama kuyuları ve uygun uzaklaştırma metodları ile toplama kuyularından sıvılar uzaklaştırılıp sıvıların drenaj katmanına tekrar gelmesini önleyecek şekilde inşaa edilmelidir. Her üniteye ait ayrı bir su toplama kuyusu olmalıdır. Her su toplama ve uzaklaştırma sisteminin dizaynı, kuyularda varolan suyun ve gönderilen sıvının miktarının ölçülmesini ve kayıt edilmesini sağlayacak şekilde olmalıdır.

İşletme sahipleri ve operatörler, liç belirleme sisteminin operasyonun yeraltı suyunun varlığından ters etkilenmeyeceğini ispatlamak zorundadır. Yüzey dolguları normal veya anormal operasyonlar yüzünden fazla yükselme, fazla dolma, rüzgar ve dalga etkileri, yağışlar, su girişleri (run-on), seviye ölçerlerin, alarmların, diğer aletlerin yanlış çalışmasını, insan hatalarını önleyecek şekilde inşaa edilmeli ve çalıştırılmalıdır. Ayrıca yüzey dolgularının setleri, setlerin yıkılmasını önleyecek, etkili yapısal bütünlüğü gösterecek şekilde dizayn ve inşaa edilmelidir.

Tek Çeşit Dolgu (Monofill)

Tek çeşit dolgu faaliyetleri; homojen atıkları, örneğin kül veya şlam depolamak için dizayn edilmiştir. Malzemenin kimyasal durumu tek tür dolguyu gerekli kılabilir. Örneğin birçok kül alkalidir; içindeki metal iyonlarını çözündürmez. Diğer yanda evsel atıklar asidik liç oluşturma eğilimi gösterirler. Külün ve evsel atıkların karıştırılması, bağlı metal iyonlarını serbest bırakabilir (Rhyner ve diğ., 1995).

Bir evsel atık deposunun hergün kapatılması gerekirken, “tek çeşit dolgu”ların (monofill) daha az sıklıkta örtü ile kapatılması problem yaratmaz. Koku, materyalin patlaması gibi istenmeyen oluşumlar daha etkili olarak kontrol edilebilir. Kül için günlük örtü yapılması şart değildir. Zira kül, yayıcı vektörleri (sinek ve fare) çekmez ve koku oluşturmaz. Orta derecede aralıklarla bir örtü liç üretimini azaltmak için yeterli olabilir (Rhyner ve diğ., 1995).

Herhangi bir “tek çeşit dolgu” başlangıçta yüzey dolguları için belirtilen çift tabaka gerekliliklerden yerel yönetim tarafından muaf tutulabilir. Şayet tek tür dolgu sadece, “döküm ocağı emisyon kontrolleri veya metal dökme kalıp kumları ve 261.24’te verilen EP Toksisite karakteristiğinin dışında sebeplerden ötürü tehlikeli olarak belirlenen bileşenlerin dışında bileşen içeren atıkları kapsıyorsa” ve “faaliyet kesinlikle sızdırma yapmayan en az bir astara sahip, ayrıca yeraltı içme suyu kaynaklarından en az çeyrek mil uzakta inşaa edilmiş” ise çift tabaka gerekliliğinden muaf tutulur (40 CFR 264.221).

Aynı Depoya Farklı Malzemelerin Konması (Codiesposal)

Aynı arazi dolgusuna “landfill” iki veya daha fazla değişik formdaki atığı depolamak anlamına gelir. Bu karışım, evsel atıklar, zararsız endüstriyel proses atıkları, küllerden ve şlamdan oluşabilir. Endüstriyel atıkların, külün, şlamın spesifik doğası; arazi deposunun dizaynı ve operasyon biçimi, atık karışımı içindeki bileşenlerin oranlarını ve bileşimlerini sınırlandırabilir. Eğer şlam kabul ediliyor ise; katı içeriği en az % 40 ve hacmi ise evsel atıkların hacminin %25-30’u kadar olmalıdır. Bazı arazi depolarında

atıklar ve şlam karıştırılır; bazılarında ise şlam depolama alanı ayrılmıştır (Rhyner ve diğ.,1995).

Aktif Sızıntı Miktarı (40 CFR 264.222)

Sızıntı suyu miktarı, “sızıntı belirleme sisteminin” (leak detection system [LDS]) en alt astarın üstündeki su seviyesinin 30 cm’den fazla olmayacak şekilde atılabileceği maksimum su miktarıdır. Aktif sızıntı miktarı, dizaynındaki (örneğin; eğim, permeabilite, kalınlık), inşaat sırasındaki, operasyondaki, sızıntı belirleme sistemindeki ve atık ve liç karakteristiğindeki belirsizlikleri rahatlıkla karşılayabilmek için uygun bir güvenlik aralığında inşaaa edilmelidir (40 CFR 264.222).

Kapatma ve Kapatma Sonrası Bakım

Kapatma sırasında operatör veya işletme sahibi; bütün atıkları çökeltilerini, kirlenmiş sistem bileşenlerini (astarları), kirlenmiş alt taban toprağını, atıkla veya liçle kirlenmiş yapıları ve aletleri çıkartmakla veya temizlemekle ve bunları tehlikeli atıkmış gibi işleme tabii tutmakla yükümlüdür. Bunun yanısıra işletme sahibi veya operatör; sıvı atıkları çıkartarak, kalan atıkları ve atık tortularını, çökeleklerini katılaştırarak serbest sıvıları elimine edebilir. Kalan atıkları, son örtüyü yeterince destekleyecek şekilde stabilize etmelidir (40 CFR 264.228).

Ayrıca yüzey barajı, “kapalı depodan uzun süreli sıvının göçünü minimize edecek, drenajı sağlayacak ve son örtüde aşınmayı ve erozyonu önleyecek” bir son örtü ile kaplanmalıdır. Bu örtü de alt tabaka veya alt astar sistemi kadar veya daha az permeabiliteyi sağlayacak şekilde dizayn ve inşaa edilmelidir.

Eğer bazı atık çökeltileri, kirlenmiş materyaller son örtü sırasında bırakılırsa, operatör veya iş sahibi bütün kapatma sonrası gerekliliklerini yerine getirmek zorundadır. Operatör; son örtünün etkinliğini ve bütünlüğünü korumak, sübidansları , erezyonu ve diğer olayları düzeltici önlemler almakla yükümlüdür. Ayrıca yeraltı suyu ve sızıntı suyunun izlenmesini ve sızıntı sisteminin bakımını da yerine getirmek zorundadır.

Bunun dışında yüzey dolguları ile ilgili olarak bu yönetmelikte; sorumluluk faaliyetleri (40 CFR 264.223), izleme ve belirleme (40 CFR 264.226), acil tamirler ve olasılık planlarından (40 CFR 264.227) bahsedilmiştir.

B) Atık Yığınları (Waste Piles)

Uygulanabilirlik

Sıvılar veya serbest sıvı içeren materyaller yığın şeklinde depolanamaz. Ayrıca atık yığını yüzey sularının akışından korunacak ve atıkların, rüzgarla dağılmasını önleyecek şekilde (gerektiği yerde ıslatılarak) dizayn edilmeli, çalıştırılmalı ve kontrol edilmelidir. Atık yığınının bozunma ile liç oluşturmaya da izin verilmemelidir (40 CFR 264.250).

Dizayn ve Operasyon Gereklileri

Atık yığınlarında uygulanacak olan astar ve liç toplama sistemleri; yüzey barajları için belirlenen yönetmeliklerle aynıdır. Sadece liç toplama sistemi daha farklıdır (40 CFR 264.251).

Granüler drenaj materyalinin permeabilite değeri 1×10^{-2} cm/sn veya daha fazla; kalınlığı ise minimum 30.5 cm (12 inç) olarak belirlenmiştir. Ya da yayılımı 3×10^{-5} m²/sn olan sentetik veya jeonet drenaj malzemeleri kullanılır.(40 CFR 264.251) (Bu değerler yüzey barajları için granüler drenaj malzemesinin permeabilitesi 1×10^{-1} m/sn, jeonet malzemesinin yayılımı ise 1×10^{-4} m²/sn olarak belirlenmiştir)

Ayrıca, yüzey barajlarından farklı olarak atık yığının aktif olan bölümü en az 25 yıllık fırtınanın pik boşalımından koruyan bir giriş (run-on) ve 24 saatlik , 25 yıllık fırtına sonucu oluşacak hacimdeki suyu toplayıp kontrol edecek kapasitede bir çıkış (run-off) kontrol sistemi, operatör veya işletme sahibi tarafından dizayn ve inşaa etmelidir. Giriş ve çıkış kontrol sistemleri ile ilgili olan toplama ve depolama sistemleri, sistemin dizayn kapasitesini karşılamaları için fırtınadan sonra boşaltılmalıdır (40 CFR 264.251).

Bununla birlikte rüzgarla uçabilecek, dağılabilecek partiküller içeren atık yığınlarında, buralar örtülmeli, kapatılmalı veya rüzgar etkisine karşı kontrolü sağlamalıdır (40 CFR 264.251).

Kapatma ve Kapatma Sonrası Gözlem

Kapatma esnasında, atık çöküntüleri, kirlenmiş sistem bileşenleri (astarlar), kirlenmiş alt toprak katmanı, liçe ve atıkla kirlenmiş aletler, çıkartılmalı, temizlenmeli ve tehlikeli atık gibi muamele görmelidir (40 CFR 264.258).

Bütün çöküntülerin çıkartılması, temizlenmesi işletme sahibi tarafından pratik görülmediği takdirde; arazi depolarına uygulanan kapatma ve kapatma sonrası koruma şartları uygulanarak faaliyet kapatılmalıdır (40 CFR 264.258).

C) Arazi Dolguları (Landfills)

Arazi depoları için belirlenen dizayn ve operasyon gereklilikleri, yüzey dolguları için verilen yönetmeliklerle aynıdır. Bütün bu yönetmelikleri kısaca özetlemek gerekirse;

Tehlikeli atıklar için dizayn edilmiş yüzey barajları “surface impoundments”, iki veya daha fazla-sızdırmazlık tabakası ve bunların arasında liç toplama sistemine sahip bir astar sistemi kullanılarak inşaa edilmelidir. Üst tabaka; atık bileşimlerinin içeri girmesini önleyecek şekilde, taban astarı ise faaliyet süresince ve faaliyet bitiminde, bileşenlerin depo dışına sızmasını önleyecek şekilde inşaa edilmelidir (Oweis ve Khera,1990)

Taban astarı, kalınlığı minimum 90 cm, permeabilitesi 1×10^{-7} m/sn'den büyük doğal kaynaklı izolasyon malzemesidir. Bu tabakanın üzerinde buluna birinci ve ikinci liç toplama tabakaların geçirgenliği 10^{-2} cm/sn olmalıdır. Sızıntı durumunda yıkılmayı önlemek için sızıntı setleri bütün yüzey barajı için gereklidir. Depo ve (tabandaki) tabakalar tamamiyle; sezonluk yüksek su tablası üzerinde olmalıdır (Oweis ve Khera, 1990).

Atık Yığınları; geçici bertaraf etme faaliyetleridir ve mutlaka aktif dönemleri boyunca ve kapatma dönemlerinde kil tabakaya sahip olmak zorundadır. Diğer şartlar (liç toplanması, çıkış suyu (run-off) kontrolü, çift tabaka, muafiyetler) arazi dolgularıyla aynıdır (Oweis ve Khera, 1990).

Arazi dolguları için belirlenen şartlar, genel olarak yüzey barajları için uygulanabilir şartlar gibidir. Su çıkış kontrol sistemi; 24 saatlik 25 yıllık fırtına sonucu oluşan hacimdeki suyu toplamaya ve yönetmeye, su giriş kontrol sistemi ise, 25 yıllık fırtınada, faaliyetin aktif bölümüne gelecek yağışı kontrol etmeye ve bu bölümün korunmasını sağlar. Arazi dolguları ve yüzey barajları için çift tabaka uygulamalarında, belirli muafiyetler vardır, ancak bu uygulamalar için en az bir sentetik tabaka kullanılması şarttır.

2.2.3 CERCLA (Superfund)

A:BD’de, aktif olan tehlikeli atık depolama faaliyetleri, yeni inşaa edilmiş (19 Kasım 1980’den sonra), RCRA hükümleri altındadır. RCRA yönetmelikleri, şimdi üretilen zararlı atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi için pratikler uygulamalar kuralları belirlemiştir; ancak geçmişte tehlikeli atıkların döküldüğü varolan birçok anlam problemlerine değinilmemiştir. Bunun sonucunda bir çok üretici, işlemci ve bertaraf edenler süregelen faaliyetlerini kapatmaktan muaf tutulmuşlardır, RCRA bunlar ve diğer terk edilmiş kirli alanlar tarafından yaratılan çevresel kirlenmeye hitapetmekte başarısız olmuştur. Bu nedenle CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) Kapsamlı Çevre Temizleme, Zarar ödeme ve Yasal Sorumluluk Kanunu yürürlüğe girmiştir. CERCLA Tehlikeli Atık Sorumluluk Fonunu (Superfund) olarak 1.6 milyar U.S.D orjinal bütçe ile kurulmuştur. Bu yönetmeliğin amacı çevre ve insan sağlığına önemli zararlar verebilecek döküm alanlarını belirlemek, rehabilite etmek için fon sağlamaktır (Rhyner ve diğ, 1995).

CERCLA’nın en önemli yönü, kirlenmiş döküm alanlarının temizlenmesinin finansal sorumluluğunu üreticiye yüklemesidir. Bu yüzden üreticiler birilerine atığı kaldırması ve bertaraf etmesi için para vererek kendilerini düzgün atık bertarafı sorumluluğundan

soyutlayamazlar. Kendilerini ilerki finansal yükümlülükten korumak için üreticiler, atıkların düzgün bertaraf edildiğini ispatlamamalıdır (Rhyner ve diğ., 1995).

Superfund programının iki bileşeni vardır. Birincisi döküntülerin, insan ve çevre sağlığı için tehlike yaratabilecek atılmış materyallerin acil olarak uzaklaştırılmasını sağlayan acil sorumluluklardır. İkincisi ise, tehlikeli atıklardan sızıntının olduğu veya ileride oluşabileceği kriterlerine dayanarak öncelikli alanlar olarak belirlenen, terkedilmiş toksik atık sitelerinin uzun dönem temizlenmesi veya restorasyonu için yargı hükümleridir. İlk etapta temizlenecek ise Ulusal Öncelikliler Listesi'nde (National Priorities List [NPL]) yer almaktadır (Rhyner ve diğ., 1995).

Programın önemli yaklaşımı, iyileştirme işlemleri için finansal sorumluluğun, siteye depolanan atıkların üreticilerinin tanımlanabilmesi halinde, sorumlulara verilmesidir. Eğer sorumlu kuruluşlar belirlenemez ise; federal yönetim ve eyalet sorumluları temizleme masraflarını karşılamaktadır. Operasyonun ilk 10 yılında EPA 372 sorumlu kuruluşa ulaşmış ve 619 milyon \$ temizleme masrafı almıştır. Ancak temizleme süreci yavaştır, bir alanı temizlemek için yaklaşık 5 yıl veya daha fazla süre gerekmektedir. 1986 yılından beri 14 alan, 1990'dan beri 30 alan temizlenebilmiştir. A.B.D. Kongresi daha hızlı ve fazla iş istemektedir. Bunun sonucunda, 17 Ekim 1986'da SARA (Superfund Amendments and Reauthorization Act) Superfund Değiştirme ve Yeniden İzin Yasası çıkartılmıştır (Rhyner ve diğ., 1995).

SARA, superfund yasasının terkedilmiş veya kontrolsüz atık alanlarından sızıntıların temizlemek için 5-yıl uzantısıdır. SARA işe 8.5 milyar U.S.D ve 0.5 milyar U.S.D. yeraltı petrol depolama tankları sızıntılarının temizlenmesi için ek olmak üzere, daha yüksek fonla işe başlamıştır (daha yüksek ödentisi vardır). SARA şartları sıkı olan çözüm standartları olarak adlandırılır. Bunların dışındaki destek, derneklerden ve tüzel kişilerden gelen çevre vergisi, 1.25 milyar U.S.D genel ödenekler, sorumlu kuruluşlardan alınan masraflar, kazanılmış faizlerden sağlanmaktadır.

Var olan binlerce kirlenmiş alan içinden en tehlikeli olanlar, NPL alanındadır. Bir NPL alanı geniş araştırmalar sonucu öncelik sırasına konur ve işleme tabi tutulur.

BÖLÜM 3

ATIK DEPOLAMA ŞEKİLLERİ

Bertaraf (disposal) etmek; boşaltma, bırakma ve enjekte etme anlamına gelmektedir. Zararlı veya zararsız herhangi bir katı atığın, arazinin üstüne, içine veya suya atılması dökülmesi veya yerleştirilmesi olarak tanımlanmıştır (40 CFR 257.2).

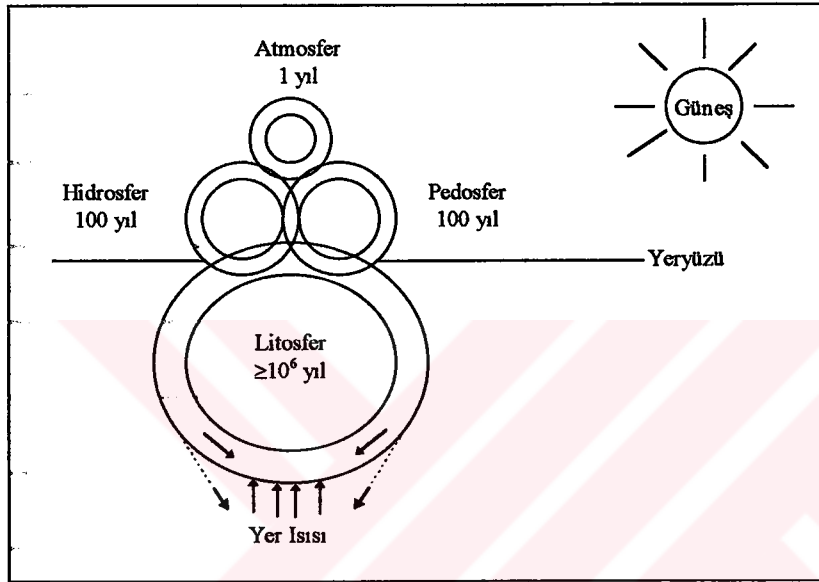
Depolama faaliyetinin amacı; atıkların insan sağlığına zarar vermeksizin; çevreyi koruyucu bir tavır içinde depolanmasının sağlanmasıdır. Atıklar içindeki zararlı maddelerin çözeltiye karışarak depolama hacminin dışına sızıp, biyosferde oluşturabilecekleri zararlı etkilerin ortadan kaldırılması depolama faaliyetleriyle mümkündür. Depolamayla, özellikle ağır metaller ve tuzlar gibi ekotoksik maddeleri, çözücü-taşıyıcı olarak çevreye yayabilen yeraltı suyunun etkisi sınırlandırılmaktadır (Daniel, 1993) (Kuzu ve diğ., 1996).

Doğadaki madde dolaşımı, bulunulan ortama göre farklı hızlarda meydana gelmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, atmosfer için bu değer, yıl; pedosfer ile hidrosfer için on yıllar ile birkaç yüzyıl; derinlerde, yeryüzü su yolları ile bağlantısı olmayan bölgeyi ifade eden litosfer için ise bu hız milyon yıl değerine ulaşmaktadır. Bu nedenle, depolama alanına ait doğal hidrojeolojik özelliklerin tanınması ve nihai depolama hacimlerinin, yeraltı suyuna ve bununla ilgili her türlü su bağlantısına karşı yalıtılmış ortamlarda tesis edilmesi zorunludur (Kuzu ve diğ., 1996).

3.1 Arazi Depolama Sistemlerinde Alan Seçimi

Eskiden atıkların depolanmasında, başlıca dikkat edilmesi gereken konu ekonomi iken, günümüzde depolar başta çevreyle ilgili kanun ve yönetmelikler olmak üzere birçok

parametre göz önünde bulundurularak inşaa edilmektedir. Katı atıkların depolanacağı alanların seçimini etkileyen birçok parametre vardır. Geniş anlamda, çevre, ekonomi ve politika üç ana kolu oluşturmaktadır. Jeoteknik ve hidrojeolojik parametreler çevre kategorisi içinde yerılırken; politik faktör daha çok halkın tavrından etkilenmektedir. Depolama alanı belirlenirken, teknolojinin de yardımı ile en iyi çevresel korunmanın sağlanabileceği alan seçilmelidir (Oweis ve Khera,1990).



Şekil 3.1 Jeokimyasal Madde Dolaşım Süreleri (Kuzu ve diğ. 1996)

Olası depolama sahalarının, mühendislik analizi ile alan seçim işlemine başlanır. Bu aşamada, tüm ilgili yönetmelikler gözden geçirilir, hava fotoğrafları, jeolojik, topoğrafik ve coğrafi haritalar incelenir ve sismik olaylar hakkında bilgi toplanır. Önerilen sahaların yukarsında kalan bölgeler, hidrojeoloji, bitki örtüsü, erozyon ve stabilite yönünden; aşağıda kalan kısım ise bina, yol, demir yolu ve köprü gibi yapılar yönünden incelenir. Depolama sahaları da, ulaşım, stabilite, hazırlık ve inşaat açısından değerlendirmeye alınır. Toplanan bilgiler ışığında, muhtemel sahaların sayısı gerekli şartların sağlayan bir veya iki alana indiririlir. Daha sonra, olası kazı ve stabilite problemlerini, arazi eğimi ve yüzey drenaj problemlerini ayrıca ilk yapım malzemelerinin özelliğini ve varlığını saptama çalışmaları başlatılır. Yüzey araştırmaları, jeolojik, topoğrafik ve zemin araştırma haritalarından yürütülürken; yüzey altı araştırmaları, arazi ve lâboratuvar deneyleri vasıtasıyla gerçekleştirilir.

Tablo 3.1’de alan seçiminde kullanılan kriterler açıklamalı olarak verilmiştir (Oweis ve Khera, 1990). (Sevim, 1996) (Daniel, 1993, s.97-112).

Tablo 3.1 Depo Alanı Seçimi Kriterleri ve Önemi (Oweis ve Khera,1990)

KRİTER	YAN-KRİTER	TANIM	ÖNEM
Toprak (zemin)	Permeabilite	Suyun toprak içinden geçme hızını yöneten özellik	Yeraltı toprak (alt zemin) permeabilitesi, yeraltı suyuna kirleticilerin yayılmasını etkiler, yerleştirme için düşük zemin permeabilitesi tercih edilir.
	PH	Asidite ve alkalilik tanımı (nötr = 7)	Zeminin ağır metalleri absorbe etme karakteristiğini belirler, yüksek pH tercih edilir.
	Katyon değiştirme kapasitesi	Toprağın katyon değiştirme kapasitesi, değiştirilebilecek toplam katyon sayısı olarak tanımlanır	Toprağın, bazı kirleticileri, kısmen ağır metalleri zayıflatma yeteneği olarak bilinir. Yüksek katyon değiştirme kapasitesi (CEC) tercih edilir.
	Yüzeysel toprak	Dünya yüzeyinde konsolide olmamış materyaller	Zayıflatma derecesini ve yalıtım malzemesi gerekliliğini etkiler. Düşük permeabiliteli yüzeysel toprak tercih edilir
Jeoloji	Tabandaki ve yeryüzündeki kayalar		Karbonatlı kayalar çözeltiler için hassastır; faylı, kırıklı kaya faaliyetleri, kirlilik göçünü arttırmırlar; daha fazla örtü tabakası olan alanlar tercih edilir.
	Süreklilik ve kütle permeabilitesi	Açık süreksizlik ve solüsyon kanallarına bağlıdır.	Kirlilik göçü potansiyelini kontrol eder.
	Faylar	Yer değiştirmenin meydana geldiği yer boyunca olan haritalanmış kaya kırığı alanları veya zonları	Faaliyetin stabilitesini ve kirletici yayılımını etkiler.
Yeraltı suyu	Akifer/kuyu suyu	Jeolojik formasyon veya kuyulara, kaynaklara kullanılabilir miktarda su sağlayabilen formasyon grupları ile ilgilidir.	Yüksek akifer kapasiteli bazı alanlar, faaliyetler için limit dışı olabilir.
	Akifer kullanımı	Akifer kullanımı, potansiyel veya tek kaynaktan -sole source- (tek veya temel olarak yüksek nüfuslu bir alana içme suyu sağlayan kaynak) veya depolama alanından belirli bir uzaklıkta olmalıdır.	Su kaynağını etkiler, depolama alanları için gündemde olmayan veya kullanımı az olan akiferler tercih edilir. Tek kaynak akiferler, kullanımı düşük olsa dahi çok önemli olarak değerlendirilir.
	Yeraltı suyu kalitesi	İçme suyu özelliklerine göre yeraltı suyunun ölçülen doğal kalitesi	Yeraltı suyu kalitesinin düşük olduğu alanlar en uygun yerlerdir.

KRİTER	YAN-KRİTER	TANIM	ÖNEM
	Yeraltı suyu akış sistemi	Yöne ve hızla bağlı olarak yeraltı suyu hareketi ve meydana gelmesi ile ilgilidir.	Yeraltı suyu akış yönünün kullanımdan uzak , akışın yukarı doğru olduğu veya su seviyesinin derin olduğu yerler tercih edilir.
	Mevsime göre en yüksek yeraltı su seviyesi	Yeraltı suyunun yükselmesi beklenen maksimum seviye	Doymamış alanlar bariyer gibi davranmaktadır. Yeraltı suyu ile depo tabanı arasında minimum 1.5m mesafe yönetmelikler tarafından belirlenmiştir.
İzleme konuları	İzleme konuları	RCRA'nın yeraltı suyu inceleme gereklilikleri ile ilgilidir.	Kolayca izlenebilir alanlar (kum, çakıl katmanının olması) veya bilinen bir boşaltım yeri (göl)
Kaplama	Kaplama malzemesi	Toprak malzeme (alandan temin edilen) günlük atık örtüsü olarak kullanılacaktır.	Rahatlıkla çalışılabilir ve rölatif geçirgen olmayan topraklı alanlar tercih edilir.
Eğim	Eğim	Alan yüzeyinin; alan için ortalama topografik engebe olarak ölçülen yataydan sapması,	Kirleticilerin yayılmasının, alanın ve operasyonun gelişmesine etkisi vardır. %15 veya %22'den fazla eğimler dik olarak değerlendirilir.
Yüzey ve yeraltı suyu hidrojeolojisi	Nehirlere/göllere yakınlık	Karanın yakınlığı ve en yakın gölün/nehirin korumalı kullanımı ile ilgilidir	Sızıntıların, gölleri ve nehirleri kirletme tehlikesi
	Akiferlere/kuyulara yakınlık	Jeolojinin altındaki akifer	Yeraltı suyu kaynaklarını etkiler, yüksek verimli bir kuyuya 800m'den daha yakın alanlar bunun dışında tutulur.
	Sel alanlarına yakınlık	Belirli aralıklarla (frekans) sel altında kalan alanlar (genellikle 100 yıl)	Tehlikeli atıkların taşınmasında etkilidir.
	Kaynak alanlarına yakınlık	Varolan veya planlanan depolama rezervuarlarına boşalan alanlar	İçme suyu kaynaklarını etkiler.
Topografya	Eğim erozyonu	Toprak parçalarının yüzey suları veya doğal nedenlerle taşınması	Toprağın erozyon potansiyeli deponun inşaatını ve operasyonu etkiler
	Giriş + çıkış suyu	Çıkış; faaliyetten dışarı akan yağmur veya liç suyu Giriş; faaliyetin herhangi bir yerine giren su olarak tanımlanır	Yüksek alandan gelen giriş suyunun kontrolüne en az gerek duyulan ve yavaş çıkış suyu olan alanlar tercih edilir. Giriş, basamaklarla ve nehir ayrımlarıyla kontrol edilir. Çıkış kontrolü ise alanı geçen suyun hızından etkilenmektedir.

3.2 Depolama Yöntemleri

Atıklar, sulu alanlara ve karasal alanlara olmak üzere iki şekilde depolanmaktadır.

Sulu alanlara depolama yönteminin, çevreyi az etkileyecek şekilde uygulanabilmesi

için artıklar kimyasal olarak zararsız olmalı ve tane boyutu, hızla çökerek bulanıklığa

neden olmayacak kadar iri olmalıdır. Ayrıca artıklar biyolojik olarak üretken olan kıyı şeridini etkilemeyecek şekilde derine ve uzağa pompalanmalıdır (Karadeniz, 1996) (Hassani ve diğ., 1994).

Ancak, Amerika ve Kanada'da artıkların sulu alanlara depolanması; yasal olarak kabul gören bir yöntem değildir. Türkiye'de de su kirliliği kontrol yönetmelikleri uyarınca katı maddelerin sulu alanlara atılması yasaklanmıştır. Teknik tartışmalar günümüzde devam etmekle birlikte; yeni tecrübeler birçok gelişmiş ülkede atıkların denizlere depolanmasının kabul edilmeyeceğini göstermektedir. Deniz, okyanus, göl ve nehir gibi sulu alanlara yapılan depolama şekli günümüzde; uygulama alanı bulamadığı için, bu tip depolama yönteminden bahsedilmeyecek, arazi depoları üzerinde durulacaktır.

Karasal alanlara depolama faaliyetlerinde; yeraltına ve yeryüzüne olmak üzere iki uygulama mevcuttur. Çevre problemlerine ek olarak, yeni çevre koruma kanunları; depolama arazilerinin azalması ve yüzey depolama maliyetlerinin günden güne artması gibi nedenlerden ötürü yeraltı depolama yöntemi de uzun yıllar tasarlanmış ve birçok kez uygulanmıştır.

Endüstriyel atıkların termal prosesi atıkların hacmini/ miktarını azaltmakta ve döküm kapasitelerinin idareli kullanılmasını sağlamakla birlikte, arta kalan külün toksik bileşenlerinin daha kritik bir şekilde sınıflandırılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, çevreyi korumak için yönetmeliklerin ve kanunların yoğunlaşması ve günden güne sıkılaştırılması yüksek toksik materyallerin karasal alanlara depolanması ve orada işlenmesi konusunda yüksek taleplerde bulunulmasına, sıkı kurallar konmasına neden olmuştur. Bu nedenle endüstriyel inorganik maddelerin, yeraltı boşluklarına depolanması olanakları konusunda araştırmalar yapılmaktadır (Wilke ve Skrzyppek, 1996).

3.2.1 Yeraltı Depolama Yöntemleri

Yeraltı depolama yöntemlerinde; genellikle işletme halinde olan veya terk edilmiş çeşitli yeraltı ocaklarının, üretim sonucu oluşan hacimleri, galerileri, kuyu ve kör

kuyuları atık depolama amacıyla kullanılmaktadır. Bir başka yöntem ise; yeraltında sadece atık depolama amacıyla açılan özel boşluklara, galerilere atıkların depolanmasıdır.

Yeraltına depolanacak atıklar şu özellikleri göstermelidir; (Kuzu ve diğ., 1996):

- Patlayıcı özellik göstermemeli
- Katı halde olmalı, serbest sıvı kısım içermemeli
- Patlayıcı ve diğer tür gazların oluşumuna neden olmamalı
- Radyoaktif özellik göstermemeli
- Yalıtıma gereksinim duyulan hallerde kimyasal ve mekanik etkilere karşı koruma sağlayacak şekilde muhafaza içine alınmalıdır.

Kömür ocaklarına depolanabilecek başlıca atıklar; çeşitli fırın curufları, kül ve tozlar, seramik, tuğla, cam, inşaat atıkları ile kömüre bağlı atıklardan oluşmaktadır (Kuzu ve diğ., 1996).

Bir çok insan yeraltı depolama yönteminin, madencilik endüstrisinde atıkların depolanması için gelececek vaat ettiğini düşünmektedir. Özellikle, *toplam artık dolgusu* (total tailing fill) gibi yeni dolgu yöntemleri, tüm atık boyutlarını kullanabilmektedir. Ayrıca teknolojiye yeni gelişmeler, bu yöntemin çok kullanılan yüzey depolama yöntemini azaltacağını göstermektedir (Hassani ve diğ., 1994).

3.2.1.1 Üretim Sonucu Oluşan Hacimlere Depolama

Uzun ayak yönteminin uygulandığı işletmelerde, damar içinde kalıcı olmayan devamlı ilerleyen hacimsel bir boşluk vardır. Dolgu yönteminin kullanılması, bu hacimlerin kazı ile entegre bir şekilde depolama amacıyla kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Pnömatik ve hidrolik dolgu yöntemleri, atığın ayak arkasına taşınmasında kullanılmakta, ancak iş yeri şartları ve işçi sağlığı bakımından hidrolik dolgu tercih edilmektedir (Kuzu ve diğ., 1996):

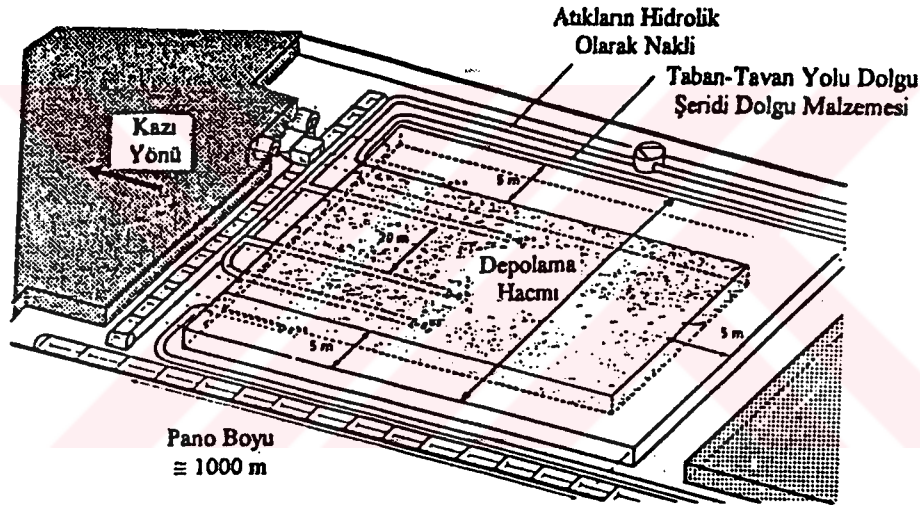
Almanya’da her yıl milyonlarca metreküp boşluk oluşturan taşkömürü madenleri, teknik önlemler ve yeraltı ortamının dezavantajlarına rağmen depolama işleminde kullanılmaktadır. Derin taşkömürü madenlerinde, boşlukların rehabilitasyonu ve yerleştirilmiş materyalin geri getirilmesi imkansızdır. Bu nedenle yeraltı boşluğu standartları, doğal ortamın ve biyosferin bozulmasına karşı, maden çalışanlarının ve madencilik operasyonlarının güvenliğini, maden ömrü boyunca ve uzun dönemde (>10.000 yıl) sağlamalıdır. Bu şartlar üretim safhasındaki teknik işlemlerle ve iyi bir organizasyonla sağlanabilir. Toksik atıkların depolanmasının uzun dönem korunması şu durumlarda söz konusudur (Wilke ve Skrzypek, 1996):

- Ek bir zararlı kirlenme veya jeojen çevrenin şiddetli alterasyonu kesinlikle engellendiğinde (sıfır kirlenme prensibi)
- Depolama şekli ve depo ile ilgili; biyosfere karşı güvenli ve tam sızdırmazlık kesinlikle sağlandığı zaman (tam dahil edilme prensibi)

Almanya’da taşkömürü ocaklarında, saban veya kesici yükleyicilerin çalıştırıldığı uzun ayak yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Şiltli tahkimatın kullanıldığı bu ayakların çoğunda göçertmeli yöntem kullanılırken, ancak %5-7’sinde ramble yapılmaktadır. Dolgu, tahkimatın arkasına monte edilen borularla pnömatik olarak kazılmış alana istif edilmektedir. Ancak; Deutsche Mouneten Technologie Kuruluşu, atıkların karasal olarak depolanması için gerekli alanı daraltmak ve dolgu olarak kullanılan malzemenin (termik santrallerden ve zenginleştirme tesislerinden gelen atıklar) miktarının arttırılması için hidrolik dolgu metodunu geliştirdi ve başarılı bir şekilde uygulamıştır (Wilke ve Skrzypek, 1996).

Almanya, North-Rhine Westphalia bölgesindeki spesifik şartlara dayanarak, “uçucu kül”, “atık yakan tesislerin baca gazlarına uygulanan kimyasal temizleme işlemi sonucunda ortaya çıkan atıklar” ile “endüstriyel şamların ve kanalizasyon işleme şamlarının yakılmasından elde edilen atıklar”ın üretim sonucu oluşan boşluklara depolanması incelenmiştir (Wilke ve Skrzypek, 1996).

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, şlam halindeki malzeme, çalışma bölgesinden istif alanına, şiltler arasına yerleştirilen borularla veya az eğimden çok eğimli bölgelere “head gate”lerden açılan sondajlarla, hidrolik olarak ayak arkasına depolanmaktadır. Hidrolik dolgu uygulamasında kullanılan suyun göçertilen ayak arkasında tutulması, killi formasyonlar, ortamda oluşan hidratasyon süreçleri ve su bağlayıcı katkı malzemeleri ilavesine bağlıdır. Böylece atık malzeme, göçük malzemesine entegre olabilmektedir. Suyun pano dışına yayılmasını önlemek için pano kenarları barajlanmaktadır. Bu uygulama da hidrolik rambale ile ortaya çıkan drenaj problemi ortadan kaldırılmakta ve zararlı maddelerin su ile taşınması önlenmektedir (Kuzu ve diğ.,1996) (Wilke ve Skrzyppek,1996).



Şekil 3.2 Hidrolik Dolgu ile Ayak Arkasına Depolama (Kuzu ve diğ., 1996)

Üretim sonucu oluşan boşluklarda, göçertme ve dolgu sonrası primer üç eksenli gerilme dağılımının oluşmasıyla, atık kayaçlar tarafından kapsanmakta, yeni kayaç kütlelerinin bir parçası haline gelmekte ve böylece kompakt bir depolama hacmi elde edilmektedir (Örneğin 800 m derinde, 25 kN/m^3 özgül ağırlıkta örtü tabakası altında, 20 Mpa’lık düşey gerilme oluşmaktadır) Çevre kayaçlarının killi olması, uzun dönemde depolama hacminin tuz kavernlerinde olduğu gibi çevreden kavranmasını mümkün kılmaktadır (Kuzu ve diğ.,1996) (Wilke ve Skrzyppek,1996).

Depoda oluşan bu kompaktlaşma nedeniyle, permeabilite değerlerinin başlangıçtaki orijinal değerlere yaklaştığı da belirlenmiştir. Almanya’da Ruhr havzasında yapılan çalışmalarda; bakir arazide, madencilik operasyonlarının sürdüğü bölgelerde ve hidrolik dolgu ile atık yerleştirilmiş alanlarda permeabilite ölçümleri yapılmış, Tablo 3.2’de verilen değerler elde edilmiştir (Kuzu ve diğ.,1996)(Wilke ve Skrzyppek,1996)

Tablo 3.2 Permeabilite Ölçüm Sonuçları (Wilke ve Skrzyppek,1996)

İnceleme Yapılan Alan	Permeabilite (m/sn)
Bakir Kaya	$4 \times 10^{-9} - 9 \times 10^{-11}$
Çalışılan Kaya	$3.7 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-8}$
Dolgulu Alan	$< 1 \times 10^{-9}$

Atıkların ayak arkasına depolanmasının çevreye olan etkisi;

- 1) Maden çalışmaları ve drenaj işlemlerinin devam ettiği dönem
 - 2) Maden çalışmalarının ve drenajın durdurulduğu ve yeraltı su seviyesinin yükseldiği dönem
 - 3) Madenin tamamıyla su altında kalacağı son dönem
- olmak üzere üç farklı zaman dilimi için incelenmiştir (Wilke ve Skrzyppek,1996)

I. zaman diliminde; atıklar yerleştirilirken depozit henüz kaya basıncı altında kalmadığı ve sıkışma başlamadığı için, malzemenin bu aşamada tam olarak kapsanması söz konusu değildir. Bu nedenle, su basması ve depo içinden su geçmesi durumunda, çevrenin bundan etkilenmeyeceği ve kirlenmenin olmayacağı ispatlanmalıdır. Böylece; suyun bir tehlike yaratmadan uzaklaştırılabileceği, maden dizaynı belirlenmesi zorunlu hale gelmiştir (Wilke ve Skrzyppek, 1996)

II. zaman diliminde, yeraltı su seviyesinin yükselmesi kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Su seviyesinin yükselmesi düzensiz ise, kısa dönem içinde yüksek bir hidrolik seviye beklenmelidir. Bu olasılık, “en kötü durum” olarak, Ruhr Üniversitesi “FEM Programı” kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışılan örnekte atığın permeabilitesi 3×10^{-9} m/sn; kayanın permeabilitesi ise $3 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-9}$ m/sn gibi maksimum değerler olarak seçilirken, deponun dizaynıyla ilgili datalar da (hidrolik

eğim $i = 0.0005$), maksimum değerlerinde seçilmiştir. Program, bu şartlarda , deponun içinde dikey bir geçişin ancak 100 yıldan fazla bir zamanda gerçekleşebileceği hesaplanmıştır. II. zaman dilimi içinde sabit bir durum olmayacak ancak depo içindeki su seviyesi, kirleticilerin taşınmasını engelleyecek bir düzeye ulaşacaktır (Wilke ve Skrzyppek, 1996).

III. zaman diliminde, en düşük hidrolik seviye ile tekrar yeni hidrolik çevre oluşacaktır. Deponun içinden herhangi bir partikülün yüzeye taşınmasının birkaç yüzyılı alacağı hesaplanmıştır (Wilke ve Skrzyppek, 1996).

Yeraltı deposundan içme suyuna bir sızıntının olup olmadığının belirlenmesi ancak jeojen yeraltı suyunun uzun dönem incelenmesi ile mümkün olmaktadır. Ruhr bölgesinde karbonatlı, sülfatlı ve kloritli olmak üzere üç çeşit su zonu olduğu belirlenmiştir. Yerleştirilmiş atığın tümünün dahil edilebildiği bölgelerde incelemeler sürdürülmüştür. Kirleticilerin sızmasını, difüzyonunu incelemek için “Silkeleme Testi” (Shaking Test) (DIN 38414 Teil 4) ve “Basınç Ayrırma Testi” üç eksenli hücrelerde yapılmıştır. Ayrırma testi ile yapılan jeojen suyunun, demineralize suyla veya yeryüzü depoları için belirlenen limitlerle karşılaştırıldığında; yüksek oranda ağır metal (kurşun, kadmiyum, civa) içerdiği belirlenmiştir (Wilke ve Skrzyppek, 1996).

Almanya’da yapılan çalışmada basınç dayanımı ve tane boyutu dağılımı gibi fiziksel parametrelerin permeabiliteye ve kirleticilerin süzülmesine etkisi ilk defa araştırılmıştır. Termik santral külleri, basınç dayanımının etkisinin belirlenmesi amacıyla, laboratuvarı 20-50 MPa değerinde tek eksenli basınçlar kullanılarak sıkıştırılmıştır. Tane boyutu dağılımının incelenmesi için ise “Füller boyutlandırma eğrisi”ne göre sınıflandırılmışlardır. Bu testler, sıkıştırma değerinin arttırılmasıyla permeabilitenin azaldığını ortaya koymuştur. 50 MPa ile sıkıştırılan numunelerin permeabilite değerleri ($1.2 \times 10^{-8} \text{ m/sn}$), 20MPa uygulanan numunelerin permeabilite değerlerinden ($4.5 \times 10^{-7} \text{ m/sn}$) 10 kat daha düşüktür. Ayrıca basıncın arttırılması ile eluat içindeki ağır metal oranları azalmıştır. Füller boyutlandırma eğrisine göre yapılan bir boyut dağılımında ise ağır metal çıkışı en az derecededir (Wilke ve Skrzyppek, 1996).

Cevher hazırlama artıklarının yeraltına depolanmasında ise, klasifike edilmiş atıklar ve Afrika altın madenlerinde kullanılan toplam artık dolgusu olarak edilen dolgu kullanılmaktadır. Toplam dolgu sistemi, değişik boyuttaki artık malzemesinin depolanmasına müsade ettiği için yüzey depolamaya az miktarda artık kalmaktadır. Toplam artık dolgusu, büyük ölçüde karışımda kalan taneleri (%14-20'sinin 43 mikrondan geçtiği) içeren, homojen, şlam olarak tanımlanır. Bu karışımlar ağırlıkça %85 konsantrasyonlarda hazırlanırlar. Toplam dolgu yöntemi, çevresel olarak hassastır, ve çimento kullanımını azaltır, yeraltında boşlukları daha iyi doldurur ve yüksek arazi kontrolü sağlar. Ancak bu yöntemin ilk yatırımı yüksektir ve asit üreten atıklarda çimentolanmanın etkisi bilinmemektedir (Hassani ve diğ., 1994).

Toplam artık dolgu metodu fizibil bir uygulama olmasına rağmen yapılan çalışmalar bunun, bir çok durumda yüzey depolamasından daha ekonomik olmadığını göstermiştir. Ancak yüzey depolanmasında bir problem olduğunda ve artığın işleme tabii tutulması gerektiğinde yeraltı depolaması ekonomik olarak avantajlı konuma geçebilir. Teknolojinin gelişimine paralel olarak toplam artık dolgusunun hazırlanma ve yeraltına yollanma maliyeti azalacaktır (Hassani ve diğ., 1994).

3.2.1.2 Galerilerde, Kuyu ve Kör Kuyularda Depolama

Üretim sonucu oluşmuş hacimlere nazaran, galeriler uzun dönem açık kalan ve iyi tahkim edilmiş, gerilme dağılımı açısından stabil hacimlerdir. Ayak arkasına, ancak işletme sırasında depolama yapmak mümkün iken, galerilere depolamada, işletme sırasında veya kapatılmayı takip eden dönemlerde de depolama yapılabilmektedir. Bu da zaman ve mekan bakımından bağımsız bir iş olanağı sağlamaktadır. Açık alan olan galerilerde; atıkların taşınması açısından bir problem yoktur. Atıkların nakliyesinde; yeraltı ocakları için uyarlanmış bant tesisleri, raylı sistemler, boru hatları, tekerlekli veya paletli araçlar kullanılabilir (Kuzu ve diğ., 1996).

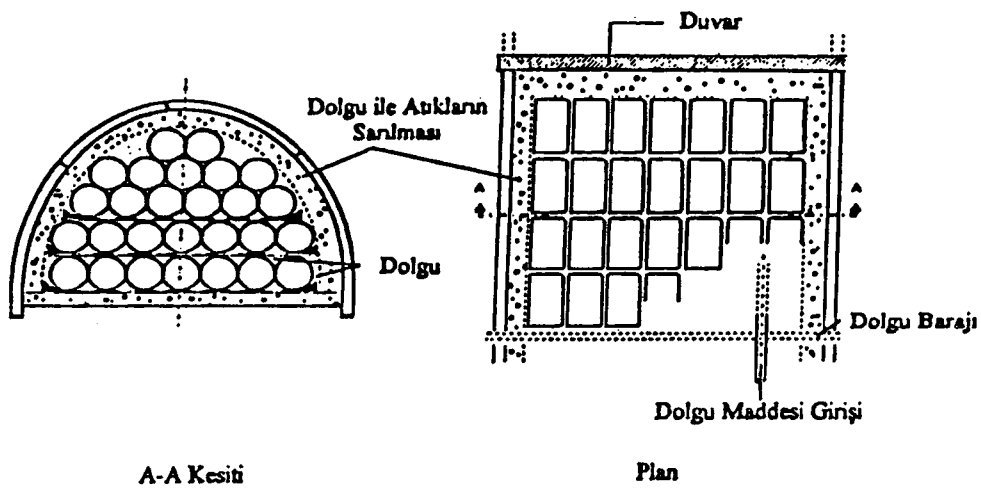
Atıklar genellikle serbest halde veya büyük torbalar içinde taşınmaktadır. Çalışanların sağlığı açısından, kritik olarak nitelendirilen atıkların özel koruyucu muhafazaya konularak atılmaları gerekmektedir. Nakliyattaki tek kısıtlayıcı unsur, atıkların

maksimum birkaç ton veya birkaç metreküp ile sınırlı hacimler ve ağırlıklar şeklinde taşınabilmesidir (Kuzu ve diğ., 1996).

Galeri depolama işlemlerinde (Şekil 3.3), atıklar her ne kadar muhafaza içinde olsalar da, galeri çeperlerine takviye yapılması, geçirimsiz özellik kazandırılması gibi hazırlık işleri gerekli olmaktadır (Kuzu ve diğ., 1996).

Galerilerin stabilitesi, üretim sonucu oluşan hacimlerin aksine herhangi bir stabilite bozucu değişiklik olmadığı sürece devam etmektedir. Bu nedenle atıklar galeriyi çevreleyen formasyona tam olarak entegre olmamakta, dolguya rağmen çeşitli boşluklar kalmaktadır. Üretim sonucu oluşan boşluklardaki üç boyutlu gerilme sonucu meydana gelen kompaktlaşma, galerilerde burada oluşmamaktadır (Kuzu ve diğ., 1996).

Galerilerde, depolamala esnasında yatay hareketler sözkonusu iken, kuyu ve kör kuyularda düşey hareketler ile depolama yapılmaktadır ki, bu da problem yaratır. Kuyu dibinde ilave yalıtım önlemlerinin alınmasının dışında, kuyularda da depolama işlemi, aynı galerilerde olduğu gibi gerçekleştirilir. Depolama yapılan hacimlerin, depolama sonrası davranışı galerilerle benzerlik göstermektedir (Kuzu ve diğ., 1996).



Şekil 3.3 Galerilerde Depolama (Kuzu ve diğ., 1996).

3.2.2 Yüzey Depolama Şekilleri

Yüzey depolama uygulamaları, “arazi dolguları” (*landfill*) ve “barajlı sistemler” (*surface impoundments*), şeklinde gerçekleşmektedir. Belediye atıkları ve tehlikeli atıklar genellikle, *landfill*, arazi dolguları şeklinde depolanırken, barajlı sistemler de maden artıklarının ve küllerin depolanmasında uygulanmaktadır.

Yüzey depolama sistemlerinin; değişik işletme fonksiyonlarında devamlı kontrolün sağlanması gerekliliği, iyi bir akış dağıtım sistemi hazırlığının şart olması, kirlenmiş alanlardan gelen drenajın ayrılması, depolama için geniş bir alana ihtiyaç duyulması (bu gereksinim reklamasyon aşamasında problemlere neden olmaktadır), toz ve erozyon problemleri gibi dezavantajları bulunmaktadır (Hassani ve diğ., 1994).

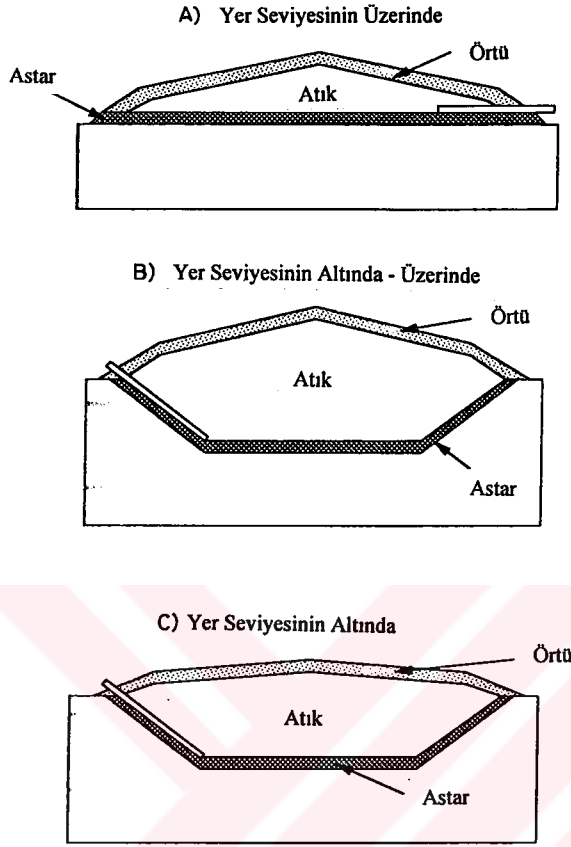
Çevre problemlerine ek olarak, yeni çevre koruma kanunları ve depolama arazilerinin azalması nedeniyle yüzey depolama maliyetlerinin, gelecekte artacağı beklenmektedir. Bu nedenle, atık depolama projelerinin mühendislik tasarımlarında göz önüne alınması gereken önemli parametreler, teknik üstünlük, çevresel güvenlik ve düşük maliyettir (Sevim, 1996).

3.2.2.1 Arazi Dolguları (*Landfill*)

Arazi dolguları (*landfill*), istenilmeyen, kullanılmayan atıkların son depolama alanlarıdır. Bu yüzyılın ortalarına kadar, hemen hemen her tür atık, açık ve mühendislik dizaynı olmayan yığınlar halinde bertaraf edilmekteydi. Çukur alanlar, kullanımda olan veya çalışmaları tamamlanmış maden sahaları en çok kullanılan döküm yerleriydi. *Landfill* uygulamaları, II. Dünya Savaşı'nın hemen ardından yaygınlaşmıştır (Daniel, 1993).

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi depolar; yer seviyesinin üzerinde, altında veya yer seviyesinin altında-üzerinde olmak üzere, orijinal arazi seviyesine göre üç farklı şekilde sınıflanabilir. Depo hacminin yeraltı su seviyesine göre konumu dikkate alınarak

yapılan bir başka sınıflandırmada ise, yeraltı su seviyesinin altında ve üzerinde olmak üzere iki depolama şekli mevcuttur (Kuzu ve Diğ.,1996) (Daniel,1993).



Şekil 3.4: Arazı dolguları: (a) yer seviyesinin üzerinde; (b) yer seviyesinin altında-üzerinde; (c) yer seviyesinin altında (Daniel,1993).

Yer seviyesi üzerinde inşaa edilen *landfill*, genellikle yeraltı su seviyesinin sığ olduğu alanlarda tercih edilmektedir. Oluşan liç bu tip *landfill*de yerçekimi ile uzaklaştırılabilmekte ve sızdırmazlık tabakaları yer seviyesinde inşaa edildiği için inşaatı daha kolay olmaktadır. Kısmen yer seviyesinin altında inşaa edilen *landfill*, belirlenen alana daha fazla atık depolama imkanı sağlamaktadır. Bu alanın kazılması sonucunda ortaya çıkan malzeme, depolama işlemlerinde günlük örtü olarak kullanılabilir. Ayrıca depolama işlemi bittikten sonra oluşturulan düz yüzeyler, park, bahçe olarak değerlendirilebilmektedir (Daniel, 1993).

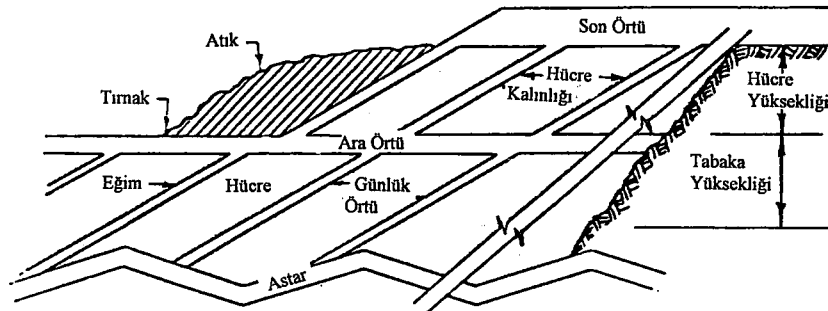
Landfill yönteminde temel amaç atıkların kazılmış bir boşluğa yerleştirilmesi ve kapatma sonrasında tüm deponun orjinal arazi seviyesinin altında kalmasıdır. Erozyon

ihtimalini düşüren bu metod uranyum atıkları için genellikle tek yöntemdir. Bu yöntemin, maden atıkları için, önceden açılmış maden sahaları kullanılmadıkça, uygulanan diğer yöntemlere nazaran maliyeti daha yüksektir (EPA report, 1985).

Deponun açık işletme sahası içinde uygun bir yere yapılması mümkündür ancak zararlı atıkların depolanmasında, biyosfere ulaşımın engellenmesi için deponun mümkün olan en derin seviyede oluşturulması gerekmektedir. Yerüstü depolamalarında iş organizasyonu ve buna bağlı düzenlemeler yeraltı ocaklarına göre daha esnek olmaktadır. Yüzeeye yakın inşaa edilen depolama hacimlerin enbüyük avantajı, depoda meydana gelebilecek herhangi bir hasarın giderilebilmesi, gereğinde depolanan atıkların tekrar geri alınabilmesidir (Kuzu ve Diğ., 1996).

Belediye Atık Depoları

Belediye atık depolarında, Şekil 3.5’de gösterildiği gibi atıklar hücreler şeklinde oluşturulan *landfill* içinde depolanır. Her çalışma günü sonunda, hücre “günlük örtü” olarak tanımlanan toprak katmanı ile kapatıldıktan sonra sıkıştırılır. Hücrenin boyutları gelen atık miktarına ve örtü malzemesinin kullanılabilirliğine bağlı olarak değişmektedir. Hücre kalınlığı genellikle 4.6 m’dir.



Şekil 3.5 Belediye Atık Depolarında Çalışma Sistemi (Oweis ve Khera,1990)

Atıkların kamyonlardan depoya döküldükleri bölge “çalışma şevi”(working face) olarak isimlendirilir ve şevin eğimi 3:1’dir. Bu eğim, deponun yan yüzeylerinde etkili sıkıştırmayı, kolay kapatmayı ve bitkilendirmeyi sağlamak için uygundur. İyi bir sıkıştırmanın yapılması için gevşek atık kalınlığı 0.6m olarak belirlenmiştir. Sıkıştırma

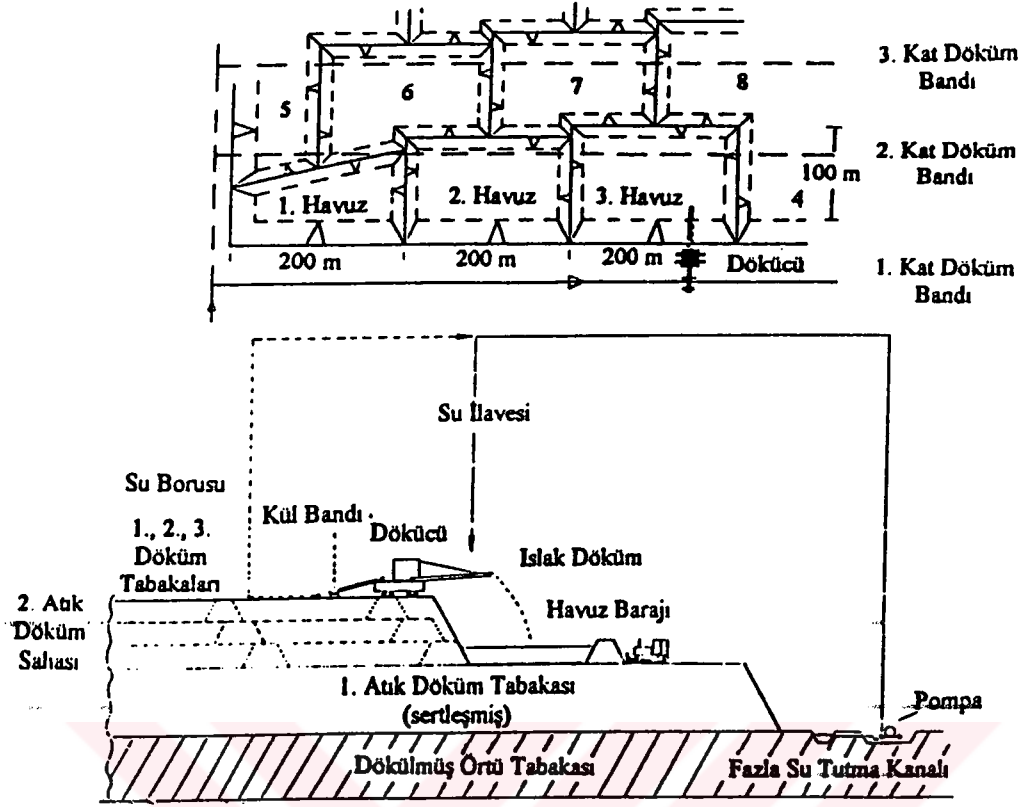
aracı çalışma şevinin altından yukarıya doğru hareket etmektedir. Günlük örtü kalınlığı 15-30cm'dir. (Günümüzde; bazı durumlarda günlük örtünün yerine köpükler kullanılmaktadır.) Amaç çöplerin dağılmasını önlemek, nem ve gaz sızıntısını minimize etmek, kemirgen ve böcek kontrolünü ve genel estetiği sağlamaktır (Oweis ve Khera, 1990) (Daniel, 1993).

Küllerin *Landfill*'lerde Depolanması

Açık işletmelerde kazı sonrası oluşan açıklıklar özellikle büyük miktarlarda termik santral atıklarının (uçucu kül, curuf, jips) depolanması için uygun hacimler oluşturmaktadır. Federal Almanya'daki Rheinbraun İşletmesi'ne ait uygulama trapez kesitli, bir *landfill*'dir. Bu uygulamada eğim; tabanda 1:70, yan yüzeylerde ise 1:2.5-1:3 olarak belirlenmiştir. Taban ve yan duvarlar, açık ocak kazısından elde edilen kilin yalıtım tabakası olarak kullanılmasıyla geçirimsiz hale getirilmiştir. 20 cm kalınlığında üç tabaka halinde serilen malzemenin permeabilitesi tabanda 1×10^{-9} m/sn, kapakta ise 1×10^{-10} m/sn değerinin üzerindedir. Gerekli olduğu durumlarda jeomembran, kil tabakaları ile kullanılarak kompozit astar halinde yalıtım amacıyla kullanılmaktadır.

Almanya'da Ren Havzası'ndaki açık linyit işletmelerinde ise havuz (polder) yöntemi kullanılmaktadır. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, uygulamada, depolama hacminin bir hamlede tümüyle doldurulması yerine, *landfill* hacmi içinde havuzlar oluşturulmakta ve bu havuzlar sırayla doldurulmaktadır (Kuzu ve diğ., 1996).

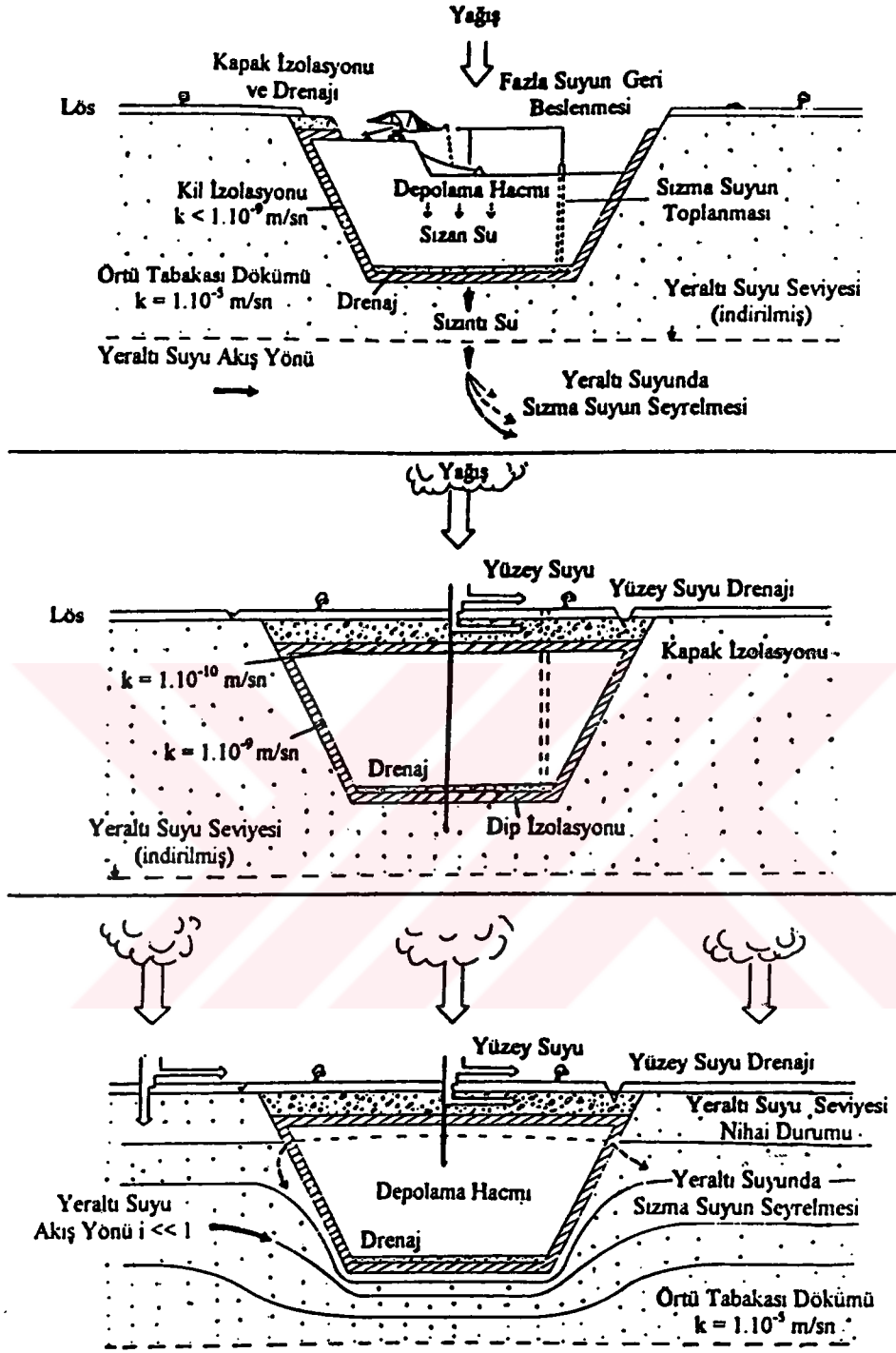
Açık ocaklarda küllerin depolamasında, işletme, geçiş ve nihai durum olmak üzere üç ayrı aşamadaki durum incelenmiştir (Şekil 3.7). Depolama hacminin en alt ve en üst kısmında iki ayrı drenaj tabakası oluşturulmuştur. İşletme döneminde en alttaki drenaj tabakası burada toplanabilecek suların uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Bu sular atık dökülürken ilave edilen, ağırlıkça %50 oranında, proses suyu ve yağışlardan kaynaklanmaktadır. Drenaj tabakasında tutulan fazla su tekrar atık dökme devresine beslenerek, kapalı devre oluşturulmaktadır (Kuzu ve diğ., 1996).



Şekil 3.6 Atık Depolamasında Polder Yöntemi (Kuzu ve diğ.,1996).

Geçiş döneminde, depodaki çalışma tamamlandığında, depo üzeri kil tabakası ile kapatılmakta, üzerine tarıma yönelik çalışmalar için 2 m, ormancılık için 3-4 m kalınlığında toprak tabaka yerleştirilmektedir. Bu dönemde su atımı işlemine son verilmesiyle yeraltı seviyesi yükselmektedir. Depolama hacmi içindeki su seviyesinin yükselmesi, yalıtım tabakaları nedeniyle daha yavaş bir şekilde gelişmektedir. Bu sırada depodan dışarı su çıkmamakta, bunun yerine dışarıdan içeriye doğru bir akım oluşmakta, bu olay yeraltı su seviyesinin orijinal değerine yükselmesine kadar devam etmektedir (Kuzu ve diğ.,1996).

Son dönemde ise, yeraltı su seviyesi başlangıç konumuna erişmiştir. Depo ile onu çevreleyen formasyonların permeabiliteleri farklı ve çevre formasyonlardaki hidrolik eğim değeri çok küçük (0.005) olması nedeniyle, yeraltı suyu depolama hacminin etrafında dolaşmaktadır (Kuzu ve diğ., 1996).



Şekil 3.7 Açık Ocaklarda Depolamanın İşletme, Geçiş ve Nihai Durum Aşamaları (Kuzu ve diğ.,1996).

Deneyimlere göre, termik santral külü ağırlıkça %25-30 oranında su içermesi durumunda hidrolojik özelliklerini tam olarak aktive edebilmektedir. Burada belirleyici faktör olan $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ oranının 0.1:1 değerinden büyük olması

gerekmektedir. Uygun miktarda su ilavesi ile (ağırlıkça %8-12 oranında su taşıma esnasında toz yayılımına karşı tedbir olarak mevcuttur) CaO - CaSO_4 - AlO_3 - SiO_2 - H_2O madde sistemleri içinde sertleşme ve bağlamanın olduğu kimyasal ve mineralojik bir proses başlamaktadır. Burada CaO 'nun su ile birleşmesi sonucunda Ca(OH)_2 , reaktif madde olarak uçucu kül ile reaksiyona girer ve Kalsiyum - Silikat - Hidrat (C - S - H) fazları meydana gelir. Ayrıca Ca(OH)_2 alüminyum ve anhidrit sülfat veya jips ile reaksiyonu sonucunda Ca - Al - Sülfat - Hidrat'ları oluşturmaktadır. Her iki reaksiyonda da Ca(OH)_2 parçalanmaktadır. Ortamda klorür bulunması reaksiyonu hızlandırmaktadır. C-S-H fazlarının yanı sıra, ettringit, monosülfat hidrat, kalsit gibi yeni mineralojik oluşumlar da görülmektedir. Meydana gelen yeni oluşumlar ve mineraller su içinde daha düşük bir çözünürlük göstermektedirler. Ayrıca oluşan mineraller küldeki porların içini doldurarak permeabiliteyi 1×10^{-8} - 1×10^{-9} m/sn, basınç dayanımını da 5 N/mm^2 ulaştırmışlardır (Kuzu ve diğ., 1996).

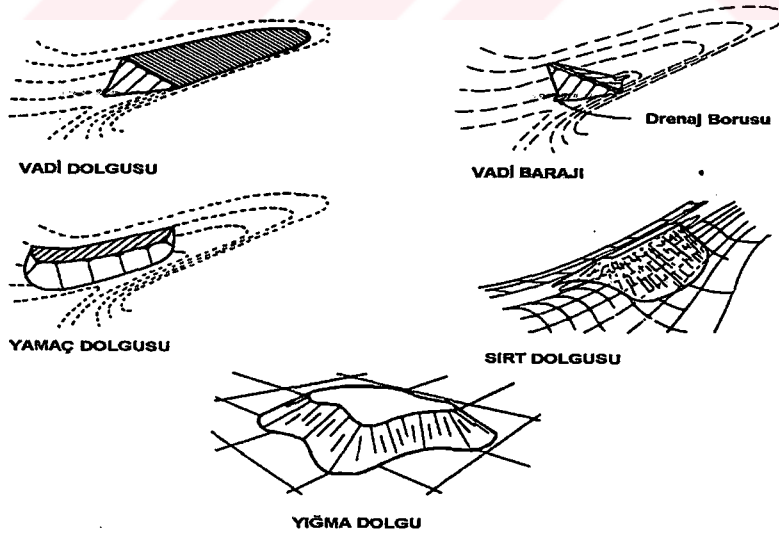
Ayrıca atıklar, fazla su eklenmeksizin, sadece taşınması esnasındaki %8-12 nem oranıyla da depolanabilmektedir. Bu durumda alttaki drenaj tabakasında su tutma işlemine gerek kalmamaktadır. Hidrolojik özelliklerinin aktive olabilmesi için gerekli su, yağışlardan sağlanmaktadır (Kuzu ve diğ., 1996).

3.2.2.2 Barajlı Sistemler “*Surface Impoundments*”

Barajlı Sistemler “*surface impoundments*”, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da görüldüğü gibi göletsiz (dolgulu) ve göletli olmak üzere sınıflandırılır. Göletli tesislerde, ince atık, göleti meydana getiren baraj duvarlarının arkasına şlam şeklinde depolanır. Baraj duvarları, genellikle, iri atıklardan inşaa edilir. Yeteri kadar iri atık olmadığında, dışarıdan getirilen kaya ve toprak malzemesi de bu baraj duvarlarının yapımında kullanılabilir. Göletsiz (dolgulu) tesislerin duvarları ise, iri atık; ve suyu alınmış ince atığın iri atıkla karıştırılmasından ortaya çıkan malzemeyle yapılabilir.

3.2.2.2.1 Göletsiz (Dolgulu) Depolama Tesisleri

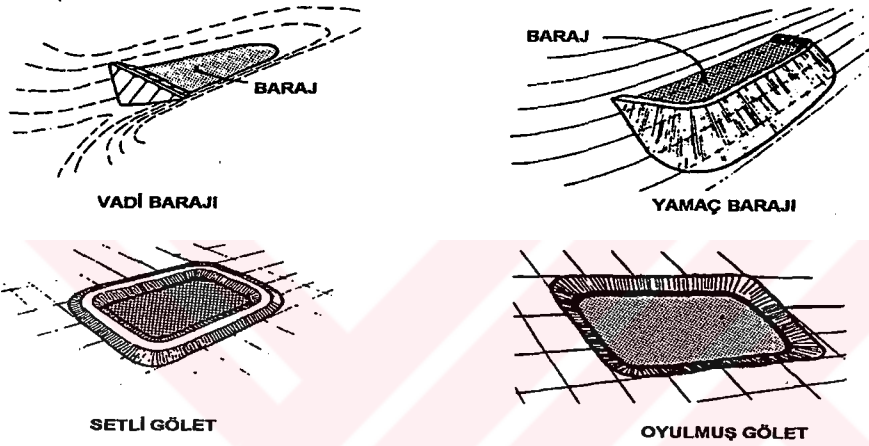
- Vadi dolgusu (*Valley fill*): Bu sistemde, atık, vadinin içini doldurmaktadır. Genellikle, dolgu, üst baştan başlayıp alt başa doğru ilerler. Bazen de, önce, vadi çıkışı bir setle kapatılır ve daha sonra, vadi, setten başlayarak yukarıya doğru doldurulur. Eğer ince atık depolanacaksa, suyu alındıktan sonra depolanır. Su birikimini önlemek için, dolgunun yüzeyi düzeltilir veya eğim verilir (Sevim,1996).
- Yamaç dolgusu (*Side hill*): Set, bir vadi veya tepenin yamacı boyunca oluşturulur. *Vadi dolgusunda* olduğu gibi, göletlenmeyi önlemek için dolgunun üst yüzeyi düzeltilir veya üst yüzeye eğim verilir.
- Sırt dolgusu (*Ridge*): Dolgu, sırtın en yüksek seviyesinden başlayarak, sırtın her iki yamacına doğru yapılır. Bu tür dolgulama da tepelik arazilere çok uygundur.
- Yığma dolgu (*Heaped*): Dolgu, oldukça düz bir arazi üzerinde, yığın şeklinde gelişir. Göllenmeyi önlemek için, dolgunun üst yüzeyi devamlı bakımda tutulur ve düzeltilir.



Şekil 3.8 Göletsiz (Dolgulu) Atık Depolama Şekilleri (Sevim,1996)

3.2.2.2 Göletli Depolama Tesisleri

- Vadi barajı (*Cross valley*): Bu tip depolama tesisi, genellikle, tepelik arazide uygulanır. Baraj, vadi çıkışını kapatacak şekilde kurulur ve klâsik su barajına benzer ancak vadi menba tarafına doğru, diğer uygulamalarda olduğu gibi tamamiyle doldurulmaz. Tasarlanmış bir drenaj plânı yoktur ve arkasında bir gölet meydana getirir. Bu tip yapılar genellikle ince kömür atıkları ve atık şamlarının depolanması, tutulması için kullanılırlar (Sevim,1996) (Zahl ve diğ.; 1992).



Şekil 3.9 Göletli Atık Depolama Şekilleri (Sevim,1996)

- Yamaç barajı (*Side hill*): Barajlı yapılar da tepelik arazilerde uygulanır. Baraj, yamaç veya vadi boyunca uzanır, fakat, vadi barajında olduğu gibi, vadinin çıkışını kapatmaz. Gölet oluşturabilmek için baraj duvarının her iki ucu setlerle kapatılır. Bu tip yapılar su veya şlam halindeki atıkları depolamak için kullanılır (Sevim, 1996).

- Setli gölet (*Diked pond*): Bu tip yapılar, genellikle, düz arazilerde uygulanır. Baraj, göleti içinde bulunduran kapalı bir set gibidir. Setlerin yapımında, genellikle, iri atık ve gölet sahasından çıkarılan malzemenin karışımı kullanılır. İnce atık, iri atıktan oluşmuş set içine depolandığında bu yapı "setli gölet" ismini alırken, malzemenin homojen ve iri olduğu durumlarda yapı "yığma dolgu" ismini alır (Sevim, 1996) (Zahl ve diğ., 1992).

- Oyulmuş gölet (*Incised pond*): Bu tip yapılarda, setli göletler gibi, düz arazide uygulanır. Yeryüzü seviyesinden aşağıya doğru kazılmış geniş bir çukurun sulu çamur ile doldurulmasından ortaya çıkan bir gölettir. Kazıdan çıkan malzeme, çukurun etrafına yığılıp burada kullanılabileceği gibi, başka bir sahaya da taşınabilmektedir (Sevim, 1996).

Göletli depolama sisteminde kullanılan, barajlar 3.3 bölüm başlığı altında ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.3 Barajlar

1970’li yıllardan önce; atık bertaraf siteleri, genellikle madene veya zenginleştirme ünitelerine en kolay ulaşılabilecek konumda olan vadilere veya dere yataklarına inşaa edilirdi. Günümüzde, geçmişe nazaran daha düşük tenörlü cevherlerin varlığı ve zenginleştirme yöntemlerinin gelişimine paralel olarak bu cevherlerin işlenebilmesi, artık miktarlarında artışa neden olmuştur. Ayrıca, teknolojinin gelişimine bağlı olarak tesislerde kullanılan kimyasal maddelerin çevre sağlığı açısından zararlı olması ve çevre ile ilgili sıkı yönetmeliklerin getirilmesiyle artık bertarafının planlı bir şekilde yapılması günümüzde zorunlu hale gelmiştir (Karadeniz, 1996).

Artık barajları, Amerika’da 1900’lerin başından beri cevher hazırlama tesislerinde kullanılmaktadır. Bir artık barajının maliyeti cevher hazırlama tesisinin kuruluş maliyetinin yaklaşık %20’si kadar bir miktara ulaşabilmektedir (EPA report, 1985).

3.3.1 Artık Barajlarının İnşaat Teknikleri

Cevher zenginleştirme atıkları için kullanılan baraj sistemlerinde su barajlarında uygulanan inşaa teknikleri kullanılabilmekte ancak bu sistem yüksek maaliyet getirmektedir. Bu nedenle, artık malzemenin yapı malzemesi olarak kullanıldığı ve depolanan malzemenin özelliklerinden faydalanılarak geliştirilen daha ekonomik inşaat teknikleri geliştirilmiştir.

Artıklar için dizayn edilen barajların su toplama barajlarından ayrıcalıkları şu şekilde özetlenebilir (Yıldıran, 1986):

- Barajda toplanan malzeme yumuşak, gevşek ve nispeten geçirimsizdir. Akışkanlıkları, malzemedeki ince tane oranına, yığılma süresine ve ortamdaki su tablasına bağlı olarak katı ve yarı katı arasında değişmektedir.
- Baraj gövdesinin büyük bir bölümü artığın iri boyutlu kısmından inşaa edilmektedir.
- Baraj yapımı, ilk başlangıç setinin yapımından sonra artıkların depolanması ile birlikte gelişmektedir.
- Artıklar depolandıktan sonra çökmeleri sonucunda meydana gelen gerilim çatlakları baraj gövdesinden sızmalara neden olabilmektedir.

Genel olarak üç farklı artık barajı inşaat metodu bulunmaktadır:

- 1) Başyukarı veya akıntıya karşı ilerletimli "*Upstream method*"
- 2) Başaşağı veya akıntı yönünde ilerletimli "*Downstream method*"
- 3) Merkez hattı veya her iki yönde ilerletimli "*Centerline method*"

İnşaat masrafların faaliyet ömrü boyunca yaymak amacıyla, artığın veya havuzun içindeki malzemenin seviyesi yükseldikçe barajın da seviyesinin yükseltilmesi; bu üç tip uygulamada ortak yöndür (EPA report, 1985).

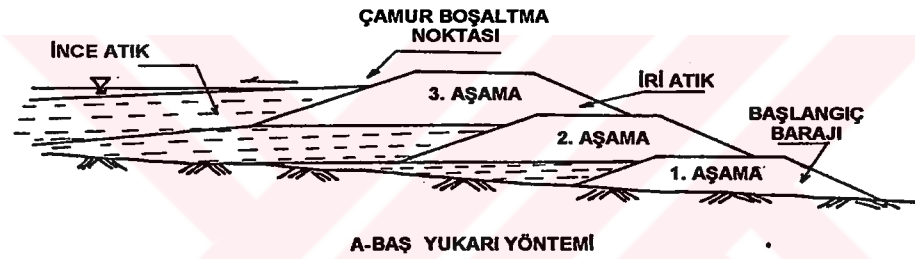
Bu uygulamalarda başlangıç seti veya barajı tipik olarak doğal topraktan inşaa edilebileceği gibi bu iş için maden atığının kendisi de kullanılabilir. Stabilitate bozulması, barajdan aşma (overtopping) ve sismik aktiviteler sonucu yıkılma tehlikelerinin azaltılması için, barajın içine iç filtrelerin ve su yollarının yapılmasıyla su seviyesi düşürülür. Yakalama alanının azaltılması için, barajın çevresine saptırma kanalları yapmak ve operasyona ve mevsimsel değişikliklere uygun dikkatli bir giriş ve çıkış suyu kontrolü yapmak, uygulanan diğer koruyucu önlemlerdir (EPA report, 1985). Artık barajları inşaat yöntemleriyle ilgili özellikler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Atık Barajları İnşaat Yöntemleri ile İlgili Özellikler (Zahl ve diğ., 1992)

Baraj Tipi	Artık Özellikleri	Boşaltım Özellikleri	Su Tutma Uygunluğu	Sismik Dayanım	Yüksetilme Hızı Sınırlamaları	Baraj Dolgu Özellikleri	Bağlı Baraj Maliyeti
Başyukarı	Tüm atık içinde en az %40-50 oranında kum boyutlu malzeme. Parça boyutu dağılımı ve ayrımının sağlanabilmesi için düşük şlam yoğunluğu	Çevresel boşaltım ve iyi kontrollü bir sahil	Çok miktarda su tutmaya elverişli değil	Aktif sismik alanlarda zayıf	5-10m/yıl'dan daha az değerler uygundur. 15m/yıl değeri zararlı olabilir	Doğal toprak, kum boyutlu artık veya maden atığı	Düşük
Başasağı	Tüm atıklar için uygun	Dizayna göre değişir	İyi	İyi	Böyle bir sınırlama yoktur	Üretim oranları yeterli ise kum boyutlu artık veya maden atığı veya doğal toprak	Yüksek
Merkez Hattı	Kum veya düşük plastisite değeri ince malzeme (slime)	Nominal sahil boyutu. Gerekliğinde çevresel boşaltım	Daimi su tutulması için uygun değildir. Uygun dizayn detayları ile geçici sel depolaması kabul edilebilir	Kabul edilebilir	Yüksek kısıtlamalar özel yükselmeler için uygulanabilir	Üretim oranları yeterli ise kum boyutlu artık veya maden atığı veya doğal toprak	Orta derecede

3.3.1.1 Başyukarı veya Akıntıya Karşı İlerletimli Yöntem “Upstream Method”

Bu yöntemde, artıklarda en az %40-60 oranında kum boyutunda (+75 mikron) tanelerin bulunması gerekmektedir. İnşaat sırasında, ilk olarak doğal taş ve topraktan, ilk iki-üç yıllık gereksinimi karşılayacak büyüklükte bir başlangıç seti, depolama alanının en dip noktasına (vadinin mansabına) inşaa edilir. İnce atık bu barajın arkasına depolanır. Şekil 3.10’da görüldüğü gibi daha sonraki aşamada; iri atıktan oluşturulan yeni setler, bir kısmı önceki barajın üzerine, bir kısmı da zamanla suyu süzülen ve çökelen ince atığın üzerine gelecek şekilde inşaa edilir. Menba kısmına doğru, bu şekilde baraj seviyesi yükseltilerek dolgu işlemine devam edilmektedir (Sevim, 1994) (Yıldıran, 1986 (a)).



Şekil 3.10 Başyukarı veya Akıntıya Karşı İlerletimli Yöntem “upstream method” (Sevim, 1996)

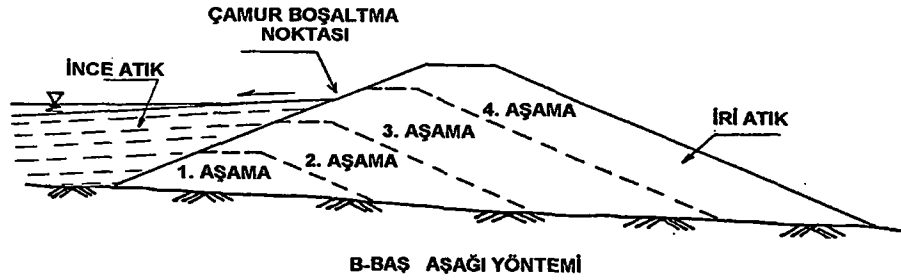
Artıklar, siklon devrelerinden (cycloning) geçirilerek veya doğal akış (spigotting) yöntemleri ile baraja verilir. Siklonların kullanıldığı yöntemde; (alt akış) iri taneler baraj gövdesi yapımında kullanılırken, (üst akış) ince malzeme baraj arkasına verilmektedir. Doğal yayılımın kullanıldığı sistemlerde ise doğal bir tane boyutu ayrışması, çökme süreleri ile ilgili olarak meydana gelmektedir. İri malzeme baraj kretine yakın çökerken, ince malzeme göletin iç bölgelerine doğru taşınmaktadır. Artık, baraj gövdesi üzerinden boşaltılabildiği gibi, depo alanının bir ucundan da boşaltılabilmektedir (Yıldıran, 1986(a)) (Zahl ve diğ., 1992; s.1170-1180) (Daniel, 1993)

Diğer iki inşaat yöntemine göre daha az artık malzemesi kullanılması, inşaatının kolay ve ekonomik olması başyukarı yönteminin avantajlarıdır. Ancak bu yöntemde; ilave setlerin çökelen ince atığın üzerine inşaa edilmesi, ince atığın basınç gücünün bu setlerin basıncını taşıyacak şekilde olmasını gerekli kılmaktadır. Aynı nedenlerle, barajın yükseltilmesi hızlı bir şekilde yapılamamaktadır. Hızlı bir inşaat sonucu, yeni setler iyi çökmemiş, içinde boşluk bulunan atıklar üzerine yerleştirileceğinden, baraj sismik aktivitelere hasas olmakta, ve böyle bir olasılıkta gövdesinde sıvılaşmalar ve patlamalar meydana gelebilmektedir. Ayrıca bu sistem büyük miktarlarda atık ve su depolanması için uygun değildir (Yıldıran, 1986) (Sevim, 1996) (EPA report, 1985).

3.3.1.2 Başaşağı veya Akıntı Yönünde İlerletimli Yöntem “*Downsream method*”

Bu yöntemde, baraj Şekil 3.11’de görüldüğü gibi geçirimsiz olması istenilen başlangıç barajından başlayarak aşağıya doğru (mansap tarafına) geliştirilir. Geçirimsiz başlangıç barajı, bir sızıntı bariyeri olarak işlem görür ve baraj içindeki su seviyesini kontrol eder. Yeni iri atık tamamen eski iri atığın üzerine, ince atık ince malzemenin üzerine yığılmakta ve baraj merkezi aşağı doğru kaydırılmaktadır. Bu yöntemle aşağıya doğru yeteri kadar uygun arazi ve iri artık malzeme olduğu müddetçe, oldukça yüksek dolgular yapılabilmektedir (Sevim, 1994) (Yıldıran, 1987) (EPA report, 1985) (Zahl ve diğ., 1992; s.1170-1180).

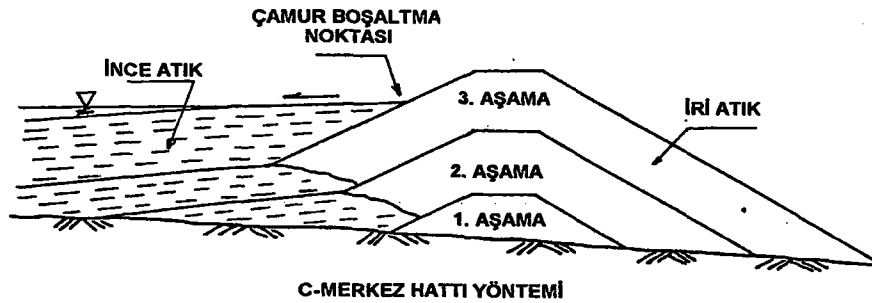
Yeni iri artık malzeme tamamen eski iri atığın üzerine, ince atık ince malzemenin üzerine yığıldığı için bu tür barajların, diğer iki yönteme göre daha güvenli olduğu iddia edilmektedir. Her türlü atık için uygun olan bu sistem su depolanması için de kullanılabilir. Baraj gövdesi içindeki su seviyesi gövde içine yerleştirilen drenaj sistemi ile istenilen düzeyde tutulabileceği için sismik şoklara karşı dayanıklıdır. Tüm avantajlarına rağmen, bu sistemin inşaatı için çok fazla dolgu malzemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Setlerin yükseltilmesiyle ihtiyaç duyulan miktar artmakta, bu da masrafları fazlaştırmaktadır (Sevim, 1994) (Yıldıran, 1987). Amerika’da başaşağı barajları, Missouri’de kurşun ve Florida’da fosfat endüstrisinde kullanılmaktadır (EPA report, 1985).



Şekil 3.11 Başaşağı veya Akıntı Yönünde İlerletimli Yöntem “Downstream Method” (Sevim, 1996)

3.3.1.3 Merkez Hattı veya Her İki Yönde İlerletimli Yöntem “Centerline method”

Merkez hattı yönteminde Şekil 3.12’de görüldüğü gibi iri atık malzeme başlangıç setinin her iki yakasına yığılarak geliştirilir. Yeni setlerin merkez noktası (tepe noktası) başlangıç setininkiyle aynı düşey düzlem üzerindedir (Sevim, 1996) (Yıldıran, 1987).



Şekil 3.12 Merkez Hattı veya Her İki Yönde İlerletimli Yöntem “Centerline method” (Sevim, 1996)

Merkez hattı yöntemi başaşağı ve başyukarı yöntemlerinin avantajlarını taşımaktadır. Bu yöntem, dik araziler ve başyukarı yönteminin ince atıklar için yeterli depolama sahası temin edemediği yerlerde tercih edilmektedir (Sevim, 1994) (Yıldıran, 1987).

3.3.2 Barajlı Yöntemlerle Külün Depolanması

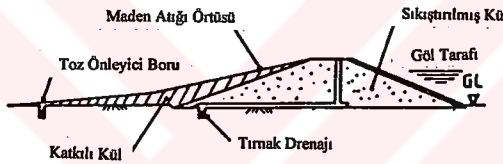
İngiltere’de göletli depolama tesisleri geniş olarak British Coal tarafından, kömür hazırlama tesislerinden gelen atıkları ve şamları depolamak için kullanılmaktadır. Aynı yapılar sulu külün depolanması için de uygundur. Maden atıklarından yapılmış atık lagoon setlerinin dizayn kriterleri ve inşaat yöntemleri kül depolama yapıları için de uygulanabilmektedir. Aşağıdaki faktörler British Coal tarafından göletli setlerinin yapılmasında dikkate alınmaktadır (Rainbow ve Skarzynska, 1987):

- Yapının amacı ve boyutları
- Eğimli arazi üzerinde yer alan setin temelının stabilitesi (setin alt tabanının ve yamaçlarının stabilitesinin araştırılması gerekecektir)
- Setin çevresinde yeraltı ve yüzey sularının durumu
- Su sızıntıları için zayıf düzlemler ve yollar oluşturabilecek maden sübidansları
- Atığın yoğunluğu ve nem içeriği
- Boyut dağılımına, nem içeriğine ve yoğunluğa bağlı kesme dayanımı ve permeabilite değerleri
- Atığın permeabilitesi ve kesme dayanımı inşaat metodundan ve bu sıradaki mevsim şartlarından etkilenmektedir. Mevsim şartlarına ve inşaat trafiğine uzun süre maruz kalmış atık içinde zayıf düzlemler oluşturabilmektedir.
- Zamanla atık dayanım özellikleri değişebilir.
- Fiziksel karakteristiğine göre atığı zonlara ayırmak, uygulama kolaylığı sağlar. Örneğin iyi kalitede malzemenin setin dış eğimlerine dökülmesi erozyonu engelleyeceği gibi dik eğimlerin inşasına da olanak tanır.
- İnşaat metodu ve kontrolün tipi (göletli setlerin düzgün yapımını sağlayan inşaat mühendisliği metodlarının günlük kontrolleri için uygun olan)
- Sözleşme ve kontrat zorunlulukları ve sorumlulukları

Külün depolanmasında genel teknik, şlam halindeki külün santralden havuza gönderildiği hidrolik taşıma sisteminin kullanılmasıdır. Döküm sisteminden boşaltılan kül, sete yakın bölgede bir kıyı şeridi oluşturmaktadır. Kül depolamasının detayları ne olursa olsun, sulu şekilde depolanan kül göletli bir yapıya ihtiyaç göstermektedir (Rainbow ve Skarzynska, 1987)

Polonya’da alternatif bir sistem uygulanmaktadır. Kuru kül demiryolu ile özel dizayn edilmiş vagonlarla depo alanına taşınmakta; bu vagonlar içindeki kuru kül, hidromonitorlar vasıtasıyla (su ile yıkanarak) çıkartılarak, kül-su karışımının havuza yayılması sağlanmaktadır. Havuz yüzeyi, sulu olarak pompalanan kül miktarı ile karşılaştırıldığında, oransız olarak büyük ise, şlam eğimli kül yelpazesi üzerinde ince izler şeklinde akarak gölet yüzeyinde akan küçük kül yelpazeleri oluşturur (Rainbow ve Skarzynska, 1987)

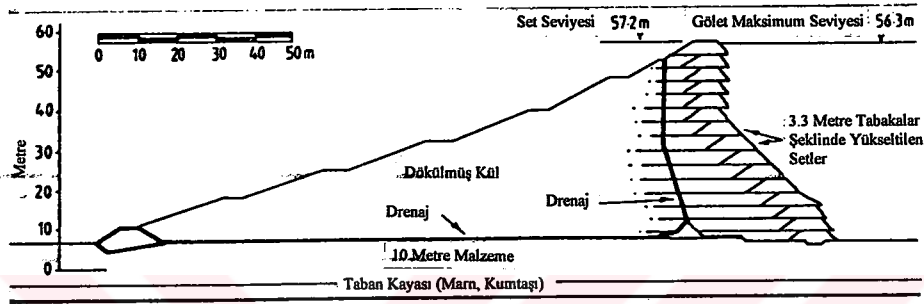
Gölet inşaatı, kül üretim miktarını karşılayacak ve alanın peyzaj gerekliliklerine göre dizayn edilir. Havuzlar bu nedenle, tek büyük bir baraj olarak inşaa edilmektense, su içeren setler serisi olarak dizayn edilir ve geliştirilirler. Tipik bir başlangıç seti Şekil 3.13’de verilmiştir (Longannet Termik Santrali) (Rainbow ve Skarzynska, 1987)



Şekil 3.13 Tipik Başlangıç Seti (Rainbow ve Skarzynska, 1987)

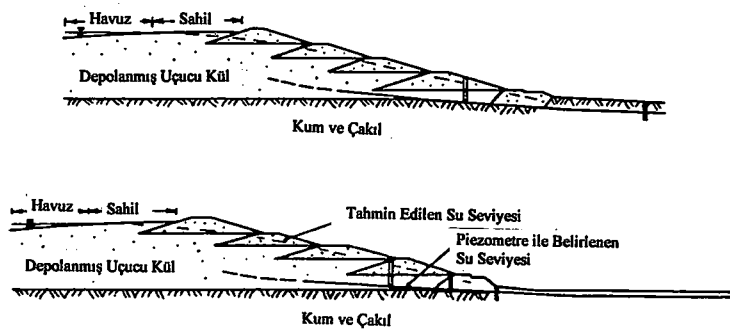
İngiltere’de, başlangıç seti konvansiyonel malzemeden inşaa edilmiş barajlı depolama sistemlerinde, en çok kullanılan malzeme kondisyonlanmış küldür. Külün depolanması için yapılacak göletli barajlar için gerekli olan malzeme miktarı çok fazladır, bunun için konvansiyonel atık içeren set malzemesi yerine külün veya maden atığının kullanılması; başka bir yöntemle bertaraf edilecek maden atıklarının kullanılmasını ve iki endüstri için de maliyetlerde kazanç sağlamaktadır. Başlangıç havuzu külle doldurulduktan sonra, başlangıç setinin kıyı şeridinde önceden dökülmüş ve kurumuş küller dozerlerle kazılarak setin yükseltilmesinde kullanılır. Daha sonra külden inşaa edilen bu setin arkası yine külle doldurulur ve başlangıçta yapılan işlemler tekrar edilerek döngü devam eder. Kondisyonlanmış külle set inşaatı daha önceleri uygun görülmemekteydi, ancak günümüzde bu teknik kullanılarak bir çok set inşaa edilmektedir (Rainbow ve Skarzynska, 1987). Ülkemizde de Bölüm 5’te ayrıntalarıyla anlatılan Çayırhan Termik Santrali’nde bu yöntem uygulanmaktadır.

İngiltere’de kül depoları için yapılan en büyük göletler Gale Cooman’dadır. Setlerde kullanılan maden atığının amacı, her çökme havuzunda serbest duran su ile setlerin yükseltilmesinde kullanılan kuru kül arasında geçirimsiz ve dalgalara dayanıklı bariyer oluşturmaktır. Şekil 3.14’de kül ve maden atıkları ile 3.3 m yüksekliğinde tabakalar halinde inşaa edilmişlerdir. Malzeme 100 mm kalınlığında %7-10 nem içerikli tabakalar şeklinde, yapışmanın sağlana bilmesi için silindirlerle sıkıştırılmıştır (Rainbow ve Skarzynska, 1987)



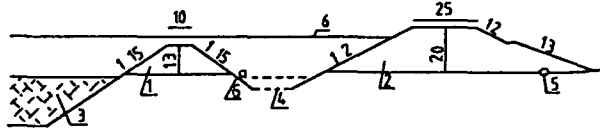
Şekil 3.14 Gale Common’daki Kül Döküm Göleti Kesiti (Rainbow ve Skarzynska, 1987)

Polonya’da, kül barajlarının inşaatında “başyukarı yöntemi” çok kullanılan bir yöntemdir. Başlangıç seti kum ve çakılla inşaa edilirken, barajın yükseltilmesi için yapılan setlerde kurumuş kıyı şeridindeki küller kullanılır (Şekil 3.15). Şu an Polonya’daki (Silesia Bölgesi) en yüksek kül barajı 70 hektarlık bir alanı kaplamakta ve 35m yüksekliğe çıkmaktadır (Rainbow ve Skarzynska, 1987).



Şekil 3.15 Polonya, Silesia Bölgesindeki Tipik Kül Göleti Kesiti

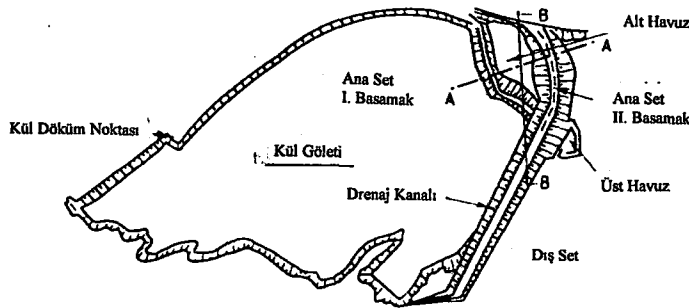
Yine Polonya'daki Przechlebei'deki başka bir kül barajı, su basmış eski terkedilmiş bir kum ocağına yapılmıştır. Termik santralden küller 79 yılına kadar buraya kuru olarak dökülmüş, daha sonra vagonlarla kuru olarak taşınan küllerin hidromonitorlar kullanılarak ıslak şekilde boşaltılma sistemine geçilmiştir. Şekil 3.16'da görülen baraj 940 m uzunluğunda, 20 m yüksekliğindedir ve baraj iki aşamada yapılmıştır.. Plan görünümü Şekil 3.17'de verilen bu baraj Polonya'daki, kül depolanması için tamamı maden atıklarından yapılan en geniş barajdır (Rainbow ve Skarzynska, 1987).



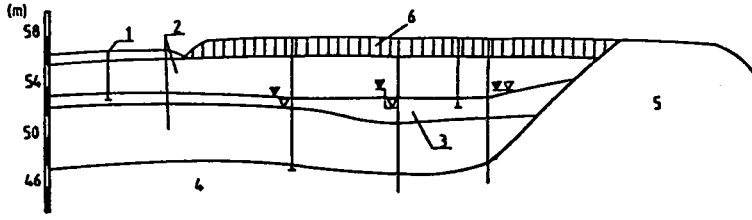
- | | |
|------------------------------------|--|
| 1) I. Basamak Seti | 4) Maden Atığı ile Doldurulmuş Alt-Havuz |
| 2) II. Basamak Seti | 5) Drenaj Sistemi |
| 3) Suyla Dolmuş Eski Kazılmış Alan | 6) Kül Yüzeyi |

Şekil 3.16 Przechlebei'deki Ana Kül Barajı Kesiti

Göletin daha fazla yüklenmesi durumunda, setlerin ve depo edilmiş külün dayanım özellikleri gerekebilir. Bu durumda, zayıf kül yığınları üzerinde ek incelemeler yapmak tehlikeli olabilir. Çalışmaların güvenli bir şekilde yürütülebilmesi için külün üzerinde uygun çalışma platformu hazırlanır. Vane testleri yüzeyden 3 ile 20 m derine kadar olan bölgede yürütülmüş ve numuneler bu platformun civarından alınmıştır (Rainbow ve Skarzynska, 1987)



Şekil 3.17 Kül Göletinin ve Setlerin Plan Görünüşü



- | | |
|--|--------------------|
| 1) Gevşek | 4) Göletin tabanı |
| 2) Orta derecede sıkıştırılmış | 5) Ana set |
| 3) Sıkıştırılmış ve yüksek sıkıştırılmış | 6) Deney platformu |

Şekil 3.18 Przezchlebie'deki Deney Platformu Altındaki Sıkışmış Kül Zonları (Rainbow ve Skarzynska, 1987)

Şekil 3.18'de görüldüğü gibi külün dikey kesitinde dört ana zon elde edilmiştir.

- 1-2 m kalınlığında yüzey zonu; çok gevşek yüzey dayanımı $15-30 \text{ kN/m}^2$
- 1-2 m kalınlığında geçiş zonu; orta derecede sıkıştırılmış; kesme dayanımı; $40-150 \text{ kN/m}^2$
- 0.5-1 m kalınlığında yüksek sıkıştırılmış zon, kesme dayanımı 250 kN/m^2 'den büyük
- Yüksek sıkıştırılmış zonun altında yer alan zon, kesme dayanımı $80-180 \text{ kN/m}^2$ arasında değişiyor. Kül yığınlarında kısmen yüksek sıkışma yeraltı su seviyesinin devamlı değiştiği bu bölgelerde olduğu sonucu çıkartılabilir (Rainbow ve Skarzynska, 1987)

3.3.3 Mühendislik Tasarımı

Atık depolama tesislerinin tasarımında, ortaya çıkabilecek en kötü senaryo göz önünde bulundurulmalıdır. Böyle bir senaryo, barajın veya dolgunun ulaşabileceği en yüksek seviye, suyun ulaşabileceği en yüksek seviye, suya doymuş hale gelmiş zemin ve de sismik olayların varlığının göz önüne alınmasıyla ortaya çıkabilir. Su depolama barajlarının yapımı için geliştirilen teknoloji, en kötü şartlar göz önüne alınarak geliştirildiği için, artık tesislerinin tasarımında ve yapımında da kullanılabilir (Sevim, 1996)

Yüzey araştırmaları, jeolojik, topoğrafik ve zemin araştırma haritalarından yürütülürken, yeraltı araştırmaları, arazi ve lâboratuvar deneyleriyle gerçekleştirilmektedir. Önemli arazi deneylerinden bazıları şunlardır (Sevim, 1996):

- Şev stabilitesi tasarımı için kesme dayanım deneyi
- Sızma analizi tasarımı için permeabilite deneyi
- Depolama tesislerinin yeraltı su kaynaklarına ve deponun aşağı kısmında bulunan yerüstü su kaynaklarına etkisini tahmin edebilmek için yer altı su seviyesi, su akış yönü ve su kalitesi deneyleri

- Önemli laboratuvar deneylerinden bazıları ise şunlardır (Sevim, 1996):
- Yığın ve filtre-drenaj sistemleri yapımında malzeme seçimi için indeks tayini; tane boyutu dağılımı, Atterberg limiti, yoğunluk deneyleri
- Sızma analizi için permeabilite deneyi
- Şev stabilitesi, ani yanma ve asidik su akıntısı tasarımlarında kullanılmak üzere, malzemenin kesme dayanımı ve permeabilitesindeki değişikliklerin önceden tahmini için sıkıştırma deneyi
- Drenaj sistemlerinin tasarımında kullanılmak üzere malzeme çökme karakteristiklerinin tayini için konsolidasyon deneyi

Çevresel açıdan güvenli ve ekonomik bir atık depolama tesisinin tasarımı için; arazi ve laboratuvar deney sonuçları dikkatlice incelenir; deneyler arasında ilişkiler kurulur. Yapılan en önemli analizler; sızma, şev stabilitesi, hidrojeoloji, hidrolik, çevresel etki analizleri ve ekonomik analizlerdir. Bu analizlere dayanarak, mühendisler; atık sahasının seçimi, atık tesisinin tipi, taşıma ve toprak sıkıştırma donanımlarının seçimi, her aşamadaki dolgu planının tasarımı, atık dolgu metodu ve düzeni, drenaj ve hidrolik sistemlerinin tasarımı, ölçme ve kalite kontrol programlarının yapımı hakkında kararlar alabilir (Sevim, 1996).

3.3.3.1 Sızma Analizi

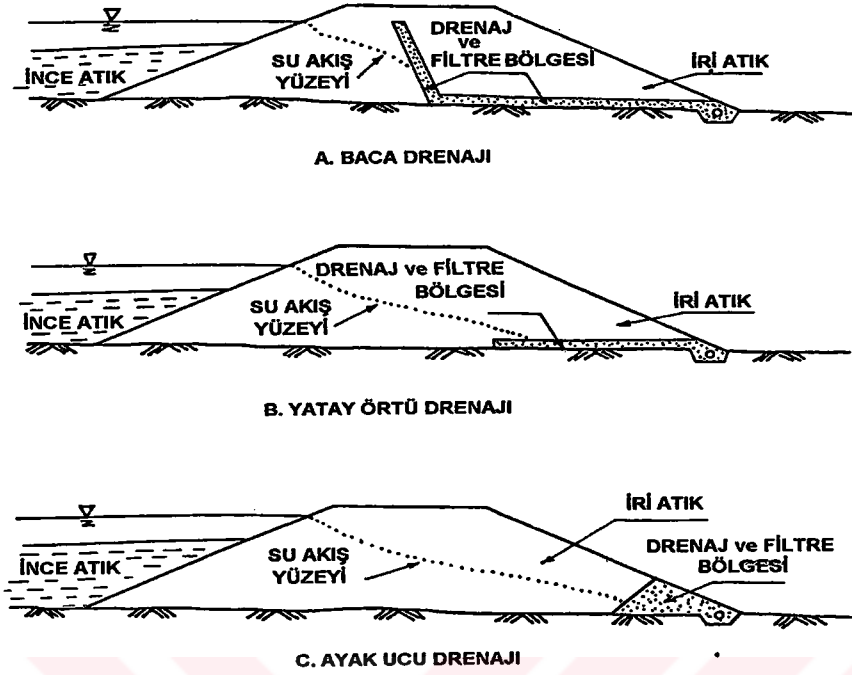
Suyun, basınç farklarından dolayı, geçiş imkânı veren malzemenin boşluklarından akma işlemi *sızma* olarak tanımlanmaktadır. Su baraj gövdesinden sızabildiği gibi,

göletin temelindeki malzeme geçirgen yapıda ise, temelin içinde de sızıntının gerçekleşmesi mümkündür. Bunun önlenmesi için; dolgu yapımından önce, tesisin tabanı, kil gibi geçirimsiz bir malzeme ile kaplanmaktadır (Sevim, 1996).

Sızmanın kontrol edilmediği durumlarda, depo mutlaka zarar görmektedir. Bilinen dolgu göçme türlerinden ikisi, doğrudan sızma olayı ile ilgilidir. Birinci tür göçme olayında, boşluk suyu basıncı, (sızmaya karşı direncin yüksek olması nedeniyle) yavaş sızma yüzünden yükselir ve su akış seviyesi, dolgunun tasarımında düşünülen seviyenin üstüne çıkar. Bunun sonucunda şev kayması başlar ve dolgunun göçmesine sebep olur. Dolgunun içinde veya ön tarafında, yüksek hidrolik basınç oluşmasından kaynaklanan (*piping*), ikinci göçme türüdür. *Borulanma*, sızan suyun, dolguyu terkettiği kısımda veya dolgunun içinde, ince tanelerden oluşmuş bir kısımdan kalın tanelerden oluşmuş bir kısma geçiş sırasında, ince taneli malzemeyi beraberinde taşımasıdır (Sevim, 1996) (Karadeniz, 1996).

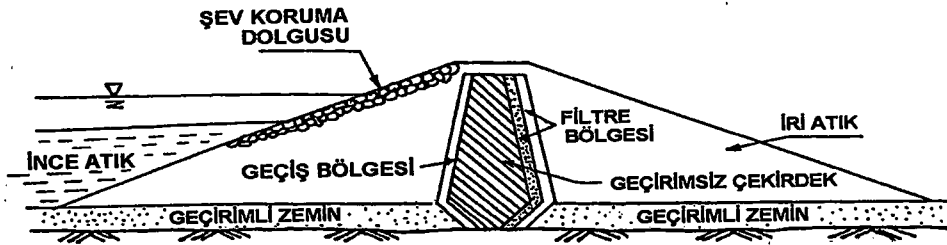
Boşluk suyu basıncının düşürülmesiyle sağlanabilen, sızma kontrolünün amacı, depolarda akıntıları en düşük seviyeye indirmek ve böylece suyla malzeme taşınmasını önleyerek tesisin stabilitesini korumaktır. Boşluk suyu basıncının kontrolü, sızan suyun, geçirimli drenaj bölgelerine, özellikle, dolgunun altında veya içinde oluşturulacak kanallara yönltilmesiyle sağlanabilmektedir (Sevim, 1996).

En çok bilinen üç sızma kontrol sistemi, Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Atık dolguları, tabakalar halinde inşaa edildikleri için, düşey doğrultudaki sızma hızı, yatay doğrultudakinden daha azdır. Dolayısıyla, tehlike, daha çok yatay sızmadadır ve bu sızma, düşey bir drenaj zonu tarafından kesilmediği sürece, devam eder. Şekil 3.19 a' da görülen *baca drenajı*, sızma yollarını hem yatay hem de düşey doğrultularda kestiği için en etkili olanıdır. Bu uygulamanın tek dezavantajı drenaj sisteminin, dolguyla aynı zamanda yapımının gerekmesidir. Şekil 3.19 b 'deki *yatay örtü* ve Şekil 3.19 c' de görülen *ayak ucu* drenaj sistemlerinin avantajı, yapılarının, dolgu yapımından bağımsız olarak sürdürülebilmesidir, ancak bu uygulamalar dolgunun üst seviyelerinde yatay sızmayı kesmekte etkisizdirler (Sevim, 1996).



Şekil 3.19 Üç Farklı Sızma Kontrol Sistemi (Sevim, 1996).

Yatay sızma akımını en düşük seviyeye düşürebilmek için Şekil 3.20’de gösterilen, su barajları için kullanılan bölgesel dolgu yöntemi kullanılır. Silt taşı veya kil taşı gibi yumuşak kayalardan ufalanan zemin malzemeleri ve kil ve silt gibi koluvial zemin malzemeleri, *geçirimsiz çekirdek* için kullanılan en uygun malzemelerdir (Sevim, 1996).



Şekil 3.20 Geçirimsiz Çekirdek ile Sızmanın Önlenmesi (Sevim, 1996).

Sızma kontrol sistemlerinin tasarımı için, dolgu içinde, suya doymuş doymamış bölgelerin arasındaki yüzey olarak tanımlanan su akış yüzeyinin ve sızma hattının bilinmesini gereklidir. Su barajlarının tasarımında, denge durumundaki su akış

yüzeyini tahmin etmek için *akış ağırları (flow nets)* yöntemi kullanılırken; dolgu geometrisinin ve malzeme geçirgenliğinin devamlı değişmekte olduğu atık depolama tesislerinde, bu yüzeyin tespiti kolay değildir. Bu problemi çözümü için, makul bir yüzey seçilir ve daha sonra çeşitli noktalarda su basıncını ölçmek için baraja ve tesisin temeline piezometreler yerleştirilir. Bu ölçümlerden ortaya çıkan su akış yüzeyi, tahmin edilenden yüksekse, barajın stabilitesi kontrol edilmeli ve tasarım tekrar gözden geçirilmelidir (Sevim, 1996) (Karadeniz, 1996).

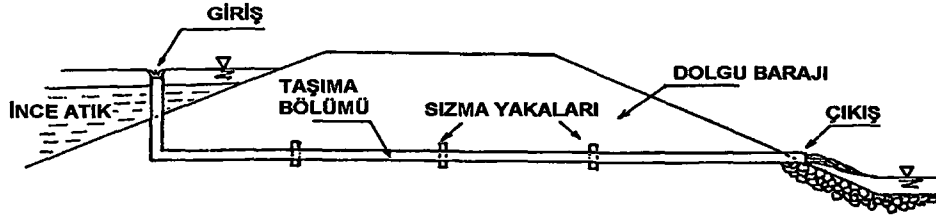
3.3.3.2 Hidroloji ve Hidrolik

Hidroloji, genel olarak, yeryüzünde, su kaynaklarının oluşumu, dağılımı ve hareketlerinin incelenmesi olarak tanımlanmaktadır. Atık depolama tesisleri, bu su kaynaklarının hareketlerinden etkilenmektedir. Yapısal bütünlüğü korumak ve tesisin içinde ve etrafında erozyonu en az seviyeye indirebilmek için, taşan suları güvenli bir şekilde önleyip tesisin içinden ve etrafından uzaklaştırmak gereklidir. Hidrolik, atık tesislerinde, su ile ilgili sorunlara çözüm bulmakta kullanılır. Bu tesislerde, *dolu savaklar, aktarmalar, künkler ile saptırma ve toplama hendekleri* kullanılan başlıca hidrolik elemanlardır (Sevim, 1996).

- ***Taşma savakları:*** Bir fırtına sırasında göletli atık tesisine gelen taşma sularının, tesisten aşağı aktarılması için kullanılan elemanlardır. Dolgu yüksekliği ve havuz seviyesinin sürekli değiştiği atık tesislerinde, sabit bir taşma savağı yapmak zordur. Bu nedenle, büyük tesislerde, taşma savakları birkaç yıllığına yapılır. Savakların taşıma bölümleri, genellikle, kanallar halinde, baraj dolgusunun vadi tarafındaki yanlarına kazılır (Sevim, 1996).

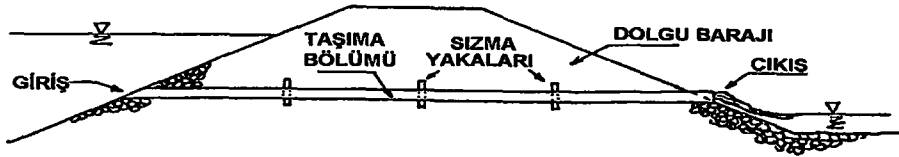
Aktarmalar: Aktarma sisteminin ana fonksiyonu, sulu çamur içindeki taneler çökeldikten sonra yüzeyde kalan suyu göletten uzaklaştırmaktır. İkinci fonksiyonu ise, küçük fırtınalarda taşan suyun boşaltılmasını ve büyük fırtınalarda taşma savağı ile birlikte fazla suların atılmasını sağlamaktır. Aktarma borusu, Şekil 3.21'deki gibi, girişi gölet seviyesinde, taşıma bölümü, dolgu barajının altında ve çıkışı ise barajın ayak ucunda olan genellikle betonarme borulardır. Göletteki sulu çamur seviyesi arttıkça

giriş borusunu yükseltmek ve sulu çamurun içindeki tanelere yeterli çökme süresi verebilmek için boru yüksekliğini ayarlamak; bu sistemin iki önemli tasarım faktörüdür (Sevim, 1996) (Yıldıran, 1986 (b)).



Şekil 3.21 Atık Tesislerinde Aktarmaların Kullanılışı (Sevim, 1996)

- **Künkler:** Hafif fırtınalarda taşan sulara karşı ulaşım yollarını korumak ve zararı en az seviyeye indirmek için yolların altına inşa edilir. Ayrıca, Şekil 3.22'de görüldüğü gibi, göletsiz dolgu sınıfındaki vadi barajı türünde, drenajı sağlamak için de künkler kullanılır. Bu tesisler, su tutmamak için tasarlandıklarından, hafif veya kuvvetli fırtınalarda dolgu barajının arkasına biriken sular, bu künkler vasıtasıyla tesisten uzaklaştırılırlar. Betonarme olan künkler, baraj dolgusunun içine yatay veya az eğimli bir şekilde ve akış yönüne paralel olarak yerleştirilirler (Sevim, 1996) (Yıldıran, 1986(b)).



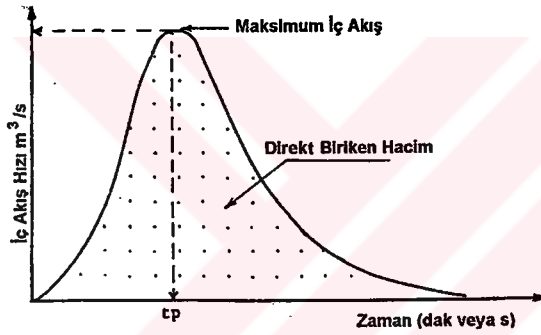
Şekil 3.22 Atık Tesislerinde Künklerin Kullanılışı (Sevim, 1996)

Saptırma ve toplama hendekleri: Saptırma hendekleri, tesise zarar verebilecek suların miktarlarını azaltmak ve bu suların tesise ulaşmadan saptırılması için, tesisin civarına kazılır. Kuvvetli bir fırtına sırasında taşabilecek tüm suları uzaklaştırabilecek kapasitede tasarlanmaları ekonomik değildir. Toplama hendekleri ise, dolgunun ve

şevin üzerinden akan suları toplamak için tesisin etrafında ve şev basamaklarında kazılır. Her iki tip hendeğin görevi de, tesisten baş aşağı arazilerde erozyon ve asidik su akıntısı neticesi oluşacak hasarı en az seviyeye indirmektir (Sevim, 1996)

Hidrolik Tasarım Prensipleri

Hidrolik sistemlerin tasarımında temel prensip, *hidrolojik sürekliliktir*. İç akış miktarı; yağış, yağış toplama alanı ve taşma miktarı gibi hidrolojik karakteristiklere bağlı iken, dış akış miktarı ve depolama kapasitesi de; taşma savakları, aktarmalar ve göletlenme alanı gibi hidrolik yapıların karakteristiklerine bağlıdır. Şekil 3.23’de tipik bir iç akış miktarı dağılımı (hidrograf) gösterilmiştir. Eğrinin altındaki alan, o fırtınadan dolayı tesisi etkileyecek taşma hacmi olmaktadır (Sevim, 1996).

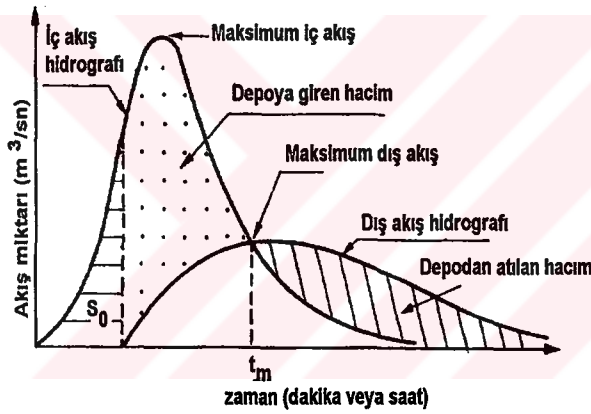


Şekil 3.23 İç Akış Hidrografi (Sevim, 1996)

Göletsiz tesisler, taşma suyunu depolama amacıyla yapılmadıklarından, maksimum iç akış ve direkt taşan hacim, hidrolik sistemlerin tasarımı için yeterli parametrelerdir. Bu tesislerin hidrolik sistemleri, seçilen *tasarım-fırtınanın (design storm)* belirttiği en yüksek iç akış miktarını geçiştirecek şekilde boyutlandırılır. Buna karşın, göletli tesislerde, iç akışın belirli bir miktarı, geçici olarak bekletilip, uygun bir süre içinde düşük miktarlarda boşaltılabileceği için, bu tesislerde *depolama-boşaltma (storage-outflow)* sistemleri, daha küçük ve ekonomik olmaktadır. Depolama göz önüne alındığında, depolama-boşaltma tesislerinin tasarımı için, iç akış miktarının zamana bağlı değişiminin bilinmesi gereklidir. Dış akış miktarının, iç akış verilerinden ve mevcut depolama kapasitesinden elde edildiği düşünüldüğünde, dış akış miktarı ile

depolama arasında bir optimum denge bulunabilir. Bu denge, *rezervuar yönlendirme* diye bilinen bir hidrolik analiz vasıtasıyla bulunmaktadır (Sevim, 1996).

Hidrolik sistemlerin, emniyetli ve ekonomik tasarımı için, seçilen *tasarım-yağıştan* (*design precipitation*) kaynaklanabilecek iç akışın, önceden tahmin edilmesi gereklidir. Bu iç akış, *rasyonel yöntem*, *anahtar parametre yöntemi* ve *hidrograf yöntemi* gibi hidrolojik yöntemlerle tahmin edilebilir. Hidrografik yöntem, bu üç yöntemin arasında en uygun olanıdır; tüm tasarımlarda, ve özellikle, rezervuar yönlendirmede kullanılır. *Hidrograf*, istenilen bir noktada (örneğin, atık tesisinde), iç akışın zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini gösterir. Hidrografın şekli; yağışın şiddetine, dağılımına ve fırtınanın süresine bağlı olduğu gibi, yağış toplama alanının boyutları, şekli, toprağın cinsi ve üzerindeki bitki örtüsü gibi faktörlere de bağlıdır (Sevim, 1996).



Şekil 3.24 İç ve Dış Akış Hidrografları (Sevim, 1996).

Dış akış hidrografisinin elde edilmesi için, önce, aktarmaların ve taşma savaklarının yükseklikleri ve kapasiteleri, rezervuar yönlendirme yöntemi ile saptanır. Şekil 3.24'te bir iç akış hidrografı, olası dış akış hidrograflarından biriyle karşılaştırılarak gösterilmiştir. Dış akış, göletteki su seviyesinin, taşma savağının seviyesine ulaştığı (t_0) zamanına kadar başlamaz. Bu arada biriken su miktarı (S_0)'dır. Göletteki su seviyesi, sürekli olarak, azami dış akışa ulaşıldığı ve dış akış ile iç akış miktarlarının eşit olduğu (t_m) zamanına kadar artar. Kaydedilmesi gereken önemli bir tasarım şartı, (t_m) zamanındaki depolama seviyesinin, en yüksek gölet seviyesinden daha yüksek olmamasıdır. *Emniyet duvarı* (*freeboard*), en yüksek gölet seviyesi ile dolu barajının

en düşük noktası arasındaki yükseklik olarak tarif edilir. Taşma savağı tasarımı, emniyet duvarının en az 1 metre olması önerilir. (Sevim, 1996).

3.3.3.3 Stabilité

Barajın stabilitesi dolgu ve temel toprağı veya kayasının makaslama dayanımına bağıdır. Baraj temeli ve baraj yapısında oluşan makaslama gerilmeleri, makaslama dayanımını aştığında baraj yıkılır. Yılmaya neden olabilecek makaslama gerilimi; barajın yüksekliğı, dolgunun birim ağırlığı, dolgunun kurulduğı yerin eğimi ve su basıncına bağıdır. Malzemenin sıkışma özelliğı baraj stabilitesini etkileyen bir faktördür. Sıkışma zamana bağı işlem olduğundan, depolama hızı yani baraj yükselme hızı sıkışma oranını belirleyen bir faktördür. Su, kohezyonu düşürerek, makaslama dayanımını düşürür. bu nedenle stabilite analizlerinde depolama alanındaki sızıntı suyu hattı (phreatic line) kontrol altına alınmalıdır. Stabilité analizinde bir diğier etkende "emniyet faktörünün" belirlenmesidir (Karadeniz, 1996) (Sevim, 1996).

3.3.4 Barajlı Depolama Sistemlerinin Çevreye Etkisi

Barajlı depolama tesislerinde, çökme tehlikesi dışında; yer üstü ve yer altı asidik su akıntısı, ani yanma (kömür gibi); erozyon ve sedimantasyon, töz incelenmesi gereken diğier konulardır (Sevim, 1996).

3.3.4.1 Yer Üstü ve Yer Altı Asidik Su Akıntısı

Atık depolama tesisinden asidik su akıntısı, sülfat içeren artık malzemenin oksitlenmesi ve suda çözünmesiyle oluşur. Önlem alınmadığı takdirde, bu asitik eriyik dolgudan dışarı sızarak yer üstü ve yer altı sularını kirlitebilir. Başarılı kirlilik kontrolü; kirliliğın kaynağında durdurulup en az seviyeye indirgenmesidir. Asidik akıntı durumunda, en iyi kontrol yöntemi, dolguda, hava şartlarının etkisine maruz kalacak yüzey miktarını azaltmaktır. Bunun için uygulanacak yöntemler; bu alanların geçirgen olmayan toprak, beton veya suyla kaplanmasıdır (Sevim, 1996) (Hassani ve diğ., 1994).

3.3.4.2 Erozyon ve Sedimentasyon

Erozyon, toprak örtüsünün çıplak kalarak hava şartlarından etkilenmesi nedeniyle ortaya çıkmakta; sedimentasyon ise, tesiste ve depolama sahasının çevresinde oluşan erozyondan kaynaklanmaktadır. Erozyon olayında, atık sahasından ve çevresinden akan suların, buralardan kopardıkları, akarsu yataklarına ve göllere taşıdıkları tanecikler, çökeliş silt tabakaları oluştururlar. Sedimentasyon, şu uygulamalarla azaltılabilir (Sevim, 1996):

- Akış yolları boyunca silt barajları yerleştirmek
- Geniş drenaj ve saptırma hendeklerinin yanaklarını taşla kaplamak veya taştan setler serpiştirmek
- Yapılandırma sahası açmak için sökülen bitki örtüsünü minimuma indirmek
- Dolgunun yüzünü ve üstünü düzeltmek
- Yolları düzeltmek, yol boyunca drenaj kanalları açmak ve aktarmalar yerleştirerek iyi bir bakım sağlamak
- Eski yapı alanlarını bitkilendirmek

Depodan taşan suları toplamak ve bu suların, kazılmış ve bozulmuş yüzeylerden söküp sürüklediği taneleri çöktürmek için, sediman havuzları yapılabilir. Bu havuzlar, genellikle, drenaj yolu üzerine ufak bir baraj yapılarak veya arazinin hafifçe çukurlaştırılmasıyla oluşturulmuş, rezervuarlar şeklinde yapılabilir. Göletli tesislerde, çöktürme havuzları, taşma sularının buraya yönlendirilmesiyle sediman havuzu görevini de üstlenebilir (Sevim, 1996).

3.3.4.3 Toz

Atık depolama tesislerinde toz, rüzgâr erozyonuna açık olan yüzeylerden kayanlanmakta veya atıkların taşınması ve boşaltılması işlemleri sonucunda oluşmaktadır. Havada oluşacak aşırı toz, çevredeki bitki örtüsü için zararlıdır. Taşıma ve boşaltma işlemlerinde oluşacak toz; tesis yollarının ve atık malzemenin üzerine, bilhassa, kurak aylarda, su serpilmesiyle engellenebilirken; depo yüzeyinden doğan toz ise, aşağıdaki işlemlerle önlenabilmektedir (Sevim, 1996):

- Ağaç veya çalı ekerek rüzgârın kesilmesini sağlamak
- Atığın üzerinin ince toprak tabakasıyla kaplanması
- Atık malzemenin üst 5-10 cm' sine saman vb.gibi maddeler döşemek

3.3.4.4 Ani Yanma

Ani yanma, artığın içindeki karbonlu elementlerin okside olup, dolgunun içinde ısıyı yükselterek yanma olayını başlatmasıdır ve kömür artıklarının depolanmasında söz konusudur. Oksijen, ani yanmayı başlatan faktör olduğundan, artığın biran önce havayla teması kesilmelidir. Bunun sağlanması için, tesise gelen atıklar mümkün olduğunca çabuk bir şekilde serilip sıkıştırılmalı ve açıkta kalan şev yüzeyleri de ince bir toprak tabakasıyla örtülmelidir. Dolgu içinde, CO ve H₂S gaz miktarlarının artması ve iç ısının yükselmesi, oksidasyon belirtileri olduğundan, gözleme programının uygulanmasıyla ani yanma erken teşhis edilebilmektedir (Sevim, 1996).

3.3.4.5 Tesisin Terkedilişi

Artık tesisleri, depolama işleminin tamamlanmasıyla, bu tür yapıların kapatılmasında geçerli kurallar uyarınca kapatılır ve arazi ıslah edilir. Önerilen kapatma işlemleri şu şekilde sıralanabilir (Sevim, 1996):

- Artık dolgusunun ve göletin ıslah etme tarihlerini de içeren bir terk etme plânı
- Terk işleminden sonra sahada birikmiş olan suların uzaklaştırılma yöntemleri
- Dolgunun ve göletin üzerini kapatacak örtü malzemesinin türü ve kalınlığı
- Örtünün ve dolgunun fiziksel ve kimyasal hazırlığı
- Ekilecek bitki türleri

Göletsiz tesislerde, yapı dikey olarak geliştikçe, dolgunun şevleri verimli toprakla kaplanıp, bitkilendirilir. Göletli tesislerde ise farklı olarak, gölette bulunan fazla su tamamen drene edilir ve ince atıkların çökeliş sıkışmaları için gerekli zaman sağlanır. Ayrıca stabiliteyi artırmak için, gölet, iri atık ve civardan alınan malzemelerle bir uçtan diğer uca doldurularak, göletin üzerinde sağlam bir kapak oluşturulur. Daha sonra her iki uygulamada da, göletlenmeleri önlemek için, depoların yüzeyi, dışbükey hale

getirilir ve verimli toprak örtü ile kaplanır. 1.2 metre kalınlığında olması tavsiye edilen toprak ve üzerindeki bitki örtüsü, tesis kapandıktan sonra meydana gelebilecek, toz, ani yanma, erozyon ve asidik su akıntılarını önler (Sevim, 1996).

Yeryüzüne Depolanan Küllerin Etkileri

Yugoslavya’da yapılan bir çalışmada, burada yaşayan canlıların yıllık ortalama 450 gram kül aldığı hesaplanmıştır. Yugoslavya’da Kül yığınları veya “yapay kül dağları” şeklinde depolana küllerin çevreye olan negatif etkileri şu şekilde özetlenebilir (Knezevic ve diğ; 1992):

- Kül ile kaplanan alan tamamen kaybolmuştur, geri kazanılması söz konusu değildir.
- Civarında bulunan alanlar, bu kül hacimlerinin kayma olasılığı ile tehdit altındadır
- Civar alanlar su ve hava kirliliği tehlikesi her zaman mevcuttur.
- Yeraltı ve yüzey suları çözölmüş tuzlar , ağır metal iyonları ile kirlenmektedir.

Yugoslavya’da düşük kaliteli “brown coal” %20 oranında; linyit ise %80 oranında enerji sektöründe kullanılmaktadır. Kömür yatağına ve temel karakteristiklere bağlı olarak; silisli, (temel bileşen %50 oranındaki SiO_2), kalsiyumlu (CaO %50 oranında) ve silis-kalsiyumlu olmak üzere üç tip kül elde edilmektedir (Knezevic ve diğ; 1992).

CaO aktif iken SiO_2 hareketsiz bileşenlerdir. Suyu temaslarında silisli küller hidrofobik olduklarından her zaman sudan uzak kalırlar. Bu tip küllerin permeabilite değerleri (10^{-5} - 10^{-6} m/sn) yüksektir kohezyonları düşüktür. Kalsiyum külleri ise suyla çok çabuk reaksiyona girer, kalsiyum hidroksite dönüşür ve havadaki CO_2 ile reaksiyona girer ve karbonizasyon prosesi sırasında kireç taşına dönüşürler, permeabilite değerleri düşüktür. Silis-kalsiyumlu küllerin suyla reaksiyonu yavaş ve sakindir, oluşan durağan kararlı bir kaya oluşturur ve permeabilite değeri düşüktür (Knezevic ve diğ; 1992).

Üç tip kül de su kirliliğine neden olmaktadır. Temel olarak kirleticiler silisli külden kaynaklanan ağır metaller ve kalsiyumlu küllerin neden olduğu yüksek alkaliliktir. Ağır

metaller ve iz elementlerin iyon miktarı kömürde çok az iken; bu iyonlar yanma sırasında külde konsantre olmaktadır. Yüksek sıcaklıklara (1000-1100°C) çıkılması sabit (durağan) sülfid formlarının oksitlere dönüşmesine neden olmaktadır. Oksitler suda çözünmez, böylece kül depolarından gelen üst akış suyunda, kurşun ve arsenik'in periyodik iyon konsantrasyon değerleri izin verilenin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Drenaj sularının incelenmesi sonucunda ağır metallere rastlanmamıştır; bu da depolanan küllerin içinden geçen bu liçteki iyonları absorbladığı olasılığı ile açıklanmaktadır. Kalsiyumlu küller veya silis-kalsiyum külleri için; yüksek alkalilikleri nedeni ile koruma önlemleri farklılık göstermektedir (Knezevic ve diğ; 1992).

Havayı, rüzgar ve hava akımları ile depolardan taşınan ince kül partikülleri kirletir. Termik santraller genellikle nehir kıyılarına kurulmaktadır; bu bölgelerde hava akımları kuvvetli ve sık oluşmaktadır. Hava kirliliğine neden olabilecek yeterli rüzgar hızı 5 m/sn'dir. Rüzgar erozyonundan korunmanın en iyi yöntemi; kül depolarının veya yığınlarının üzeri jeotekstil malzemeyle kaplamak veya kül üzerinde film oluşturacak emülsiyonlar uygulamaktır (Knezevic ve diğ; 1992).

Kül ve curuf depoları çözülmesi gerekli bir çok ekolojik probleme neden olmaktadır. Yugoslavyada'ki temel fikir, kül miktarının azaltılması ve kirliliğin önlenmesi için kömürün, termik santrallerde yakılmadan temizlenmesidir (Knezevic ve diğ; 1992)

3.3.5 Maliyet

Atık sahasının, malzeme taşıma sisteminin, atık depolama ve tesisin terkedilme metodunun belirlenmesinde, ekonomik kararlar gerekmektedir. Bu kararları etkileyecek önemli maliyetler ise (Sevim, 1996),

- Ön yatırım maliyetleri
- İşletim sırasında alet, araç, ve makine yenileme maliyetleri
- İşletme maliyeti
- İşletmeyi kapatma maliyeti
- İşletme terk edildikten sonra uzun vadede sorumluluk maliyetleridir.

Ön fizibilite çalışmalarında göz önüne alınması gereken yatırım ve işletme maliyetleri ise şunlardır (Sevim , 1996):

Yatırım Maliyeti

Saha Hazırlığı:

- Arazinin satın alınması
- Mühendislik
- Sahanın ön hazırlıkları; ulaşım yolları, temizleme
- Bitki örtüsünün kaldırılması, verimli üst toprağın kaldırılıp depolanması (tesisın kapanmasından sonra kullanılmak üzere)
- Bekletme havuzu, saptırma hendekleri

İri Atıkların Taşınması ve Depolanması Sırasında Kullanılan Donanımlar:

- Tikiner, filtre, kamyon, bantlı konveyör, sulu çamur borusu, su borusu, sulu çamur pompası, su pompası, valflar

Hidrolik sistemler:

- Taşma savakları, künkler, aktarmalar, toplama ve saptırma hendekleri,

Çeşitli masraflar:

- Vergiler, sigorta, lisans gibi

Tesis kapatma ve uzun vadeli sorumluluk maliyetleri

İşletme Maliyeti

- İşçilik
- Donanım; elektrik, benzin, bakım ve onarım, konveyör bantlarının yenilenmesi, lastikler, borular, yedek parçalar

Artık depolama metodlarının karşılaştırılması ve seçiminde, kriter olarak, "*depolanan atığın ton başına maliyeti ve depolanan atığın üretilen 1 ton cevher başına maliyeti*" kullanılabilir. Bu kriterlerin doğru olarak hesaplanması için, önce, yatırım ve işletme

maliyetlerinin doğru olarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Aşağıda, her iki kriterin hesaplanmasında takip edilecek adımlar özetlenmiştir (Sevim, 1996):

1. Ön yatırım maliyetinin hesaplanması
2. İşletim boyunca yapılacak yatırım maliyetlerinin şimdiki değerinin, uygun bir faiz oranı kullanarak bulunması
3. Birinci ve ikinci adımdaki maliyetlerin toplanıp, yatırımların şimdiki değerinin bulunması
4. Yıllık eş değer yatırım maliyetini hesaplamak için, üçüncü adımdaki maliyetin, seçilen faiz oranı kullanılarak, tesisin ömrü boyunca eşit olarak dağıtılması
5. Yıllık işletme maliyetinin hesaplanması
6. Dördüncü ve beşinci adımlardaki maliyetler toplanarak, yıllık toplam eş değer maliyetin bulunması
7. Depolanan atığın ton başına maliyetini bulabilmek için, yıllık toplam eşdeğer maliyeti yıllık atık miktarına bölünmesi
8. Depolanan artığın 1 ton cevher başına maliyetini bulmak için, yıllık toplam eşdeğer maliyeti yıllık cevher üretim miktarına bölünmesi

ABD’de Maden Bürosu’nun (Bureau of Mines) yaptığı çalışmalarda, Güney Virginia ve Batı Kentucky’de yüzey depolaması kabul edilebilir maden atıklarının 1978 fiyatlarına göre, depolanması ton başına 2.48 USD olarak belirlenmiştir (Sevim ve diğ., 1992). Bu değer %5 artışla 1998 yılı için 6.53 USD olmaktadır.

Yine ABD’de “Electric Power Research Institute” (EPRI) 1981 yılında yaptığı bir çalışmada 1 ton “akışkan yataklı yanma sistemlerinden elde edilen şlamın” (FGD sludge) yüzey depolaması için 6-28 USD maliyet belirlemiştir (Sevim ve diğ., 1992).. Bu da 1998 yılı rakamlarıyla 13-64.17 USD’ye karşılık gelmektedir

Buna paralel bir çalışma, uçucu kül için yapılmış ve 1981 yılı için, 1ton uçucu külün yüzey depolanması için 5-15 USD arasında değişen maliyet hesaplanmıştır (Sevim ve diğ., 1992). 1998 yılı için bu fiyat 11.46-34.38 USD’ye karşılık gelmektedir. Artan sıkı yönetmelikler ve arazi kullanılabilirliğinin azalması ile birlikte, yüzey depolaması maliyetlerinin ilerde artması beklenmektedir.

Genellikle, kül ve FGD şlamı birlikte depolanmakta, ayrı depolama ancak ABD'deki %2 oranında gerçekleşmektedir (Uğursal ve diğ., 1996). Kül ve FGD şlamı bertarafı ve maliyeti Bahor et al (1981); Knight ve Rothfuss (1983)'de geniş özetleri verilmiştir. Bu özetler göstermektedir (Uğursal ve diğ., 1996):

- 1) Bir depolama sisteminin maliyetini hesaplayabilmek, tahmin edebilmek için, sistemin maliyetini belirleyen kalemlerin detaylı hesabını yapmaksızın kesin bir veri tabanı yoktur.
- 2) Literatürde rapor edilen maliyetler çok değişiklikler göstermektedir. ve birbirleriyle kıyaslanmaları karşılaştırılmalı çok zordur. Zira maliyetler çok farklı durumlar için verilmiştir. Örneğin; farklı tesis büyüklükleri, değişik kömür ve prosesler, taşıma ve depolama sistemleri, değişik baz alınan yıllar, ekonomik öncelikler
- 3) Bir çok data genel olarak; hipotetik istasyonlardan belirlenen maliyet tahminleridir. bazı durumlarda bu maliyet hesaplarını belirleyen tahminler bilinmemektedir.

Şimdilerde sadece iki tane kül ve FGD şlamı bertarafı maliyet tahmin prosedürü uygulanabilmektedir. Bunlar ön hazırlık olarak detaylı dizayn çalışması ve ekipmanların kalem kalem boyutlandırma maliyetini gerekmemektedir. Ayrıca atık bertaraf maliyetlerinin hesaplanması için Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü'nde (Electric Power Research Institute [EPRI]) iki adet bilgisayar programı mevcuttur. ASHDAL; kül bertaraf maliyet hesapları için, SLUDGECOST ise kül ve FGD şlamı bertaraf maliyeti için geliştirilmiştir (Uğursal ve diğ., 1996).

BÖLÜM 4

ASTAR SİSTEMLERİ

Amerika’da Kaynak Korunumu ve Kazanılması Yasası (RCRA)’dan önce birçok depo, hiçbir önlem alınmadan, sadece araziye döküm şeklinde çalıştırılmaktaydı. Bu döküm alanlarının, yakın bölgelere olan etkilerine önem verilmemekteydi. Liçin, yeryüzü sularına veya özellikle yeraltı sularına, içme suyu akiferlerine karışması, sızması önemli değildi. Bütün bunların engellenmesi için; EPA, RCRA’nın Altbaşlık-C ve Altbaşlık-D yönetmeliklerinin kendine verdiği yetkiye dayanarak, zararlı ve zararsız atıklar için minimum depolama şartlarını belirleyen yönetmelikler getirmiştir (Daniel, 1993, s.97-112) (Sharma ve Lewis, 1994, s.368-390). Bu yönetmeliklerle, atık depolarının liçin dışarı sızmasını engelleyecek özellikte astar sistemleri ile inşaa edilmesi şart koşulmuş ve astar sistemleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

4.1 Astar Sistemleri ve Bileşenleri

Astar sistemleri, deponun tabanında ve faaliyet tamamlandığında deponun üzerinde olmak üzere iki farklı konumda kullanılarak deponun yalıtımını sağlamaktadırlar. Taban astar sisteminin görevi; oluşan liçi tutmak ve aşağıya sızarak yeraltı sularını kirletmesini engellemektir. Örtü astar sisteminin görevi ise, depoya girebilecek yağışlara ve süzülen diğer sulara bariyer oluşturarak liç oluşumunu minimuma indirmektir (Sharma ve Lewis, 1994, s.368-390).

“Astar sistemi”, liç toplama/sızıntı belirleme sistemlerini, astarları ve özel yapısal bileşenleri (filtre tabakaları veya destekleme elamanları) içermektedir (EPA/625-6-88/018).

- Düşük-permeabiliteli kil astarlar
- Esnek membran astarlar (FML) (flexible membrane liners)
- Liç toplama ve uzaklaştırma sistemleri (LCRS) (Leachate collection and removal systems)

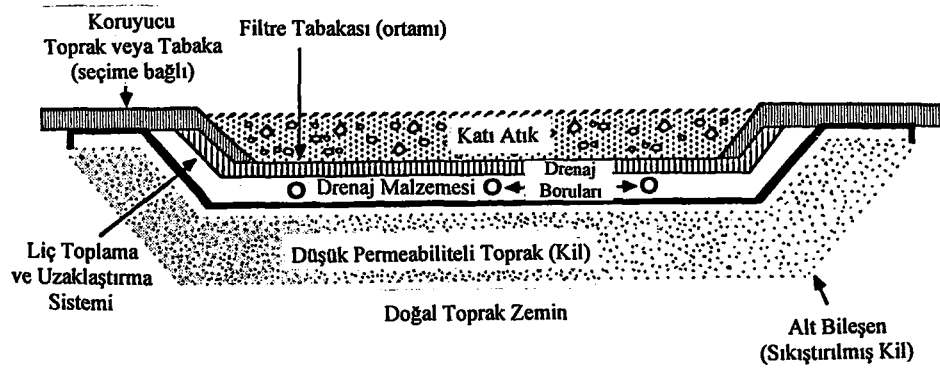
“astar sistemleri”nin ana elemanlarıdır (EPA/625-6-88/018).

Taban ve örtü astar sistemlerinin kısaca tanımları yapılmış ve astar bileşenleri olan kil, jeosentetik malzemeler ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu bölümde drenaj sistemlerinden de kısaca bahsedilmiştir.

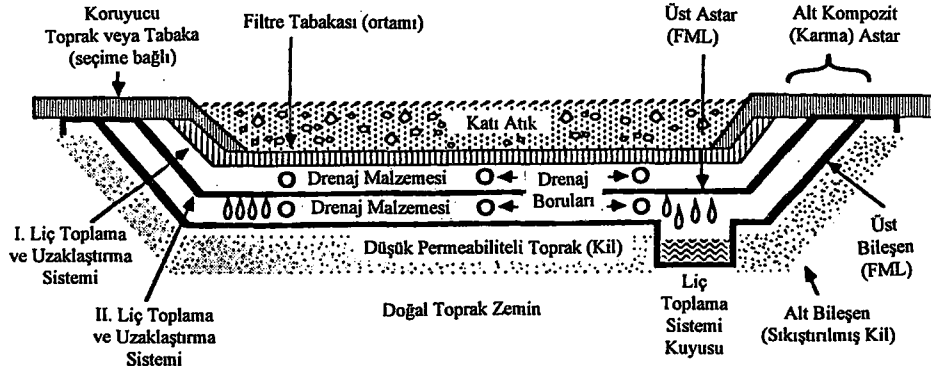
4.1.1 Taban Astar Sistemleri

1980’lerden önce taban astarları 0.3-0.5 m kalınlığında, düşük permeabiliteli sıkıştırılmış kilden ibaretti. Kil tabakalarının jeomembranlarla kullanıldığı, drenaj tabakalarını da içeren sofistike astar sistemleri ancak 1980 yılından sonra yaygınlaşmıştır (EPA/625-6-88/018).

EPA’nın zararlı atık ve zararsız atık depo taban astarları için önerdiği minimum şartlar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Zararlı Atık Depoları, Tek Tabakalı Astar sistemi (EPA/625-6-88/018)

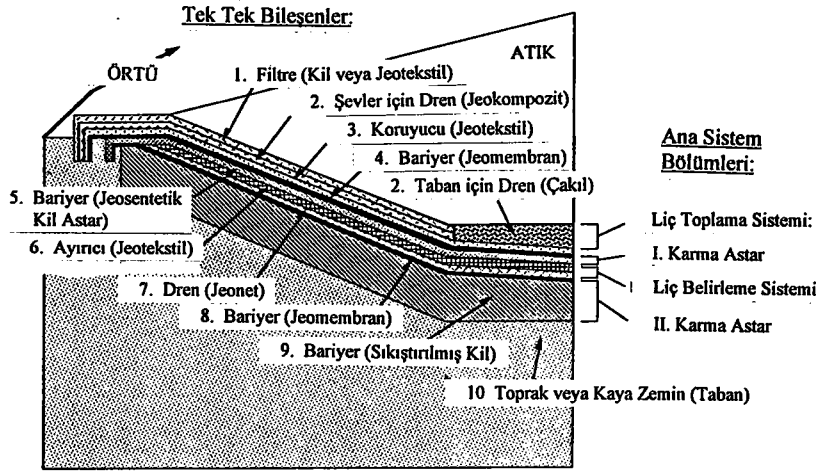


Şekil 4.2 Zararlı Atık Depoları, Çift Tabakalı Astar Sistemi (EPA/625-6-88/018)

EPA yönetmeliklerine göre; belediye atık depolarının taban astarının; 60 cm kalınlığında, minimum 1×10^{-7} cm/sn permeabilite değerli kil ve üzerinde 0.4 mm kalınlıkta jeomembrandan oluşması uygun görülmüştür (Sharma ve Lewis, 1994, s.368-390).

Güvenlik önlemi olarak, zararlı atık depolarında çift tabakadan oluşan astar sistemi kullanılmaktadır. Çift tabakalı astar sistemi, ikinci bir liç toplama belirleme sistemi ile birbirinden ayrılmış iki tabakadan oluşmaktadır. Üstteki, I. astar; alttaki ise II. astar olarak isimlendirilmektedir. Bu tabakalar sadece kil tabakasından oluşabileceği gibi karma (kompozit) astar da olabilir (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390). Şekil 4.3’de gösterildiği gibi, birinci jeomembran tek başına kullanılabildiği gibi, kil tabaka ile karma bir astar oluşturabilir veya hepsinin yerine günümüzde yaygın olan jeosentetik kil astarlar burada kullanılır.

Kil tabakalar; doğal, etkisiz ve çabuk bulunur malzeme oldukları için geçmişte kullanılmıştır ve günümüzde de kullanılmaktadır. Ayrıca killer bentonit ile karıştırılarak, istenilen düşük permeabiliteyi sağlayan malzemeler elde edilebilmektedir (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).



Şekil 4.3 Daniel ve Koerner (1991) Tarafından Önerilen Taban Astar Sistemi (Daniel, 1993)

Kil ve bentonitten oluşan astarlar lıç akış oranını minimize ettikleri halde, lıç akışını engelleyemezler. Lıç kil tarafından absorblandıktan sonra, bariyerden sızması, geçmesi artık zaman meselesidir. Bu nedenle EPA, daha düşük permeabiliteli sentetik astarlar, (flexible membrane liners (FML)) üzerine çalışmaları sürdürmektedir (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).

Çok çeşitli jeomembran olmasına rağmen birçoğu kimyasallara karşı duyarlıdır. Kimyasal maddeler karşısında bozulmalar meydana gelmektedir. Bozulmalar, jeomembran tipine, maruz kalınan kimyasalın konsantrasyonuna bağlıdır. Günümüzde, yüksek yoğunluklu polietilen (High Density Polietilen (HDPE)) jeomembranlar hem zararlı atık hem de zararsız atık depolarının taban astar sistemlerinde kullanılmaktadır. HDPE jeomembranların diğer türlere kıyasla; kimyasal dayanıklılığı ve depoyla ilgili kuvvetlere karşı gösterdiği direnç daha fazladır (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).

HDPE ve Polivinilklorür (PVC) jeomembranlar, üretim sırasında, üretim hatalarıyla ve deliklerle; inşaat sırasında yırtılmalarla ve zedelenmelerle, uygunsuz birleştirmelerle karşı karşıyadırlar. Lıçın jeomembrandaki potansiyel yırtıktan veya delikten geçmesi, bu tabakanın altına düşük permeabiliteli başka bir materyal yerleştirilmedikten sonra

engellenemez. Bu nedenle, tek başına jeomembran astarın kullanılması, kısa dönem kritik olmayan faaliyetler için, inşaat kalite sigortası şartlarına uygun olsa bile, uzun dönem liç tutma uygulamalarında önerilmemektedir (Sharma ve Lewis, 1994, s.368-390).

Kompozit astar sistemi oluşturmak için jeomembranın direkt olarak kil tabaka üzerinde kullanılmasının sinerjik bir etkisi vardır. Jeomembranlar kesinlikle boşluksuz oldukları için, kil gibi liçi absorbe etmezler. Böylece liç direkt olarak jeomembranın üzerine yerleştirilmiş olan liç toplama sistemine yönlendirilmiş olur. Jeomembranların kullanılmasının bir diğer faydası da sızıntıların azaltılmasıdır (Sharma ve Lewis, 1994, s.368-390)

Liç toplama sisteminin amacı; astar ve liç toplama, taşıma sistemi üzerindeki su seviyesinin 30 cm'den daha az olmasını sağlamaktır. Minimum su seviyesinin sağlanması herhangi bir kaza anında kirleticilerin yayılma riskini azaltmaktadır. Çift astarlı sistemlerde, ikinci liç toplama sistemi, birinci sistemde hatalı bir bölgeden sızan liçin ölçülmesi için ortam hazırlamakta, liç toplama ve uzaklaştırma işlemlerini gerçekleştirmektedir (Oweis ve Khera, 1990)

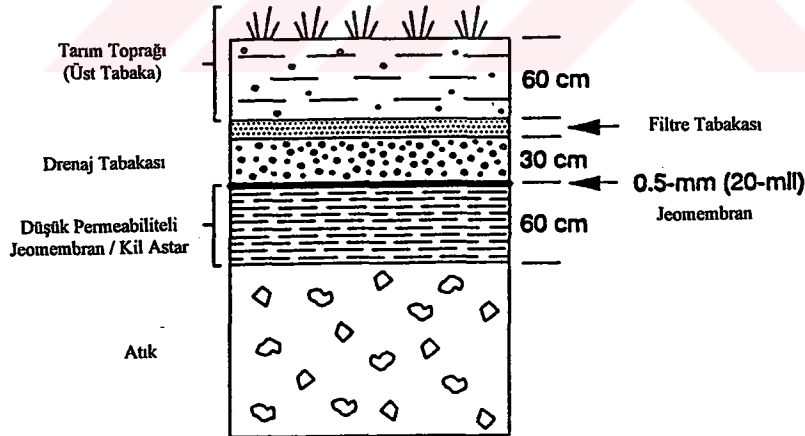
En çok merak edilen kritik sorulardan biri de arazi depolarının sızıntı yapıp yapmayacağıdır. “Sızıntı” kelimesi ile “kontROLSÜZ bir boşaltım” ifade ediliyorsa, depoda sızıntı olmayacaktır. Ancak sızıntı, herhangi bir boşaltım olarak nitelendiriliyorsa; her landfill sızıntı yapmaktadır ya da sızıntı potansiyeline sahiptir. Bilinen sızıntı materyallerinden hiçbirisi, sonsuza kadar tüm kimyasallara karşı geçirimsiz değildir. Bazı kimyasallar, iç basınç depolama alanından dışarı doğru bir kimyasal akış oluşturmaz; difüzyon ile veya *advection* ile, bütün sızdırmazlık tabakalarından sızacaktır. Bir arazi deposu dizaynının amacı; sonsuz bir zaman için tüm kimyasalların depolama alanından sızmasını önlemek değildir. Böyle bir amaç zaten gerçek dışıdır. Atıkların depolanmasında asıl konu; verilen zaman zarfında; liç içindeki atık materyalin ne kadarının depolama alanından sızacağı ve bu sızıntının çevresel etkisinin ne olacağıdır (Daniel, 1993, s.97-112).

4.1.2 Örtü Astar Sistemleri

Faaliyetin tamamlanmasından sonra, deponun kapatılmasında örtü astar sistemi kullanılmaktadır. Zararlı atıklar ve zararsız atıklar için EPA tarafından farklı sistemler önerilmiştir.

Şekil 4.4'de EPA tehlikeli atık depolarındaki örtü astar sistemlerinin minimum şartları, gösterilmiştir. Bu sisteme göre; aşağıdan yukarıya (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390):

- En az 60 cm kalınlığında ve maksimum 1×10^{-7} cm/sn permeabilite değerli toprak astar
- 0.5 mm kalınlığında jeomembran
- Minimum 30 cm kalınlığında ve 1×10^{-2} cm/sn permeabilite garantili drenaj malzemesi veya aynı karakterde jeosentetik drenaj malzemesi
- Toprak veya jeosentetik filtre tabakası (tıkanmaları önlemek için)
- Minimum 60 cm kalınlığında tarım toprağı, %3-5 oranında eğimlendirilmiş

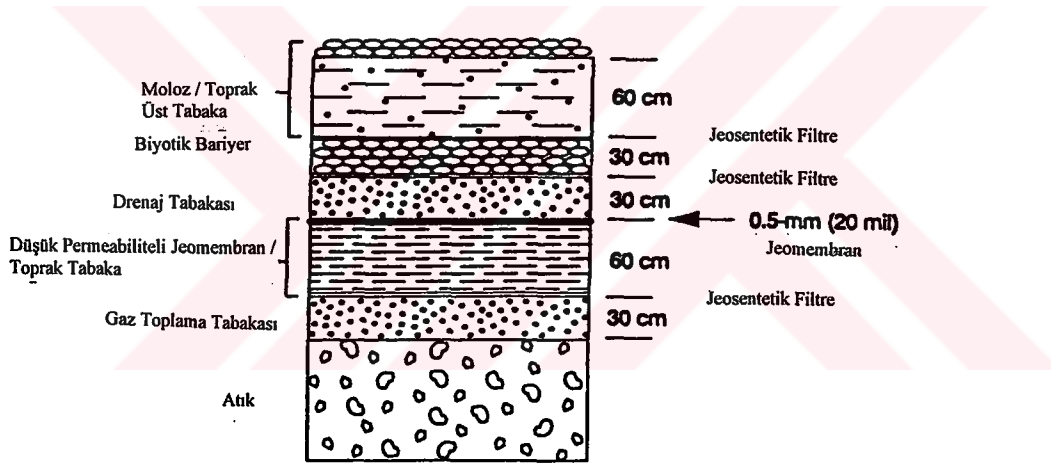


Şekil 4.4 Tehlikeli Atık Depoları Örtü Sistemi (Sharma ve Lewis, 1994)

EPA'nın D-altbaşlık yönetmeliklerinde zararsız atık depoları örtü sistemleri için belirlenen minimum koşullarda, kalınlığı en az 45 cm olan, 1×10^{-5} cm/sn permeabilite sızdırmazlık tabakası, ve üzerinde 15 cm tarım toprağı. gerekli görülmüştür. Yönetmelikte kapatma sistem permeabilitesinin, taban astar sistemininkine eşit veya

daha az olması istenmektedir. Bu nedenle, taban astarının D-altbaşlık yönetmeliklerinde belirtildiği gibi, jeomembranla örtülü 60 cm kalınlığında düşük permeabiliteli karma astar olması durumunda, örtü astar sisteminin de karma astar içermesi gerekmektedir (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).

Zararsız atıklar için önerilen, örtü astarı (Şekil 4.5), minimum şartlarda belirtilen, sızdırmazlık ve tarım toprağı tabakasına ek olarak; gaz toplama, drenaj, filtre tabakalarını ve biyotik tabaka içermektedir. Gaz toplama tabakası, atıkların bozunması sırasında meydana gelen gazların kontrollü geçişini sağlamak için gereklidir. Molozlardan oluşturulan biyotik bariyer tabakası ise, derin köklü bitkilerin ve toprağı kazan hayvanların örtü tabakasına ulaşmasını engellemek amacıyla astara yerleştirilmiştir (Sharma ve Lewis, 1994, s 368-390).



Şekil 4.5 Zararsız Atık Depoları için Önerilen Örtü Sistemi (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).

Örtü astar sistemleri, liçe karşı değil suya karşı bariyer teşkil ettikleri için taban astar sistemlerinden farklıdır. Bu nedenle, taban astarlarında kimyasallara karşı dayanıklılık özelliği, örtü astar sistemlerinde daha az aranan bir özelliktir (Sharma ve Lewis, 1994, s 368-390).

Örtü sistemlerinde kullanılan jeomembranlar esnek, uygulanan kuvvetlere dayanıklı, delinmeye karşı dirençli olmalıdırlar. 1980'lere kadar HDPE jeomembranlar kullanılırken, günümüzde çok düşük yoğunlulu polietilen (VLDPE) jeomembranlar

esnek ve delinmeye karşı dirençli oldukları için örtü sistemlerinde tercih edilmektedir. Belediye atıklarının yüksek sıkıştırılabilirlikleri nedeniyle, astar sistemleri farklı çökmelerde, oturmalarda oluşacak hasara dayanacak kadar esnek olmalıdır (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).

Kurumanın ve örtü sisteminin zarar görmesinin engellenmesi, ayrıca sızıntının minimize edilmesi için örtü tabakasının üzerine tarım toprağı serilmektedir. Ekin toprağı; kuraklığa dirençli, kendi kendini destekleyebilen, toprak erozyonunu engelleyecek kadar yoğun ve düşük permeabiliteli olmalı ayrıca üzerinde derin köklere sahip bitkiler yetiştirilmemelidir. Tarımın yapılamadığı bölgelerde, kaya parçaları ve molazlar tarım toprağı yerine kullanılmaktadır (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).

Süzülen suların, örtü astarından sızmasını minimize etmek için; örtü astarı ile tarım toprağı arasına drenaj tabakası yerleştirilmektedir. Tipik olarak 30 cm kalınlığında granüler drenaj malzemesi veya jeonet, drenaj tabakası olarak kullanılmaktadır. Toprak sızmaları ve kök ilerlemeleri nedeni ile tıkanmaların minimize edilmesi için drenaj tabakası genellikle jeotekstil veya toprak filtreler arasına yerleştirilmektedir (Sharma ve Lewis, 1994, s. 368-390).

4.2 Toprak Astarlar

Düşük permeabiliteli toprak astarlara genellikle, toprak astar veya kil astar gibi isimler verilmektedir. Üç tip kil astardan bahsedilmiştir (Daniel, 1993, s.137-163);

- 1) Doğal oluşmuş kil astarlar
- 2) Sıkıştırılmış kil astarlar
- 3) Jeosentetik kil astarlar

4.2.1 Doğal Kil Astarlar

Doğal kil astarlar, kilce zengin, doğal olarak oluşmuş formasyonlardır. Doğal astarlar önemli ölçüde kil minerali içerirler ve permeabiliteleri 1×10^{-6} cm/sn ile 1×10^{-7} cm/sn

arasında değişmektedir. Bu doğal astarlar genellikle mühendislik astarlarının altında destek (yedek) oluşturmakta veya nadiren (eski landfilller için veya yönetmeliklerin izin verdiği alanlarda) depolama faaliyetleri için tek başlarına astar olarak hizmet verebilmektedirler. Doğal astarların permeabilitesi ve devamlılığı önemli bir konudur. Bu nedenle astarın permeabilitesi ve devamlılığı (çatlaklar, delikler, vs) incelenmelidir (Daniel, 1993, s.137-163).

4.2.2 Sıkıştırılmış Kil Astarlar

Sıkıştırılmış astarlar temel olarak doğal toprak materyallerden oluşmasına rağmen; bentonit veya polimerler gibi proses malzemelerini de içerebilmektedirler (Daniel, 1993, s.137-163).

Astarın dizaynından önce, astarın yerinde permeabilitesi, astarın şev kazalarına, çökmeye veya dip kabarmalarına karşı dayanıklılığı, astar-atık uyumu (dayanıklılığı), astarın uzun dönem bütünlüğü gibi önemli temel kriterler dikkate alınmalıdır (EPA/625-6-88/018). Tablo 4.1'de astarların performans standartlarına uygunluğunu kanıtlamak için kullanılan dizayn bilgileri ve teknik parametreler özetlenmektedir.

4.2.2.1 Malzeme Özellikleri

Kil partikülleri çap olarak 0.002 mm'den küçüktür ve killi topraklar minimum %40 oranında kil partikülleri içerirler. Killler genellikle suyla reaksiyona girebilen, alüminyum, magnezyum gibi silikat içeren minerallerden oluşmuştur (EPA/625-6-88/018).

Toprak sızdırmazlık tabakalarında kullanılan malzeme, düşük permealite ($\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/sn) oluşturmak üzere sıkıştırılabilir nitelikte olmalı ve şu özellikleri taşımalıdır (EPA Seminar Publication; May 1991) (Daniel, 1993, s.137-163):

İnce Tane oranı	: $\geq$ %20-30
Plastisite İndeksi	: $\geq$ %7-10

İri Tane Oranı : $\leq$ %30
 Maksimum Parça Boyutu : 25-50 mm

- İnce Taneler: Toprak en az %20 oranında ince malzeme içermelidir. İnce malzeme, genellikle “kuru ağırlık bazında 0.075 mm açıklıklı No.200 eleğinden geçebilen malzeme oranı” olarak tanımlanmaktadır (EPA Seminar Publication; May 1991).

- Plastisite indeksi: Plastisite indeksi ASTM D 4318 ile belirlenebilir. Toprağın plastisite indeksi en az %10 olmalıdır. %10’dan daha düşük plastisite indeksine sahip olan topraklar çok az kil içerirler ve genellikle istenilen düşük hidrolik geçirgenliği sağlamazlar. Plastisite indeksi %30-40 oranından daha büyük olan topraklar; kuruyken, sert ve iri; yaşken yapışkan, çalışmayı zorlaştıran topraklar oluştururlar. Ayrıca yüksek genişleme ve çekme potansiyeline sahip olmaları nedeniyle de uygun değildirler (EPA Seminar Publication; May 1991) (Daniel, 1993, s.137-163).

- İri Tane Oranı: İri tane oranı, “4.76 mm açıklıklı No.4 eleğinin üzerinde kalan malzeme” olarak tanımlanmaktadır. Kabul edilebilir maksimum oran %10’dur. Bu oranın üzerindeki iri taneler; çakılların toprakta uniform bir şekilde dağıtıldığında ve ayaklı silindirlerle (keçi bacağı) sıkıştırıldığında, problem yaratmayabilir. Shakoor ve Cook; çakıl oranı %50’yi aşmadığı sürece; sıkıştırılmış killi toprağın permeabilitesinin, çakıl oranına karşı hassas olmadığını bulmuşlardır. Yapılan deneylerde, toprak ve çakıllar laboratuvar koşullarında çok dikkatli ve uniform olarak karıştırılmakta, arazi şartlarında bu oranın sağlanamayacağı gözönünde bulundurulmalıdır (Daniel, 1993, s.137-163). Çakıl oranı ne olursa olsun, toprak bünyesinde, arasının kille doldurulamadığı çakıl topraklarının oluşması mümkündür. Bu oluşum, kullanılan malzeme ve inşaat yöntemine bağlıdır (Daniel, 1993, s.137-163) (EPA Seminar Publication; May 1991).

- Kayalar ve taşlar: Boyutu 2.5-5 cm’den büyük taşlar, astar malzemesi içinde yer almamalıdır (EPA Seminar Publication; May 1991).

Tablo 4.1 Kil Astarların Performans Standartlarına Uygunluğunu Kanıtlamak İçin Kullanılan Bilgiler (EPA/625-6-88/018)

BİLGİLER	PARAMETRELER
Kil Astarın tanımı	Tanımı yapılacaklar: • Klasifikasyon • Kalınlık • Permeabilite • Kil kaynağı • Yeniden sıkıştırma ve düzeltmeler (yerinde) • Alınan materyalin lokasyonu ve düzeltmeler
Malzemenin test dataları	Test sonuçları: • indeks testleri • permeabilite • basınç • konsolidasyon • çekme-şişme özellikleri • astar içindeki sıvı akışına karşı kilin dağılma potansiyeli
Astarın Dayanıklılık Sonuçları	Liç miktarı ve astarın permeabilite-test sonuçları
Astar Kalınlığı	Tek jeomembranlı üniteler için, operasyon süresince ve kapatıldıktan sonra, kil tabakası kalınlığının sıvı akışını engellemek için yeterli olduğunun gösterilmesi
İnşaat Özellikleri	Astarın yerleştirilmesi ile ilgili: • sıkıştırma metodu • sıkıştırma derecesi ve elde edilecek su içeriği • tabaka kalınlığı • kilin su içeriğinin değiştirilmesi • tabakalar arası tarama gereklilikleri • uygulanabiliyorsa toprağın değiştirilmesi metodu
İnşaat Kalite Sigortası	Kalite Sigortası programının ve test yöntemlerinin tanımı

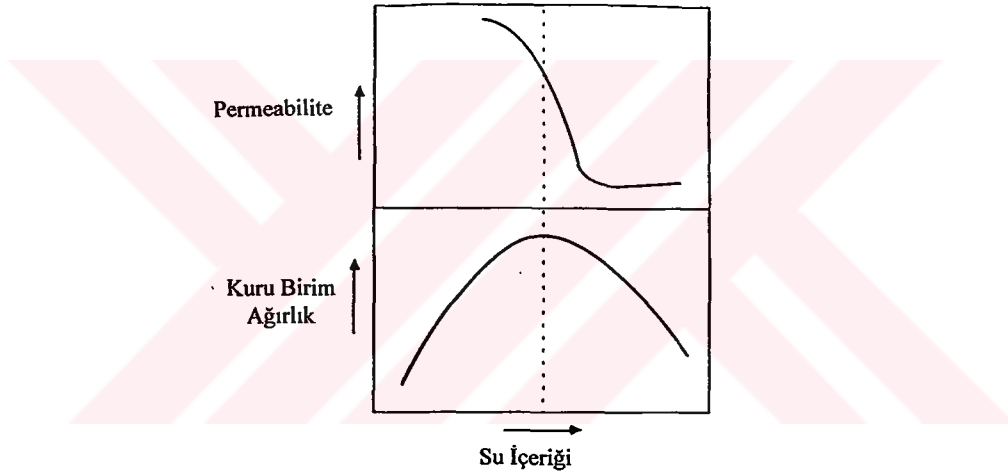
Toprak, istenilen düşük permeabiliteyi sağlayacak nitelikte yeterli miktarda kil veya ince taneli mineral içermiyor ise; sodyum bentonit gibi ticari killi mineraller toprağın içine karıştırılabilir (EPA Seminar Publication, May 1991). İyi sınıflandırılmış topraklarda, parça boyutu dağılımı geniş bir aralıkta değiştiği için az miktarda eklenen bentonit toprağın permeabilitesini 1×10^{-7} cm/sn değerinin altına düşürebilirken; kötü sınıflandırılmış topraklarda (üniform parça boyutu dağılımı gösterirler) daha fazla bentonit kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır (EPA Seminar Publication; May 1991).

Bentonit toprağa iki şekilde eklenebilir. Birinci teknikte, toprak tekrar düzenlenmek üzere, 25-30 cm kalınlığında gevşek bir şekilde serilmekte, bentonit kontrollü bir

miktarda bu yüzeye yayılmakta ve “rototiller” veya “road reclaimer” gibi mekanik karıştırıcılar vasıtası ile toprağa karıştırılmaktadır. İkinci teknikte ise, tüm malzeme bir “pugmill”(büyük bir karıştırıcı, özellikle portland çimentosu yapımında kullanılır) içinde karıştırıldıktan sonra serilmektedir. İkinci teknik daha kontrollü bir karıştırma sağlamaktadır (EPA Seminar Publication; May 1991).

4.2.2.2 Su İçeriği

Toprağın sıkıştırılma sırasındaki su içeriği, sızdırmazlık malzemelerinin mühendislik özelliklerinin kontrolünde önemli bir değişkendir (EPA Seminar Publication; May 1991).

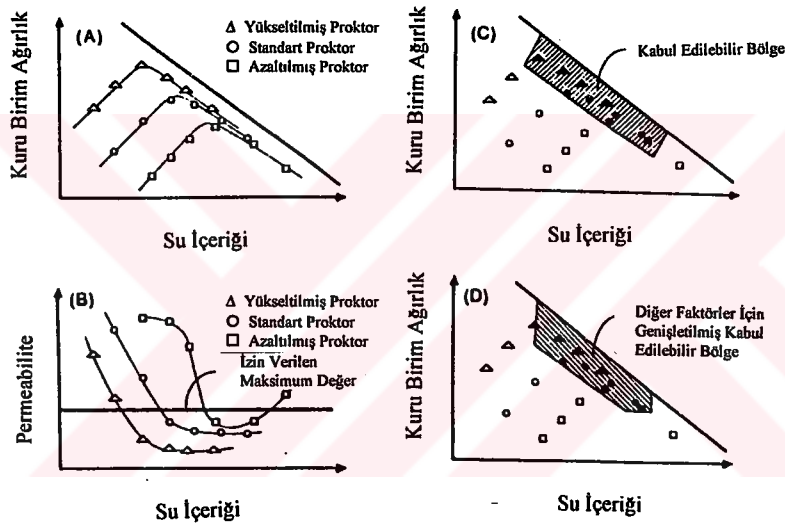


Şekil 4.6 Su İçeriğine Karşılık Permeabilite ve Kuru Birim Ağırlığı (EPA Seminar Publication; May 1991).

Şekil 4.6’da su içeriğine karşılık permeabilite ve kuru birim ağırlığı verilmiştir. Bu şeklin alt yarısı toprak sıkıştırma eğrisini göstermektedir. Toprak numuneleri çeşitli oranlarda su ile karıştırılıp; sabit bir enerji ve yöntemle sıkıştırıldıklarında; kuru birim ağırlık ve su oranı arasındaki ilişkiyi gösteren bu eğri ortaya çıkmaktadır. Maksimum kuru birim ağırlığın elde edildiği su içeriği “optimum su içeriği” olarak tanımlanmaktadır (kesik çizgiler ile belirtilmiştir). Su içeriği optimum değerden az (optimum kuru) olarak sıkıştırılan toprakların permeabiliteleri yüksek; su içeriği optimum değerden fazla (optimum ıslak) olarak sıkıştırılan toprakların permeabilitesi

düşüktür. Minimum permeabilitenin sağlanması için toprağın optimum ıslak değerinde sıkıştırılması gerekmektedir (EPA Seminar Publication; May 1991).

Dizayn aşamasında gerekli su içeriğinin ve kuru ağırlığın belirlenmesi için önerilen bir yaklaşımda da; numunelere arazide tahmin edilen su içeriğinden daha fazla; değişik su içeriği değerleri uygulanır. Bu numuneler; üç farklı sıkıştırma enerjisi; en düşük, ortalama ve maksimum enerji ile sıkıştırılır. “Standart Proctor” (ASTM D 698) ortalama sıkıştırma enerjisi ve “Fazlalaştırılmış Proctor” (ASTM D 1557) ise yüksek sıkıştırma enerjisi olarak kullanılmaktadır (Daniel, 1993, s.137-163).

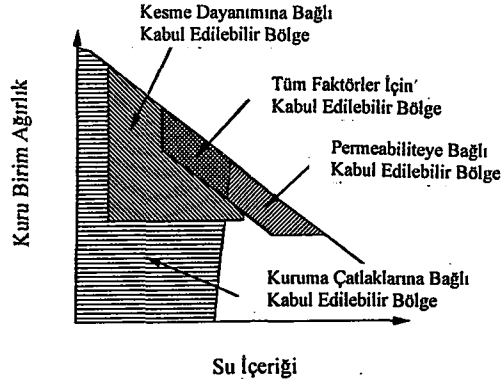


- A) Üç ayrı sıkıştırma kuvvetine ait eğrilerin belirlenmesi
 B) Sıkıştırılmış numunelerin permeabilitelerinin belirlenmesi
 C) Düşük permeabiliteli numuneler için içi dolu; yüksek permeabiliteli numuneler için ise içi boş semboller kullanılarak, sıkıştırma eğrilerinin tekrar çizimi
 D) Kesme dayanımı ve bölgesel inşaat özellikleri gibi diğer faktörler de gözönünde tutularak kabul edilebilir bölgenin genişletilmesi

Şekil 4.7 Su İçeriği ve Kuru Birim Ağırlık İçin Kabul edilebilir Zonun Tesbiti (Daniel, 1993)

Anlatılan bu yöntem Şekil 4.7’de gösterilmiştir. 5-6 adet numune üç farklı sıkıştırma enerjisi ile sıkıştırılmış ve 4.7(A)’da görülen üç sıkıştırma eğrisi ortaya çıkmıştır. Sıkıştırılmış bu numunelerin permeabiliteleri ölçülmüş ve 4.7(B)’de çizilmiştir. 4.7(C)’de sıkıştırma noktaları tekrar çizilmiş, içi dolu semboller düşük permeabiliteli numuneleri, içi boş olanlar ise yüksek permeabiliteli örnekleri ifade etmektedir. Daha sonra dolu sembollerini içine alan bir “kabul edilebilirlik bölgesi” oluşturulmuştur.

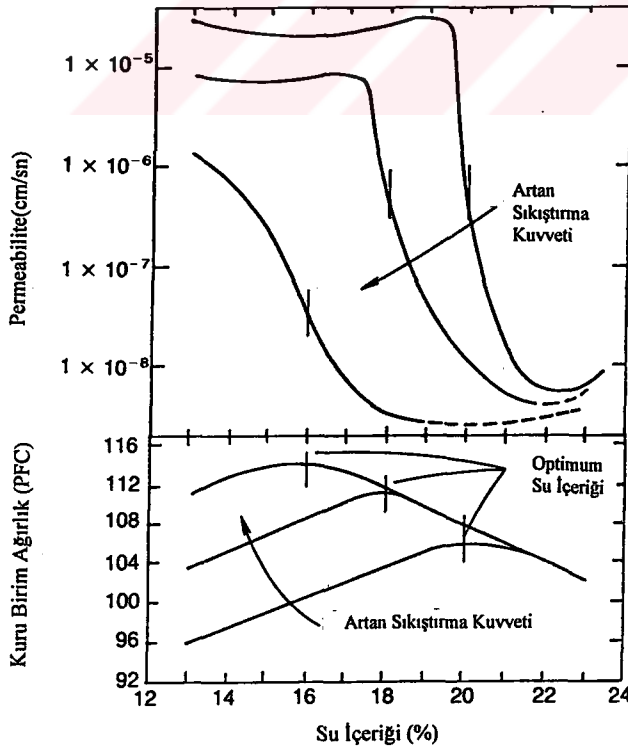
Şekil 4.8’de de permeabilite, kesme dayanımı ve kuruma sebebiyle çekme kriterlerine bağlı kabul edilebilir bölgeler çizilmiştir (Daniel, 1993, s.137-163).



Şekil 4.8 Permeabilite, Kesme Dayanımı ve Kuruma Sebebiyle Çekme Kriterlerine Bağlı Kabul Edilebilir Zonlar (Daniel, 1993, s.137-163).

4.2.2.3 Sıkıştırma Enerjisi

Sıkıştırma enerjisi, toprak malzemelerin mühendislik özelliklerini kontrol eden önemli bir değişkendir (EPA Seminar Publication; May 1991).



Şekil 4.9 Sıkıştırma Kuvvetinin Permeabilite ve Kuru Ağırlık Üzerine Etkisi (EPA Seminar Publication; May 1991).

Şekil 4.9’da gösterildiği gibi; sıkıştırma enerjisinin artırılması toprağın kuru yoğunluğunun artmasına; optimum su içeriğinin azalmasına ve permeabilitesinin düşmesine neden olmaktadır. Optimum ıslak değerinde sıkıştırılmış bir toprak numunesinin permeabilitesi, kuru ağırlığı ölçülebilir oranda artmasa bile; sıkıştırma enerjisinin artırılması ile düşürülebilir. Daha fazla sıkıştırma enerjisi, toprakların tekrar şekillenmesine, parçacıkların tekrar dizilmesine, iri parçaların boyutlarının küçülmesine yardım ederken, büyük boşlukların birbiri ile temas etme derecesinin azalmasına ve permeabilitenin düşmesine neden olmaktadır (EPA Seminar Publication; May 1991).

4.2.2.4 Topak (Clod) Boyutları

Genellikle sızdırmazlık tabakası inşaatında kullanılan kilce zengin topraklar su içeriğine bağlı olarak kuru ve sert; veya ıslak ve yapışkan topraklar oluştururlar. Yüksek plastik toprakların iri, düşük plastisite indeksine ($< \%10$) sahip toprakların ise küçük topraklar oluşturduğu gözlenmiştir (EPA Seminar Publication; May 1991).

Benson ve Daniel, plastisite indeksi yüksek (%41) malzemedeki toprak boyutunun permeabiliteye etkisini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada topraklar No.4 eleğinden (0.5 cm açıklık) veya 1.9 cm açıklıklı elekten geçecek şekilde kırılarak işleme tabi tutulmuş; daha sonra toprak ıslatılmış, 24 saat boyunca ıslak bırakılmış, sıkıştırılmış ve süzülmesine izin verilmiştir. 0.5 cm açıklıklı elekten elenen topraklar için su içeriği %17; 1.9 cm açıklıklı elekten elenen topraklar için ise %19 olarak bulunmuştur (EPA Seminar Publication; May 1991).

Optimum kuru değerinde sıkıştırılan, küçük boyutlu toprak içeren topraklarda permeabilite, büyük boyutlu toprak içerenlerinkine oranla çok düşüktür. Topraklar optimum ıslak değerinde sıkıştırıldıklarında; toprakların etkileri ihmal edilebilir. Bu nedenle boyut; kuru sert topraklar için (optimum kuru) önemli iken; ıslak ve yumuşak topraklar (optimum ıslak) için önemli değildir. Toprak ıslak optimumunda sıkıştırıldığında, topraklar yumuşaktır ve zorluk çıkartmadan kolayca orijinal boyutlarına şekillendirilebilir. Kuru materyallerde toprak boyutunu küçültmek için

“road reclaimers”(road recycler) kullanılır. Bu alet bir tambur üzerinde hızla dönen dişler yardımıyla malzemeyi öğütmektedir (EPA Seminar Publication; May 1991).

Kilin permeabilitesi, sıvının yoğunluğu ve viskozitesine; sıvının aktığı boşluğun boyutuna, şekline ve alanına bağlıdır. Darcy Kanunu permeabilite eşitliğinin temelini oluşturmaktadır. Biraz doymuş toprağın permeabilitesi, doymuş hale gelmiş topraktan daha azdır. Bunun nedeni boşluklardaki havanın akış kesitini daraltması ve küçük geçiş alanlarını tamamiyle kapatmasıdır. Topraktaki kil oranı da permeabilite üzerinde etkilidir, küçük kil partikülleri küçük boşlukları ile düşük permeabiliteye sahiptir (EPA/625-6-88/018).

4.2.2.5 Astar-Liç Uyumu

Atık sızılar kil bazlı astarları etkileyip bozabilir. Asit ve bazların, doğal organik ve inorganik sıvıların bu konuda incelenmesi gerekmektedir (Daniel, 1993, s.137-163).

Kuvvetli asitler (hidroflorik asit, fosforikasit gibi) ve bazlar toprak içindeki bazı mineralleri eriterek kanallar oluşmasına ve permeabilitenin artmasına neden olabilir. Asit konsantrasyonu, reaksiyon süresi, katı sıvı oranı, kilin türü ve sıcaklık önemli değişkenlerdir. Bahsedilen liçin pH değeri, $11 < \text{pH} < 3$ 'dir (Daniel, 1993, s.137-163).

İnorganik sıvıların etkisi Gouy-Chapman teorisi ile açıklanabilmektedir. Genel olarak su içeren solüsyonların, dielektrik sabiti değişken değildir. Suyun ve katyonların çift tabakası genişledikçe, hidrolik geçirgenlik düşer zira kanallar daralmıştır. İçinde biraz elektrolit bulunan örneğin distile su, çift tabakayı genişletme eğilimi gösterirken ve düşük permeabiliteye sahipken, kuvvetli bir solüsyon yüksek permeabiliteye sahiptir (Daniel, 1993, s.137-163).

Birçok organik kimyasal madde sudan daha düşük dielektrik sabitine sahiptir. Düşük dielektrik sabiti, çift tabaka kalınlığının az olmasına ve buna bağlı olarak permeabilitenin yüksek olmasına neden olur. Ayrıca düşük dielektrik sabitli sıvılar kil partiküllerinin folüküle olmasına, torağın büzülüp çatlamasına neden olmaktadır.

Bu olay “syneresis” olarak isimlendirilmektedir. Organik kimyasallar yüksek permeabiliteye neden olurlar. Organik sıvılar, solüsyonun en az %50 oranında su içerdiği, fazlar arasında ayrım olmadığı ve tüm organik sıvının su içinde çözünmüş olduğu durumlarda, kil astarı etkilememektedir (Daniel, 1993, s.137-163).

Astar-liç dayanıklılık testlerinin yapılması, liç içindeki kimyasal bileşenlerin toprağın permeabilitesini etkileyip etkilemeyeceğini belirlemek açısından önemlidir. Astar-liç dayanıklılık testi, astarın liç ile karşılaştıktan sonraki performansının tahmini için bir baz oluşturmaktadır. Permeabilite, kil partiküllerini saran çift tabakanın alterasyona uğraması ve toprak malzemenin kuvvetli asit ve bazlarda çözünmesi durumunda kimyasallardan etkilenebilir (EPA/625-6-88/018).

4.2.2.6 Kurumanın ve Donmanın Etkisi

Kuruma, astarda büzülmelere ve çatlamalara neden olmaktadır. Çatlak içeren astarların permeabilitesi düşüktür (EPA Seminar Publication; May-1991).

Boyton ve Daniel; kuru ve kontrol için normal numuneler üzerinde, değişik basınçlarda permeabilite ölçümleri yapmışlardır. Düşük basınçlar kullanılarak yapılan deneylerde; kuru numunelerin permeabilite değerlerinin, kontrol numuneleri permeabilite değerlerine oranla, büyük olduğu bulunmuştur. Yüksek basınç değerlerinde (35 kPa) ise; kontrol numunelerinin permeabilitesi ile kuru numunelerin permeabilite değerleri yaklaşık olarak aynı çıkmıştır. Yüksek basınç, oluşan çatlakları kapatmakta, buna ek olarak toprağın ıslatılmasıyla da çatlaklar tamamıyla yok edilmektedir (EPA Seminar Publication; May 1991).

Zimme ve La Plante, donma ve çözülmenin permeabilite üzerine olan etkisi ile ilgili çalışmalarında; sadece bir iki donma çözülme çevriminde bile büyük hasarlar meydana geldiğini ve bu çevrimlerin toprağın permeabilitesini yükselttiğini bulmuşlardır (EPA Seminar Publication; May 1991).

4.2.2.7 İnşaat

Depo astar sisteminin istenilen nitelikleri sağlayabilmesi için, malzeme özelliklerinin yanısıra, astarın inşaat kalitesi de önemlidir.

Test Alanları

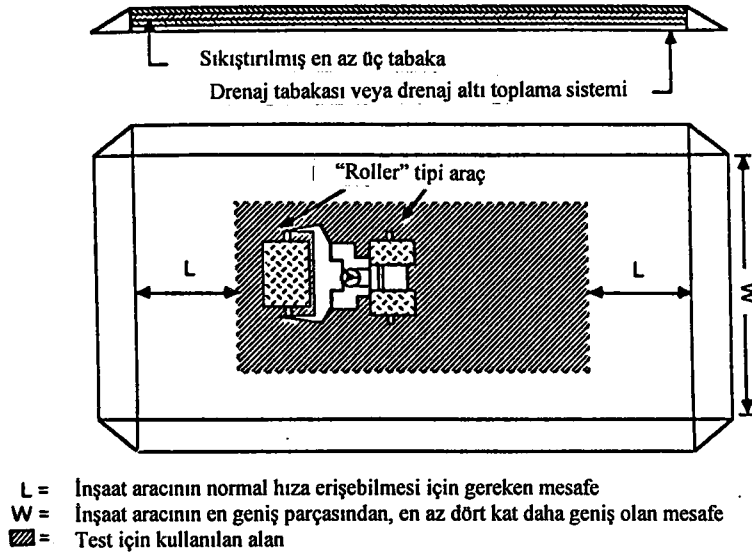
Tam boyutlu astar sisteminin inşaatından önce, pilot bir test alanı inşaatı gerçekleştirilmelidir. Pilot test alanı, dizayn özelliklerinin, astar malzemelerinin, araç ve inşaat prosedürünün, kabul edilebilir düşük permeabilite ile sonuçlanıp sonuçlanmayacağını araştırmak üzere yapılan, küçük ölçekli bir çalışmadır. İnşaat aktivitelerinin bu test alanlarından elde edilen analiz sonuçlarına göre yürütülmesi tavsiye edilmektedir (EPA/625-6-88/018).

Genellikle yapılacak test alanının genişliğinin en az, inşaatta kullanılacak makina boyunun üç katı kadar (>10 m); uzunluğunun ise buna eşit veya daha fazla olması tavsiye edilmektedir (Şekil 4.10). Tam boyutlu uygulamadaki tabaka kalınlığı kullanılmalıdır (Daniel, 1993, s.137-163).

Depo inşaatından önce, “test alanı” kullanmanın birçok avantajı vardır. Sıkıştırma suyu miktarı, inşaat makineleri, makinelerin geçiş sayısı, tabaka kalınlığı gibi özelliklerle ilgili deneyler bu alanda gerçekleştirilebilmekte, ayrıca, “kalite kontrol testleri” ve “yerinde permeabilite deneyleri” de bu alanlarda yapılabilmektedir (Daniel, 1993, s.137-163).

Yerinde yapılan testlerle ilgili tek sorun, üst örtü basıncının gözardı edilmesidir. Permeabilite basınç dayanımının artması ile düşmektedir. Test alanlarında yerinde ölçüm metodları ile belirlenen permeabilite değerleri, örtü malzemesi basıncının etkisi için, basınç dayanımına bağlı olarak belirlenen laboratuvar permeabilite değerleri doğrultusunda düzeltilmelidir. Yerinde permeabilite ölçümleri değişik metodlarla yapılabilir. En iyi, büyük boyutlu test, “geniş yalıtımlı çift halkalı infiltrometre” ile

yapılırken; "Boutwell Testi" de bu ölçümler için kullanılmaktadır (Daniel, 1993, s.137-163).



Şekil 4.10 Test Alanı (EPA/625-6-88/018)

Sıkıştırma

Toprak astarlar, sıkıştırılmış belirli kalınlıktaki tabaka serileri şeklinde oluşturulur. Tabaka kalınlığı; toprak karakteristiği, sıkıştırma araçları ve gerekli sıkıştırma kuvvetine bağlıdır. Astar tabakaları, uygun sıkıştırma kuvvetini tabakanın alt kısımlarına ulaştıracak kadar ince olmalıdır. Yeteri kadar ağır sıkıştırma araçları kullanıldığında, 10-25 cm kalınlığının uygun olduğu kabul edilmektedir (EPA/625-6-88/018).

Toprağa iletilen sıkıştırma enerjisi; silindirin ağırlığına, belirlenen alanda silindirin geçiş sayısına ve sıkıştırılacak toprağın kalınlığına bağlıdır. Ağırlığın ve geçiş sayısının fazlalaştırılması bununla birlikte tabaka kalınlığının düşürülmesi, iletilen sıkıştırma kuvvetini arttırabilmektedir (EPA Seminar Publication; May 1991).

En çok kullanılan sıkıştırma araçları Caterpillar 815B ve 825C'dir. Toprak astarlar için genellikle sarsıntılı silindirler tercih edilmektedir. Kuru topraklarda çalışırken, sert

topraklar için ağır silindirlere gereksinim duyulurken; ıslak topraklar için, toprağa batmıyacak derecede ağır olan silindirler kullanılmaktadır (Daniel, 1993, s.137-163).

Ağır silindirler; toprağın çok ıslak olduğu, astarın yerleştirildiği tabanın zayıf ve sıkıştırılabilir olduğu durumlarda kullanılamaz. Ağırlıkları 13 ile 18 ton arasında olan silindirlerin örtü astar sistemlerinde; 25 tondan daha ağır silindirlerin ise depo taban astarlarının sıkıştırılmasında kullanılması tavsiye edilmektedir (EPA Seminar Publication; May 1991).

Uygun sıkıştırmanın sağlanabilmesi için, silindirin belirlenen alan üzerinde yeterli sayıda geçiş yapması gerekmektedir. Bu geçiş sayısı değişmesine rağmen, ortalama 5-10 geçiş uygun sıkıştırma enerjisini sağlamaktadır (EPA Seminar Publication; May 1991).

Birçok çalışma, toprağın optimum su içeriği değerinden, %2-4 oranında daha fazla nem içeriğinde sıkıştırıldığında, en düşük permeabilite değerinin elde edildiğini kanıtlamıştır. Yağmur ve ekstrem sıcaklıklar gibi çevre şartları inşaat sırasında gözönünde bulundurulmalıdır. Kötü hava şartları, kuru ve sıcak dönemler kuruma çatlaklarının, donma da çekme çatlaklarının oluşmasına neden olmaktadır (EPA/625-6-88/018)

Tabakaların Bağlanması

Sızdırmazlık astarlarında tabakaların birbirine yapıştırılması, düşük permeabilite için önemlidir. Tabakalarda hidrolik arızaların olması ve ara yüzey permeabilite değerlerinin yüksek olması; suyun bu tabakalar içindeki geçirgen bölgelerden aşağıya doğru ilerlerlemesine neden olur. Su, geçirgen bir zon buluncaya kadar katmanlar arasında yatay olarak tabaka boyunca hareketini sürdürür. Bu işlem, izleyen katmanlarda ve katman aralarında devam eder; böylece tabaka ara yüzeyleri, alt ve üst katmanda bulunan arızalar arasında hidrolik bir bağlantı sağlar. Katmanlar arası yüksek geçirgenliğin önlenmesi için katmanların birbirine iyi yapıştırılması gerekmektedir (EPA Seminar Publication; May 1991).

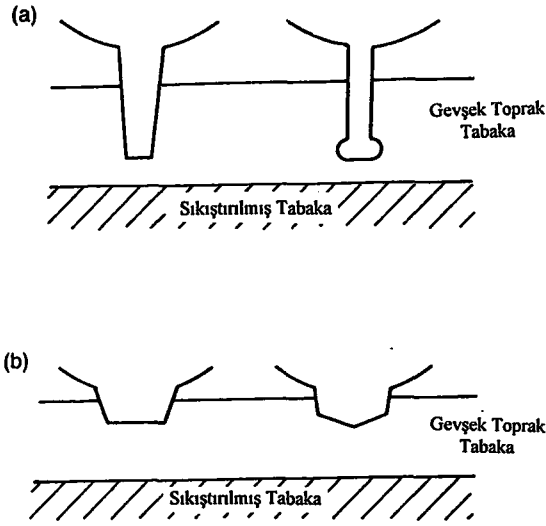
Yeni yerleştirilen katmanın efektif bir şekilde, bir önceki tabakaya yapıştırılabilmesi için, yüzeyi pürüzlü hale getirilir. Gerekli olduğu takdirde, bir önceki tabaka, 2.5 cm derinliğinde sürülmekte ve pürüzlü hale getirilmektedir (EPA Seminar Publication, May 1991).

Tamburları üzerinde uzun ayaklar bulunan silindirler, tabakaların birbirine yapıştırılmasında yararlıdır (Şekil 4.11). Silindirin ilk birkaç geçişi sırasında, bu ayaklar gevşek toprak tabakası içine batar ve yeni yerleştirilen tabakayı önceki katmanın yüzeyine yapıştırır. Gevşek toprağa ayağın tamamiyle girdiği ayaklı silindirlerin, tabakaların birbirine yapıştırılması ve dikey hidrolik geçirgenliğin, katman aralarında azaltılması amacıyla kullanılması önerilmektedir (EPA Seminar Publication, May 1991).

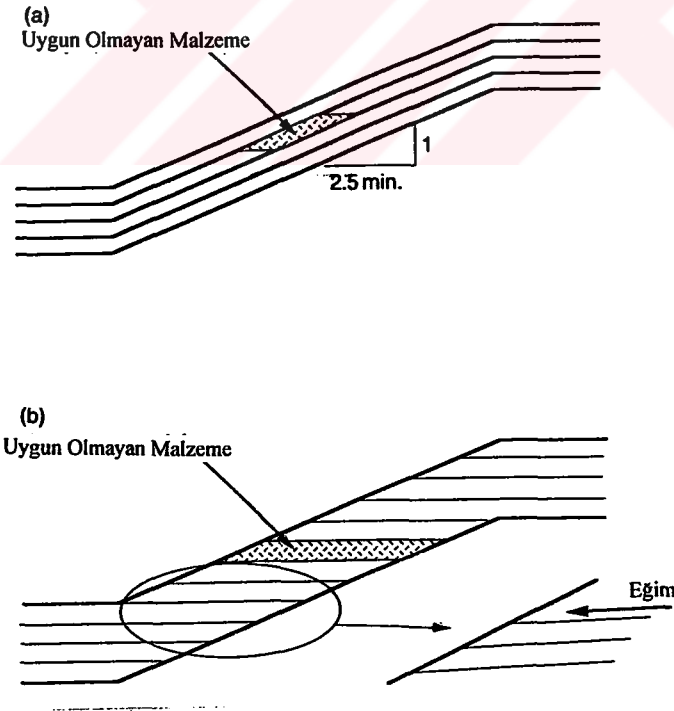
Şayet sıkıştırılmış tabakanın üzerine jeomembran tabaka yerleştirilecek ise, toprak tabakanın son yüzeyi iyi bir hidrolik sızdırmazlık sağlanması amacı ile düzgün yüzeyli, çelik bir silindir ile sıkıştırılmalıdır (EPA Seminar Publication, May 1991).

Kilin Yanal Alanlara Yerleştirilmesi

Kil astarlar tabakalar halinde inşaa edilmektedir. Tabakalar tabanda yatay yerleştirilirken yanal alanlarda, şevin eğimine bağlı olarak Şekil 4.12'de gösterildiği gibi eğime paralel veya yatay şekilde yerleştirilir ve sıkıştırılır. Eğimi 3:1'den (yatay:dikey) daha dik olan eğimlerde, yatay tabakalar önerilir, zira ağır araçların dik şevlerde çalışması zordur. Yatay olarak sıkıştırılan astarın köşelerinin taban astar ile ilişkilendirilmesi, zayıf alanların oluşumunu engellemek açısından önemlidir. Ayrıca yatay katmanlar inşaa edilirken iç tarafa doğru az bir eğimin verilmesiyle, liçin tabaka ara yüzeylerinde kalma eğilimi önlenmektedir. Minimum yatay tabaka genişliği, kullanılan aracın boyu kadar (4 m) olmalıdır. Bunun dışında kalan daha düşük eğimlerde ise, paralel katmanlar tercih edilmektedir (EPA/625-6-88/018) (Daniel, 1993, s.137-63) (Sharma veLewis, 1994)



Şekil 4.11 Ayaklı Silindirler Üzerindeki (a) Tam ve (b) Kısmen Batan Ayaklar (Daniel, 1993)



Şekil 4.12 (a) Paralel, (b) Yatay Katmanlarla İnşaa Edilen Yanal Yüzeyler (Sharma ve Lewis, 1994)

Kalite Sigortası

Astar inşaatında iki önemli konu “İnşaat Kalite Kontrolü” (Construction Quality Control [CQC]) ve “İnşaat Kalite Sigortası” (Construction Quality Assurance [CQA])’dır. İnşaat kalite kontrolü, kullanılan malzemenin, istenilen özellikleri taşıyıp taşımadığını kontrol etmek ve iş sahibi tarafından yapılan gözlem ve testlerin incelenmesi için geliştirilmiştir. Sigorta ise, plan ve projelerde belirtilen gerekliliklerin, iş yapanın dışında bağımsız bir kuruluşun gözlem ve test sonuçları esas alınarak, yerine getirilip getirilmediğini belirler (Sharma ve Lewis; 1994).

Spesifik “İnşaat Kalite Sigortası Planı” (Construction Quality Assurance Plan [CQAP]) inşaa edilecek projede; kullanılacak malzeme özelliklerini, miktarını, plan süresini ve inceleme aralıklarını belirlenmek için yapılmalıdır. Bazı faaliyetlerdeki astar hatalarının, kötü inşaat kalite sigortası ve kalite kontrolü nedeniyle oluştuğu kabul edilmektedir (EPA/625-6-88/018).

İnşaatın her aşamasında, astardan numune alınması ve test edilmesi kalite kontrolünü sağlamaktadır. Arazi yoğunluğu ve su içeriği, inşaat sırasında sık sık ölçülmesi gereken iki kritik parametredir. Arazi ve laboratuvar incelemeleri hem bu parametreler hem de permeabilite için yapılmalıdır.

Astarlarda hatalarının oluşmasına neden olan bazı mekanizmalar aşağıda verilmiştir (EPA/625-6-88/018).

- kuruma çatlakları
- şevlerde stabilite problemi
- çökmeler
- erozyon
- depremeler
- hidrolik seviyenin yükselmesi
- dizayn ve inşaat hataları
- organik kimyasallarla karşılaşılması
- tabakalar arası eşit olmayan taramalar

4.2.2.8 Kil Astar Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Testler

Kil astarların özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan testler ve bu testlerin hangi yöntemlerle yapıldığı Tablo 4.2’de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 4.2 Düşük Permeabiliteli Toprak Astarlar İçin Test Metodları (EPA/625-6-88/018).

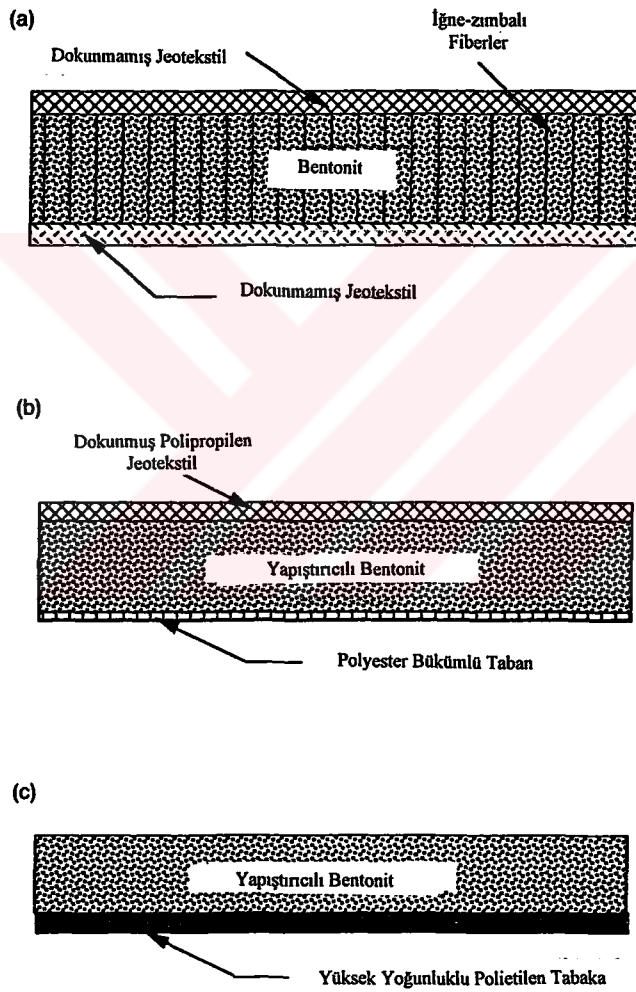
Analiz Edilecek Parametre	Metodlar	Test Metodu Kaynağı
Kil Tipi	Görsel-manuel prosedür Parça boyutu analizi Atterberg limiti Kil klasifikasyonu	ASTM D2488 ASTM D422 ASTM D4318 ASTM D2488
Nem içeriği	Fırın-kuru metodu Nükleer metod Kalsiyum Karbit	ASTM D2216 ASTM D3017 AASHTO T217
Yerinde yoğunluk	Nükleer metod Kum koni Lastik balon Drive silindir	ASTM D2922 ASTM D1556 ASTM D2167 ASTM D2937
Nem-yoğunluk ilişkisi	Standart kuvvet Değiştirilmiş kuvvet	ASTM D698 ASTM D1557
Dayanım	Tanımlanmamış basınç dayanımı Üç eksenli basınç	ASTM D2166 ASTM D2850
Kohesiv toprak yoğunluğu (arazi)	Penetrasyon testi Arazi kesme testi El penetrometresi	ASTM D3441 ASTM D2573 Horslev, 1943
Permeabilite (laboratuvar)	Sabit duvarlı çift halkalı permeametre Esnek duvarlı permeametre	EPA, 1983 SW-870 Anderson et al., 1984 Daniel et al., 1985 SW-846 Metod 9100 (EPA, 1984)
Permeabilite (arazi)	Çift halkalı sızdırmaz infiltrometre Sai-Anderson-Gill çift halkalı infiltrometre	Day and Daniel, 1985 Anderson et al., 1984

4.2.3 Jeosentetik Kil Astarlar (Geosentetic Clay Liners)

Bu tip astarlar, iki jeotekstil tabakası arasında sandviç edilmiş kil veya jeomembran tabakasına yapıştırılmış ince bir kil tabakasından meydana gelmektedir (Daniel, 1993, s.137-163)

Bentofix®, Bentomat®, Claymax® ve Gundseal olmak üzere günümüzde dört çeşit jeosentetik kil astar üretilmektedir. Astarlar şu şekilde iki gruba ayrılmıştır (Şekil 4.13) (Daniel, 1993, s.137-163):

- 1) İki jeotekstil tabakası arasına sandviç yapılmış bentonit (Bentofix®, Bentomat®, Claymax®)
- 2) Yapıştırıcı materyal ile harman edilmiş bentonit ve jeomembrana yapıştırılmış (Gundseal)



Şekil 4.13 Jeosentetik Kil Astarlar: (a) Bentofix® ve Bentomat®; (b) Claymax®; (c) Gundseal (Daniel, 1993, s.137-163)

Tüm jeosentetik kil astarlar ortalama 5 kg/m² bentonit içerirler. Materyaller genişliği 4-5 m ve uzunlukları 25-60 m olan paneller şeklinde üretilir. Dört tür astar da

paneller arası birleştirmelerde kendi kendine yapışmaktadır. Astartaki kil tabaka su ile ıslatıldığında, kil otomatik olarak şişmekte ve ek yerini kapatmaktadır. Paneller arası mekanik yapıştırmaya ihtiyaç duyulmadığı için jeosentetik kil astarların yerleştirilmesi çok çabuk yapılmaktadır (Daniel, 1993, s.137-163).

Astar serildikten sonra çabucak kapatılmalıdır. Eğer astar çok ıslanırsa kil kontrol edilemeyen bir şekilde şişerek yapışmayı engelleyebilmektedir. Bu nedenle jeosentetik kil astarlar yağmurlu zamanlarda serilmemekte ve açıkta bırakılmamaktadır (Daniel, 1993, s.137-163).

Bentofix® Almanya ve Kanada'da üretilmektedir. Sodyum ağırlıklı bentonit, iki kalın, fırınlanmamış, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) jeotekstil tabakasının arasına yerleştirilmiştir. Bu iki tabakayı sererken ve taşıırken birarada tutmak ve ara yüzeydeki kesme dayanımını artırmak amacı ile iki jeotekstil tabaka birbirine iğneler ile zımbalanmıştır (needle punched). Üstteki jeotekstil ağırlığı 800 g/m^2 alttaki ise 400 g/m^2 'dir (Daniel, 1993, s.137-163).

Bentomat® ise Amerika'da üretilmektedir. En çok kullanılan konfigürasyon, regüler veya sızıntıya dayanıklı sonyum bentonitin, 170 g/m^2 ağırlıklı jeotekstil tabakalar arasına yerleştirildiği ve iki tabakanın birbirine iğne zımba ile bağlandığı biçimdir. Bentofix®'e benzemekle birlikte, Bentomat® daha ince jeotekstilden ve doğal veya sodyum bentonattan üretilmektedir (Daniel, 1993, s.137-163).

Claymax® Amerika'da üretilmektedir. Bu astarta, bentonit suda eriyebilen yapıştırıcı malzeme ile karıştırılır ve iki jeotekstil malzeme arasına konulur. Üstteki jeotekstil 119 g/m^2 fırınlanmış polipropilen ile 17 g/m^2 naylon malzemenin iğnelerle birbirine zımbalanmasıyla oluşturulmuştur. Alttaki tabaka ise 25 g/m^2 açık dokuma (open-weave), polyester büküm tabanlı (spun-lace polyester baking) jeotekstil malzemedir (Daniel, 1993, s.137-163).

Gundseal'de ise bentonit yapıştırıcı malzemeyle karıştırılmış ve HDPE jeomembran tabakasına yapıştırılmıştır. Jeomembran genellikle 0.5 mm kalınlığında yumuşak

HDPE tabakadır. Gundseal serilirken HDPE yüzey altta veya üstte olabilir. Eğer bentonit tabaka aşağıda ise; jeomembranı üstte olan bir karma jeomembran/kil astar görevini görür. Şayet Gundseal, karma astar yapımında kullanılmak isteniyorsa, bentonit tabaka üstte yer almalıdır. Oluşturulan bu karma astarın bentonit tabaka üzerinde yer alan ayrı bir jeomembran tabakası olmalıdır (Daniel, 1993, s.137-163).

4.2.3.1 Mühendislik Özellikleri

Jeosentetik kil astarların permeabilite ölçümleri esnek-duvarlı permeabilite ölçerler ile yapılmıştır. Gundseal'da ise tabaka dikey geçişi engelleyeceği için jeomembrana delikler açılmıştır. Permeabilite değerleri, basınç dayanımına bağlı olarak ortalama 1×10^{-10} - 1×10^{-8} cm/sn ile arasında değişmektedir (Daniel, 1993, s.137-163).

Jeosentetik Kil Astarların Avantajları ve Dezavantajları

Jeosentetik kil astarlar, sıkıştırılmış kil astarların bir alternatifi olarak görülmüştür. Bu iki astarın karşılaştırması Tablo 4.3'de yapılmıştır.

Bir karma astar; sadece jeomembran astar kullanılan sistemlerde karşılaşılan problemlerin üstesinden gelebilir. Şekil 4.14'de jeomembran, kil ve karma astarlardaki sızma durumları gösterilmiştir. Jeomembranda bir delik olduğu ve alt katmandaki toprağın sızıntıyı engelleyemeyen nitelikte olduğu kabul edilirse; sıvı bu delikten kolayca aşağıya geçecektir. Sadece kil katmanının kullanıldığı durumlarda; sızıntı bütün kil alanı üzerinde gerçekleşir. Karma astarlarda, sıvı delikten kolayca geçtikten sonra düşük permeabiliteli kil ile karşılamakta; düşük permeabiliteli kil sıvının daha sonraki hareketini engellemektedir. Böylece jeomembrandaki delikte oluşan sızıntı membranın altına düşük permeabiliteli kil yerleştirilmesi ile minimize edilmektedir (Daniel, 1993)

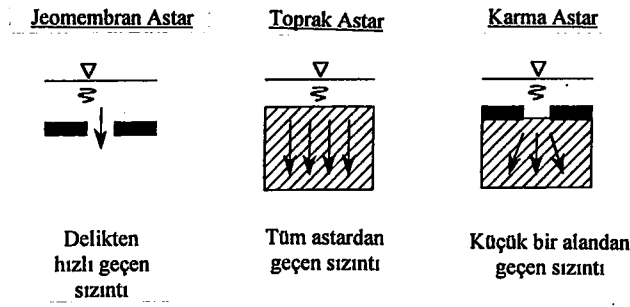
Kil tabakasında sızıntının azaltılması amacıyla, kille birlikte jeomembran kullanılır. Bu işlem kilden akış alanını azalttığı için kil içindeki akış miktarını da düşürmektedir. İyi bir kompozit etki elde edebilmek için, jeomembran kille iyi hidrolik kontakt oluşturmalıdır. Jeomembran ve kil çakıl tabakası veya jeotekstil gibi geçirgen bir

tabaka ile birbirinden ayrılmamalı, aradaki iyi kontakt bozulmamalıdır (Daniel, 1993, s.97-112).

Tablo 4.3 Jeosentetik Kil Astarların Sıkıştırılmış Kil Astarlarla Karşılaştırılması (Sharma ve Lewis, 1994) (Daniel, 1993)

Sıkıştırılmış Kil (CCL)	Jeosentetik Kil Astarlar (GCL)
kalın (0.6-1.5m)	ince ($\leq 10\text{mm}$)
arazide inşaaa edilir	üretir
inşaa edilmesi zordur	inşaa edilmesi kolay(aç ve yerleştir)
delmek imkansız	delinmesi ve zarar görmesi kolay
ağır araçlarla inşaa edilir	hafif inşaat araçları kullanılabilir
her sitede genellikle test alanları gereklidir	tekrar edilen arazi testlerine gerek yoktur
toprakla ilgili alana ait spesifik dataya ihtiyaç vardır	üretilmiş bir ürün olarak ilgili datalar mevcuttur
yüksek liç miktarı	düşük liç miktarı
uzun yerleştirme zamanı	kısa yerleştirme zamanı
büyük kalınlıkla çok fazla yer işgal eder	az yer kaplar
maliyet çok değişkendir	daha fazla tahmin edilebilir maliyet
düşük gerilme dayanımı.	Yüksek gerilme dayanımı
çatlar ve kuruyabilir	ıslatılınca kadar çatlamaz
tamiri zordur	tamiri zor değildir
donma ve erime zararına dayanıksızdır(açıktır)	donma ve erime zararına daha az duyarlıdır
performansı büyük oranda inşaatın kalitesine bağlıdır	hirolık özellikler inşaat değişkenlerine az duyarlıdır
yavaş inşaa edilir	daha hızlı inşaa edilir

Kil içinde jeomembrana zarar verecek boyutta ve şekilde taşlar mevcut ise bunlar ayıklanmalı veya jeomembran ile temas eden bölgeye seçilmiş kil tabakası konulmalıdır. İyi bir kontakt sağlamak için jeomembranın yerleştirileceği kil yüzeyi çelik silindirlerle düzeltilmelidir. Jeomembran kıvrımlanmayı önleyecek şekilde yerleştirilmeli ve desteklenmelidir (Daniel, 1993, s.97-112).



Şekil 4.14 Jeomembran, Toprak ve Karma Astarlarda Sızıntı (Daniel, 1993)

Jeomembran, kil ve karma astarlardaki sızıntı miktarları Giroud ve Bonaparte tarafından yayınlanan eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir. Aşağıda verilen örnek değişik astarlardaki sızıntı miktarlarının karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır.

- Astarın üzerindeki su yüksekliği (h) : 300 mm
- Kilin permeabilitesi (k) : 10^{-8} cm/s (iyi konumda)
 10^{-7} cm/s (ortalama durumda)
 10^{-6} cm/s (kötü durumda)
- Jeomembranın delikleri : 0.1 cm^2
- Hektar başına delik sayısı : 2 adet (iyi konumda)
20 adet (ortalama durumda)
60 adet (kötü durumda)

olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan akış miktarları Tablo 4.4’de özetlenmiştir.

Tablo 4.4 Akış Miktarlarının Örnek Hesapları (Daniel, 1993)

Astar Tipi	Akış Miktarı (l/hektar/gün)		
	en iyi	ortalama	en kötü
Sadece Jeomembran	2500	25000	75000
delik/hektar	2	20	60
Sadece Sıkıştırılmış Kil	115	1150	11500
K (cm/sn)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}
Karma Astar	0.8	47	770
delik/hektar	2	20	60
K (cm/sn)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}
kontakt	zayıf	zayıf	zayıf

Karma astar için hesaplanan akış miktarları, jeomembran veya kil için hesaplanan akış miktarından 100 kat kadar daha azdır. Kili yüksek permeabiliteli (10^{-6} cm/sn) ve jeomembranı da 20 delik/hektar özelliklerine sahip bir karma astar için hesaplanan akış miktarı; çok iyi özelliklere sahip olan sadece jeomembran veya sadece kil için hesaplanan akış miktarından çok daha düşüktür (Daniel, 1993, s.97-112).

Bonaparte ve Gross; çift astar sistemli depolarda sızıntı miktarı ölçümleri yapmışlardır. Konsolidasyon suyu, sızıntı belirleme tabakasına giren olası bir sızıntı suyu olarak yanlış nitelendirildiği için, sızıntı suyunun belirlenmesinde kullanılan bu dataların değerlendirilmesi zordur. Başlangıçta birinci karma astarın altında toplanan sızıntı miktarı bu astarın kil bileşeninin sıkışması sonucu oluşmaktadır. Örneğin 0.6 m kalınlığında doymuş kil astar, iki yıllık bir sürede, kalınlıkça %3 oranında sıkıştığı varsayıldığında ortalama akış oranı 270 l/hektar/gün olacaktır ki; bu miktar uzun dönem sızıntı miktarından çok fazladır (Daniel, 1993, s.97-112).

Bonaparte ve Gross, jeosentetik kil astarların, çift tabakalı astarların, birinci tabakası olarak kullanıldıkları uygulamaları da incelemişlerdir. Bu sistemlerde sıkıştırmaya bağlı olarak oluşan sızıntı suyu yoktur ve karma astarın içinden geçen sızıntı miktarı belirsiz değildir. Bu nedenle Amerika'da birçok mühendis jeomembran/jeosentetik kil astarı çift astar sistemleri için tercih etmektedir (Daniel, 1993, s.97-112).

Karma astarlarda karşılaşılan en büyük problem; jeomembran ile kil yüzeyleri arasındaki içsel kesme dayanımının düşük olmasıdır, ve bu değer yüzeyler arasında pozitif su basıncının oluşması ile daha da azalabilmektedir. Büyük kesme kutularında, jeomembran-kil arasındaki sürtünme açısı ölçülmeli ve şev analizi için uygun jeoteknik metodlar uygulamalıdır (Daniel, 1993, s.97-112).

Amerika'da çift astarlı depoların 370.000-740.000 USD maliyetle inşaa edildikleri belirtilmektedir (Daniel, 1993, s.97-112).

4.3 Jeosentetik Malzemeler

Jeosentetik malzemeler doğal toprak malzemelerinin alternatifi veya destekleyici elemanı olarak kullanılmaktadırlar. Malzeme özellikleri, indeks özellikleri, jeosentetik üretim kalite kontrolüyle; performans özellikleri ise dizayn koşulları ile ilgilidir (Sharma ve Lewis, 1994). “Jeomembran, jeotekstil, jeonet ve jeogridler” jeosentetik malzeme olarak adlandırılmaktadır.

4.3.1 Jeomembran

Jeomembranlar esnek, düşük permeabiliteli, polimerik tabakalardır. Sıvı veya gaz bariyeri olarak kullanılmaktadırlar. Jeomembran yapımında, termoset elastomer, termoplastik ve katranlı olmak üzere üç çeşit polimer kullanılmaktadır. Günümüzde termoset elastomerler nadiren kullanılırken, katranlı jeomembranların Kuzey Amerika, Avrupa ve Fransa’da çok az da olsa uygulamalarına rastlanmaktadır (Sharma ve Lewis, 1994) (Daniel, 1993).

Termoplastikler, ısıtma ve soğutma yardımı ile tekrarlanabilen çalışmalarla şekillendirilebilen polimerlerdir. Termoset polimerler ise sadece bir kere işleme tabi tutulur ve şekillendirilirler. Daha sonra yapılacak bir müdahale termoset polimerde hasara yolaçabilmektedir. Günümüzde kullanılan jeomembranlar genellikle termoplastik kategorisindeki jeomembranlardır. Jeomembran yapımında en çok kullanılan termoplastik polimerler; polietilen (PE) ve polivinilklorürdür (PVC).

Kullanılan termoplastik jeomembran çeşitleri (Daniel, 1993, s.137-163) (Sharma ve Lewis, 1994):

- yüksek yoğunluklu polietilen (high density polyethylene) (HDPE)
- çok düşük yoğunluklu polietilen (very low density polyethylene) (VLDPE)
- klorine edilmiş polietilen (chlorinated polyethylene) (CPE)
- klorosülfanatlı polietilen (chlorosulfonated polyethylene) (CSPE)

- polimer içine etilen kaynağı (ethylene interpolymer alloy) (EIA)
- polivinil klorit (Polyvinyl chloride) (PVC)

Depoların taban ve örtü sistemlerinde tercih edilen jeomembranlar polietilen tipi olanlardır. Taban astar sistemlerinde genellikle HDPE tipi jeomembranlar kullanılmaktadır. Bu tip malzeme fazla esnek olmamakla birlikte, inşaat ve yerleştirme esnasında ortaya çıkan yüksek kuvvetlere dayanabilecek iyi fiziksel özelliklere sahiptir. Büyük çökmeler nedeniyle örtü astar sisteminde daha esnek jeomembranlar tercih edilmektedir. Çok düşük yoğunluklu polietilen (VLDPE) jeomembranlar örtü astar sistemlerinde kullanılmaktadır. HDPE ile aynı özelliklere sahip olan bu astar daha esnektir ve yırtılmalara daha dayanıklıdır (Sharma ve Lewis, 1994).

PVC jeomembranlar, uzun dönem dayanıklılık özelliklerine rağmen eskiden genellikle kısa dönem (ortalama 1-5 yıl) uygulamalarda tercih edilmekteydi. PVC jeomembran enstitüsü, uzun dönem belediye atık depolarının astarları için PVC kullanımını desteklemektedir. PVC'ler Polietilen (PE) türü jeomembranlardan daha ucuz olmakla birlikte istenilen spesifik proje boyutunu sağlamak için birkaç büyük panel şeklinde üretilebilirler. PVC'lerin yerleştirilmesi ve uygulanması kolaydır. Çözücülü birleştirme yöntemi ile paneller birbirine bağanırken, PE jeomembranlarda ısı birleştirme yöntemi kullanılır, bu da özel ekipman ve eleman gerektirmektedir (Sharma ve Lewis, 1994).

LDPE ve HDPE avantaj-dezavantaj

- Kimyasallara dayanıklı
- İyi mukavemet ve tabaka karakteristiği
- Düşük ısılarda iyi performans
- Delinmeye dayanıksız

PVC avantaj-dezavantaj

- Yüksek mukavemet
- Yerleştirilmesi ve yapıştırılması kolay
- UV, ozon, sülfid ve iklim koşullarına dayanıksız
- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda düşük performans

Tehlikeli atık depolarında kullanılan jeomembranlar için performans standartları, düşük permeabilite, mekanik ve kimyasal dayanıklılık ve uyumu gerektirmektedir. Mühendis, her bir özellik için gerekli kriterleri; faaliyetin mühendislik ve performans gerekliliklerine, uygulanabilir yönetmeliklere ve spesifik depo koşullarına dayanarak

belirlemelidir. Tablo 4.5’de Jeomembran performans standartlarına uygunluğunun ispatı için kullanılan dizayn bilgileri ve teknik parametreler verilmiştir (EPA/625-6-88/018).

Tablo 4.5 Jeomembran Performans Standartlarına Uygunluğunun İspatı için Kullanılan Dizayn Bilgileri ve Teknik Parametreler (EPA/625-6-88/018)

Bilgi	Parametreler
Jeomembran Tanımı	Tanımlar: • Jeomembran Tipi • Yapı Malzemesi • Kalınlık • Markası • Üretici • Detaylı Malzeme Özellikleri
Astar Uygunluğu	Atık ve liçe karşılaştıktan sonra dayanım ve performans uygunluğunu gösteren astar atık uygunluk testi sonuçları
Astar Mukavemeti	Astarın ve tabakaların atık ve liçe karşılaştıktan sonra beklenen yük ve kuvvetleri karşılayacak kuvvette olduğunun gösterilmesi
Astara yeterli desteğin verilmesi	Jeomembranı yerleştirme ve operasyon esnasında yırtılmadan koruyacak alttan ve üstten yeterli desteğin verildiğinin gösterilmesi
İnşaat Özellikleri	Jeomembran yerleştirilme Prosedürü: • Astar yatağının dışarı çıkartılmasının araştırılması • Yerleştirme prosedürü • Astar yapıştırma teknikleri • Astarın kaplanmadan önce ve sırasında korunması • Koruyucu tabakaların yerleştirilmesi

EPA’nın önerdiği jeomembran kalınlığı 0.7 mm iken, Almanya’da önerilen minimum kalınlık 2 mm’dir. Jeomembranların çok düşük permeabilite değerleri nedeniyle deponun faaliyeti esnasında ve kapatılmasından sonra 30 yıl boyunca tehlikeli atıkların alt tabakalara sızmasını engelleyeceği kabul edilmektedir. Bu süre; 30 yıl içinde zararlı

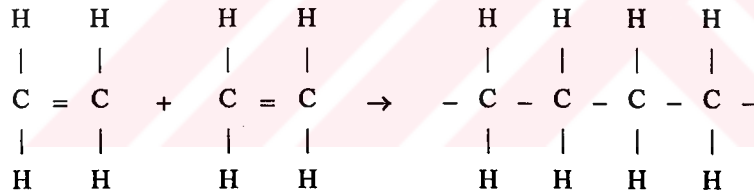
atık konsantrasyonlarının kabul edilebilir limit değerlerin altına ineceği kabulüne dayanılarak belirlenmiştir (Oweis ve Khera, 1990).

4.3.1.1 Jeomembran Seçimi

Mühendis tarafından belirlenen performans gereklilikleri astar seçiminde baz olarak alınır. Ünitenin dizayn edilen kullanımına dayanarak, mühendis jeomembran bileşimini, kalınlığını ve inşaatını (doku destekli veya desteksiz) belirler (EPA/625-6-88/018).

Jeomembranda Kullanılan Polimerler

Jeomembranlar sentetik polimerlerdir. Birçok bilinen polimer, monomer adı verilen küçük moleküllerin birleşmesiyle oluşmuştur. Bir monomer, çift karbon bağı içerir ve polimerleşme sırasında bu bağ kırılarak tek bağa dönüşür. Örneğin Şekil 4.15’de gösterildiği gibi polietilen, etilen monomerlerinden oluşmuştur.



Şekil 4.15 Polietilen Molekülüne Dönüşen İki Etilen Monomeri (Oweis ve Khera, 1990)

Jeomembranda kullanılan polimerler değişik fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip oldukları gibi; inşaat ve birleştirme aşamasında, maliyette ve atıklara olan dayanıklılıklarında değişiklikler gösterirler. Genel bir polimer içindeki bileşiklerin bileşimleri ve özellikleri önemli ölçüde değişebilir, çünkü polimerler bir ürün içinde yalnız başlarına kullanılmazlar. Maliyeti düşürmek ve özellikleri güçlendirmek için polimerlerle birlikte, katkı maddeleri, antideterjanlar, dolgu maddeleri, plastikleştiriciler ve yağlar kullanılmaktadır (EPA/625-6-88/018).

Jeomembranın Eklenmesi, Yapıştırılması

Geçirimsiz jeomembranın inşaat kalitesi; tehlikeli atığın bileşimine ve tabakaları birleştiren ek yerlerinin yapıştırılmasına bağlıdır. Jeomembranlarda ek yerleri, hataların en çok görüldüğü yerlerdir. Ek yerleri fabrikada ve arazide oluşturulabilir. Dar üretilen jeomembran tabakaları (200 cm'den dar) paneller oluşturmak üzere birbirlerine yapıştırılırlar. Fabrikada, kontrollü bir ortamda yapılan ekleme, yapıştırma işlemleri genellikle yüksek kalitedirler. Fabrikada eklenen bu paneller ve daha geniş tabakalar (19 m'den geniş) arazide yerleştirilirken birbirine eklenir, yapıştırılır. Arazide yapılan bu ekleme işleminin kalitesinin belirlenmesi zor olmaktadır (operatör; değişen hava şartlarına, inşaat alanı şartlarına dikkat etmek durumundadır) (EPA/625-6-88/018).

Fabrikada ve arazide yapılan ekleme işlemlerinde kullanılan değişik yapıştırma sistemleri mevcuttur. Sıkıştırma kaynağı, termal eritme, çözücü sıvılı kaynak, gibi üç ana yapıştırma yöntemi kullanılmaktadır. Sıkıştırma kaynağında (extrusion welding); erimiş durumda bir polimer şerit, yapıştırılacak iki yüzey arasına veya kenarlardan birine sıkılır. Bu sıcak malzeme tabaka yüzeylerinin de erimesine neden olur, erimiş ve birbirine karışmış kütle birlikte soğuduğunda birbirlerine yapışmış olur. Bu yöntem genellikle polietilenden üretilmiş jeomembranlarda kullanılmaktadır (Daniel, 1993) (EPA/625-6-88/018).

Termal eritme veya eritme ile yapılan kaynak işleminde; yeni bir polimer kullanılmaksızın, yapıştırılacak yüzeyler direkt olarak eritilir ve yapıştırılır. Burada sıcaklık, basınç ve yapıştırma süresi önemlidir. Zira çok fazla eritme jeomembranın zayıflamasına, az eritme de zayıf kaynağa neden olacaktır. Bu tip kaynaklar genellikle semikristalen ve esnek termoplastik jeomembranlarda kullanılmaktadır (ultrasonik kaynak metodu, sıcak hava metodu) (Daniel, 1993).

Çözücü sıvılı kaynaklarda ise, jeomembran tabakalar arasına, sıvı çözücü sıkılır ve iyi bir yapıştırma için basınç uygulanır. Bu yapıştırmada, iki yüzeyin çözücü sıvıda erimesinden faydalanılır (Daniel, 1993).

Jeomembran Özellikleri

- Atık bileşenlerine karşı düşük permeabilite
- Tabakanın kuvveti veya mekanik dayanıklılığı
- Depolanan atığa kimyasal uyum
- Faaliyet süresince ayakta durabilmesi

Jeomembranlar için kullanılan tabakalar lastik, plastik ve tekstil endüstrisi tarafından geliştirildikleri için bu materyallerin test edilmesinde üç grupta standart test metodu kullanılmaktadır. Jeomembran üzerine geliştirilen testler; permeabilite, çevresel ve yaşlandırma özelliği, analitik ve fiziksel özellikleri belirlemek, performansını ölçmek ve gerekli şartları sağladığını belirlemek için kullanılmaktadır (EPA/625-6-88/018). Jeomembran özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan test metodları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Jeomembran Özelliklerini Belirlemek Üzere Kullanılan Testler (Sharma ve Lewis, 1994)

TEST ADI	TEST METODU
Kalınlık (Thickness)	ASTM D 374 ASTM D 751 ASTM D 1593 ASTM D 3767
Yoğunluk (Mass per Unit Area)	ASTM D 1910
Çekme Dayanımı (Tensile Behaviour)	ASTM D 412 ASTM D 638 ASTM D 882 ASTM D 4885
Yırtılma Dayanımı (Tear Resistance)	ASTM D 1004
Delinme Dayanımı (Puncture Resistance)	FTMS 101C Method 2031 veya 2065
Çevresel Gerilme Kırılması (Environmental Stress Crack)	ASTM D 1693 ASTM D 2522
Ultraviyole Dayanımı (Ultraviolet Resistance)	ASTM D 3334
Kimyasal Dayanım (Chemical Resistance)	USEPA Test Method 9090
Carbon Black	ASTM D 1603 ASTM D 3015

Permeabilite

Bir tehlikeli atık ünitesinde astar sisteminin asıl görevi; tehlikeli maddelerin depodan çevreye, özellikle yeraltı sularına sızmasını önlemek ve kontrol etmektir. Depodaki atık cinsine bağlı olarak oluşan lıç; polimerden yapılmış jeomembranın permeabilitesini değiştirebilmektedir. Bu da polimerin spesifik kimyasallara dayanıklılığı veya uyumu ile ilgilidir. Permeabiliteyi etkileyen diğer faktörler; tabakanın kalınlığı ve kimyasalların konsantrasyonudur (EPA/625-6-88/018).

Mekanik Dayanıklılık

Jeomembran kısa ve uzun dönem kuvvetlere dayanıklı olarak seçilmeli ve inşaa edilmelidir. Kısa dönem kuvvetler, astarın yerleştirilmesi esnasındaki ekipmanlar ve çalışmalar sırasında astarda oluşan genleşme ve büzölmeleri içerirken, uzun dönem mekanik kuvvetler ise; astar üzerine atıkların yerleştirilmesi veya alt yapının çökmesi nedeniyle oluşan kuvvetleri kapsamaktadır. Mekanik dayanıklılık, astar sistemi bileşenleri arasında uygun sürtünme kuvveti; özellikle jeomembran ile taban toprağı arasında, eğimlerde sızıntının ve kaymanın engellenebilmesi için gerekmektedir (EPA/625-6-88/018). Tablo 4.7'de seçilmiş bazı jeomembranların mekanik dayanımları verilmiştir.

Tablo 4.7 Seçilmiş Bazı Jeomembranların Mekanik Özellikleri (Sharma ve Lewis, 1994)

Özellik	Çekme Dayanımı ^b (lb/in.)	Delinme Dayanımı ^c (lb)	Yırtılma Dayanımı ^d (lb)
60-mil HDPE	225-245	70-80	40-45
80-mil HDPE	280-325	90-105	50-60
40-mil VLDPE	125-140	50-65	15-20
60-mil VLDPE	200-210	75-85	25-30
20-mil PVC	45-50	Uygun değil	6-8
20-mil PVC	90-95	Uygun değil	10-12

^b ASTM D638 for PE; ASTM D882 for PVC

^c FTMS 101 C, Method 2065

^d ASTM D 1004

Dayanıklılık

Jeomembran, depolama ünitesinin faal dönemlerinde ve kapatıldıktan sonra bütünlüğünü ve belirlenen performans karakteristiğini korumak zorundadır. Jeomembranın servis süresi, asıl jeomembran materyalinin dayanıklılığına ve maruz kaldığı durumlara bağlıdır. Jeomembran kimyasal, fiziksel ve biyolojik etkilerin kombinasyonuna dayanıklı olmalıdır (EPA/625-6-88/018).

Astar sisteminin servis süresince, jeomembranın kimyasal dayanıklılığı ve liç, kritik faktörlerdir. Kimyasal dayanıklılık, jeomembranın mekanik özelliklerinin atıkla karşılaştıktan sonra değişmemesi anlamına gelmektedir. Tabakalar arasında kullanılan ek yerlerinin de, tabakanın kendisi kadar atığa dayanıklı olması istenmektedir. Dayanıklılığın bozulması; atık bileşiklerinin jeomembran tarafından absorblanması veya jeomembran içindeki bileşimlerin (elemanların) liçle veya jeomembran ile atık arasındaki reaksiyonlar tarafından bozulması, özelliğini kaybetmesi sebebiyle oluşmaktadır. Dayanımdaki aksaklık jeomembranın bozulmasına, liçin sızarak yeraltı sularını kirletmesine neden olmaktadır (EPA/625-6-88/018).

4.3.1.2 Jeomembranların Yerleştirilmesi

Jeomembranlar üreticiden inşaat sahasına rulolar halinde ulaştırılmaktadır. Panellerin yerleştirilmesinin bir bilmeceye dönüşmemesi için her rulo veya panel, jeomembran yerleştirme planına göre numarandırılmalı ve isimlendirilmelidir. Ulaştırma sırasında bir arıza olup olmadığı araştırılmalı ve jeomembranın inşaatın önce düzgün depolanmasına özen gösterilmelidir. Bazı jeomembranlar ultraviyole ışınlarla CPE gibi membranlar da nem ve sıcaklığa duyarlıdır. Bu nedenle inşaatın veya koruyucu tabaka serilmeden önce direkt güneş ışığına maruz bırakıldıklarında veya uygun olmayan şartlarda depolandıklarında özelliklerini kaybedebilirler. Yapıştırıcı ve katkı maddeleri de uygun şartlarda saklanmalıdır (EPA/625-6-88/018)

Jeomembran ruloları elle yayılabileceği gibi bir traktör yardımı ile de serilebilir. Paneller genellikle paletlere sarılmıştır, bunların manuel olarak açılıp yerleştirme işlemi

için kalabalık bir ekibe ihtiyaç vardır. Tabakaların hepsinin açılması yerine ancak bir vardiyada yada çalışma süresinde yerleştirilebilecek, birleştirilebilecek kadar tabaka açılmalıdır. Rüzgarlı günlerde tabakaları yerlerinde tutmak ve rüzgaradan etkilenmesini önlemek için kum torbalarından faydalanılmaktadır (EPA/625-6-88/018).

Yapıştırma ve kaynak prosesi jeomembran inşaatının başarısını belirleyen bir kriterdir. Bu nedenle kaynak kalitesini etkileyecek tüm parametreler bu proses sırasında incelenmeli ve kontrol edilmelidir. Kaynak prosesini etkileyen faktörler (EPA/625-6-88/018):

- Kaynağın yapıldığı ortam sıcaklığı
- Relatif nem
- Rüzgar miktarı
- Kaynak işlemini yapan ekibin tecrübesi
- Yapıştırıcı malzemenin kalitesi ve kullanımı
- Astar yüzeylerinin yapıştırma işlemine uygun hazırlanması
- Kaynak yüzeylerinin temizliği
- Basınç ve ısı

Jeomembranı yapıştırmak için kullanılan birleştirme sistemleri tabakayı oluşturan polimerlerin özelliğine bağlıdır. Termal yapıştırma metodlarının kalitesi, yapıştırma yüzeylerinin temizliği, ısı, basınç ve yapıştırma zamanına bağlıdır. Yapıştırıcı sistemlerde yapıştırıcı malzeme, termal yapıştırma istemlerindeki ısının yerini almıştır. Jeomembranın, şevlerde kaymasının önlenmesi için, serilen tabaka depo çevresi boyunca ankrajlanmalıdır (EPA/625-6-88/018)

İklim ve çalışmalarla ilgili zararlardan korunması için jeomembran, kalite kontrol işleri biter bitmez koruyucu tabaka ile kaplanmalıdır (EPA/625-6-88/018)

Hasar görmemiş jeomembranlar geçirimsizdir, su zarar görmemiş jeomembrandan difüzyon yoluyla çok yavaş bir şekilde geçer. Jeomembranlarda en büyük problem tabakalarda deliklerin veya ek yerlerinde küçük kusurların oluşabilmesidir. Bu deliklerin sayısı ve büyüklüğü inşaat kalite sigortası ile kontrol altına alınmıştır. Darilek, Laine ve Parra elektrik direnç yöntemini kullanarak, tamamlanmış astarlarda yaptıkları incelemeler sonucunda; sızıntıların %18'inin materyalin kendisinde, %82'sinde ise ek yerlerinde meydana geldiğini bulmuşlardır (Daniel, 1993, s.97-112).

4.3.1.3 Jeomembran Kalite Sigortası

İnşaat öncesi ve inşaat sırasındaki kontroller olmak üzere iki ayrı başlık altında incelenmektedir(EPA/625-6-88/018).

İnşaat öncesi kalite kontrol işleri:

- hammaddeler
- üretim operasyonları
- dokuma işlemleri
- son ürün kalitesi
- taşımayla ilgili gözlemler
- membranların kullanılması, saklanması
- taban hazırlıkları
- inşaat sırasında kullanılacak ekipman ve personelin belirlenmesi

İnşaat sırasında olan kontroller ise:

- jeomembran yerleştirilmesi
- kaynak işlemi
- ankrajların yerleştirilmesi
- koruyucu tabakanın yerleştirilmesi

İnşaattan sonra ise sızıntı kontrolünü kapsamaktadır (EPA/625-6-88/018)

Jeomembranlara iki türlü test uygulanmaktadır. Membrana zarar verilerek ve zarar verilmeden yapılan testlerde dayanım karakteristiği incelenmektedir. Bir jeomembran numunesinin, bağlantı yerine tabakada veya ek yerinde herhangi bir bözülme meydana gelinceye kadar kuvvet uygulanır. Fabrika ve arazi kaynak örneklerinde yapılan zarar verici testler, kesme ve soyma modunda kaynak kuvvetinin belirlenmesini de içerir. Astara zarar vermeden yapılan testler ise genellikle elektriksel ve sismik incelemeleri kapsamaktadır (EPA/625-6-88/018)

4.3.2 Jeotekstil

Jeotekstil ürünler sentetik dokuma ürünlerdir. Birçoğu propilen veya polyester ipliklerden oluşmuştur. Dokunmuş (woven) ve dokunmamış (non-woven) olmak üzere iki türlü jeotekstil vardır. Dokunmuş jeotekstil, fiberlerin kumaş dokuma yöntemleri kullanılarak, dokunarak üretilmektedir. Dokunmamış jeotekstillerde ise, fiberler iğne-zımbalama yöntemi, eritme bağlama veya reçine bağlama yöntemleriyle ile birbirine tutturulurlar. İğne-zımbalama metodunda iplik ağına birçok tırtıklı iğne zımbalanarak iplikler birbirine bağlanırken; eritme yönteminde ise fiberlerin birbirleri ile kesiştikleri noktalar eritilir ve basınç uygulanarak biribirine yapışması sağlanır.

Reçine bağlamada da fiber ağına reçine uygulanarak bağlama işlemi reçine ile gerçekleştirilir (Sharma ve Lewis, 1994).

Atık depolarında jeotekstil malzeme genellikle filtreleme, ayırma, destekleme ve drenaj için kullanılmaktadır. Yeni uygulamalarda jeotekstil günlük örtü materyali olarak da, uygulamalarda kullanılmaktadır (Sharma ve Lewis, 1994). Jeotekstillerin özelliklerinin belirlenmesi için uygulana testler Tablo 4.8’de verilmiştir.

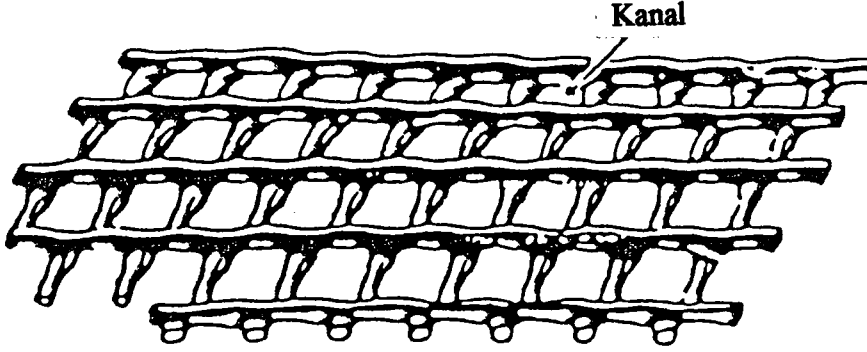
Tablo 4.8 Jeotekstil Özelliklerini Belirlemek Üzere Kullanılan Testler (Sharma ve Lewis, 1994)

TEST ADI	TEST METODU
Kalınlık (Thickness)	ASTM D 177 ASTM D 5199
Yoğunluk (Mass per Unit Area)	ASTM D 5261
Tek Eksenli Çekme Dayanımı (Uniaxial Tensile Strength)	ASTM D 4632 ASTM D 4595
Çok Eksenli Çekme veya Yırtılma Testleri (Multiaxial Tensile Strength)	ASTM D 3786
Açıklık Boyutu (Apparent Opening Size)	ASTM D 4751
Trapezoid Yırtılma Dayanımı (Trapezoid Tear Strength)	ASTM D 4533
Permittivity (Geçirgenlik)	ASTM D 4491
Transmissivity (İletkenlik)	ASTM D 4716
Ultraviyole Dayanımı (Ultraviolet Resistance)	ASTM D 4355

4.3.3 Jeonet

Jeosentetik drenaj ürünleri, drenajı sağlayacak şekilde dizayn edilmiş preslenmiş plastik tabakalardır. Genellikle polietilen hammadde olarak kullanılmaktadır. Jeonetler, Şekil 4.16’da görüldüğü gibi birbirlerini sabit bir açıyla kesen ve açık bir ağ konfigürasyonu oluşturan paralel iki set kordondan oluşmaktadır. Kordonlar arasında oluşan kanallar gaz ve su taşınması içindir. Jeonetlerin özelliklerinin belirlenmesi için aşağıdaki testler uygulanmaktadır (Sharma ve Lewis, 1994):

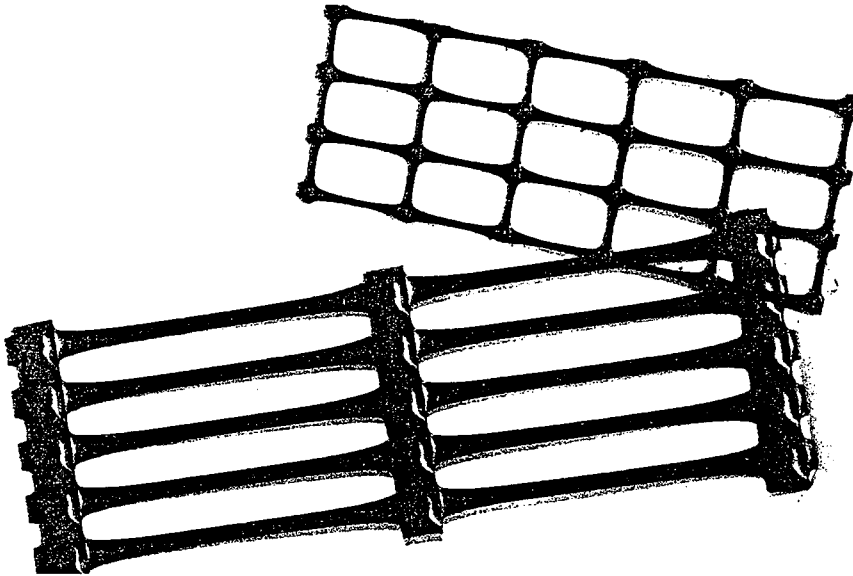
- Kalınlık ASTM D 1777 ve ASTM D 5199
- Kırılma Dayanımı ASTM D 1621
- İletkenlik ASTM D 4716



Şekil 4.16 Jeonet (Sharma ve Lewis, 1994)

4.3.4 Jeogrid

Jeogridler yüksek dayanıklı, polipropilen, polyester veya polietilenden oluşmuşlardır. Bütün jeogridler açıklığı 1.5-7.5 cm olan elek konfigürasyonundadır (Şekil 4.17). Polyester ve polyester-PVC kaplı jeogridler, örülerek veya dokunarak üretilirken, Propilen olanlar, preslenerek veya jeomembran üzerine daire, kare delikler açılarak imal edilmektedir (Sharma ve Lewis, 1994).



Şekil 4.17 Jeogrid (Sharma ve Lewis, 1994)

Atık depolarında jeogridler, zayıf bir taban üzerinde yer alan astar sistemini veya dik atık şevlerindeki örtü astar sistemini desteklemek amacıyla kullanılırlar. Yeni kullanım yerleri ise, “piggy back” türü depolardır. Bu depolar eski deponun üzerine inşaa edilen depolardır. Yönetmeliklere göre, yeni ve eski depo arasına bir astar sistemi yerleştirilmelidir. Ancak alttaki atık sıkıştırılabilir durumda olduğu için yerleştirilecek astar sistemi için zayıf bir taban oluşturmaktadır. Jeogridlerin çekme dayanımı testleri ASTM D 4595’te belirtildiği şekilde yapılmaktadır (Sharma ve Lewis, 1994).

4.4 Liç Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri (Leachate Collection and Removal System [LCRS])

Liç toplama ve uzaklaştırma sistemi, sıvıların etkili bir şekilde toplanması ve depo içinden uzaklaştırılması, işleme tabi tutulup atılması görevlerini yerine getirir (Daniel, 1993).

Liç toplama ve uzaklaştırma sistemleri şunları içermektedir (EPA/625-6-88/018):

- Kil ve esnek membran tabakadan (FML) oluşmuş düşük permeabiliteli taban
- Doğal granüler malzemeden (kum veya çakıl) veya sentetik drenaj malzemeden (jeonet) oluşmuş yüksek permeabiliteli drenaj tabakası
- Yüksek permeabiliteli drenaj tabakası içinde, liçi çabucak toplamak ve kuyulara ulaştırmak için delikli liç toplama boruları
- Boruların ve deliklerin tıkanmasını engellemek amacıyla kullanılan boruların etrafını saran koruyucu filtre malzemesi
- Malzemelerin son koruyucu tabakası (trafik ve depo operasyonlarından korumak için)

Çift tabakalı astar sistemlerinde, iki adet liç toplama tabakası mevcuttur. I. drenaj tabakası, liçin birinci düşük permeabiliteli astara ulaşmadan önce depodan uzaklaştırılarak sistemdeki liç seviyesini azaltma görevini yerine getirirken, II. drenaj tabakası ise I. tabakadan sızan liçi toplayarak ve uzaklaştırarak sızıntı belirleme işlevini yerine getirir. Bu tabaka için kullanılan liç sevk boruları I. sisteminkine göre incedir. Çünkü dizayndaki amaç II. drenaj sistemine çok az veya hiç sızıntı olmamasıdır (EPA/625-6-88/018) (Daniel, 1993).

Örtü astar sisteminde ise, jeomembran tabaka üstündeki yüzey suyu drenajı önemlidir. Bu tabakaya ulaşan yüzey suyu, faaliyetin çevresine doğru gider ve burada delikli borularla veya jeokompozit uçlu drenlerle uzaklaştırılır (Daniel, 1993).

4.4.1 Sistem Bileşenlerinin Düzeni

Yüksek permeabiliteli drenaj tabakası, düşük permeabiliteli astarın üzerine yerleştirilir. Drenaj malzemesinin seçimi, doğal çakıl malzemesinin alanda bulunmasına bağlıdır. Kum ve çakılın taşınma masrafları fazla olduğu için, jeonet ve sentetik drenaj malzemeleri, granüler malzemenin alternatifi olarak seçilebilir. Jeonetler genellikle dik yan duvarlarda, kaymaya daha dayanıklı tabaka oluşturmak üzere, granüler malzemenin yerine kullanılır (EPA/625-6-88/018).

Birinci ve ikinci liç toplama sistemleri için ayrı kuyu sistemleri olmalıdır. Liçin efektif bir şekilde toplanması ve uzaklaştırılması için iki drenaj tabakası da, kendilerine ait kuyulara doğru eğimlendirilir. Bu konfigürasyon birinci astardan ikinci liç toplama sistemine sızan liç miktarının belirlenmesine izin vermektedir. Tablo 4.9 Liç toplama ve uzaklaştırma sisteminin performans standartlarına uygunluğunu göstermek için kullanılan bilgiler ve parametreler verilmiştir (EPA/625-6-88/018).

EPA, "HELP" adı verilen bir bilgisayar programı geliştirmiştir. "Landfill Performansının Hidrolik Tahmin Programı (Hidrologic Evaluation Landfill Performance [HELP]), suyun depodan geçiş, depoya giriş, çıkış hareketlerinin hidrolojik iki boyutlu modelidir. Program; yüzey depolaması, çıkış suyu, sızma, yatay drenaj ile ilgili çözüm teknikleri, çıkış suyu drenajı ve değişik depo koşullarında oluşacak liç miktarı hesaplarını da yapabilmektedir (EPA/625-6-88/018).

4.4.2 Sistem Dayanıklılığı

Liç toplama ve uzaklaştırma sistem bileşenlerinin hatalı olması, bütün sistemin çökmesi demektir. Bu nedenle tüm elemanların liçe dayanıklı olduğunun ispatı önemlidir.

Tablo 4.9 Liç toplama ve uzaklaştırma sisteminin performans satandartlarına uygunluğunu göstermek için kullanılan bilgiler ve parametreler (EPA/625-6-88/018)

Bilgi	Parametreler
İnşaat malzemeleri	Detaylı malzeme özellikleri: • Drenaj tabakası malzemesi • Filtre tabakası • Borular • Kuyular ve pompalar
Liç toplama ve uzaklaştırma operasyon ve dizayn tanımları	Tanımlı yapılanlar: • Liçin zamana bağlı olarak uzaklaştırma dizaynı ve sistemi • Astarlardan gelen sızıntının zamana bağlı olarak belirlenme dizaynı ve sistemi • Sıvının sistemden uzaklaştırılması
Sentetik malzemelerin drenaj kapasitesi	Sentetik drenaj malzemelerinin, en az 30 cm kalınlığında 1×10^{-2} cm/sn permeabilite değerli granüler tabaka kadar drenaj kapasitesine sahip olduğunun ispatı
Drenaj ve derecelendirme ispatı	Dizayn detayları şunları içerir: • Şevler • Kontur planları • Boruların boşlukları ve yerleşimi • Kuyular ve pompalar • Liçin izleyeceği yol • $< \%2$'den büyük eğimler için eşitliğin ispatı • I. ve II. liç toplama kuyularının ayrılması
Maksimum liç yüksekliği ve hesabı	I. Liç toplama tabakası üzerindeki liç seviyesinin 30 cm yüksekliğini aşmayacağını ispatı şunları içermektedir: • Hesaplamalar • Tahmin edilen parametrelerin hesabı • Kullanılan nümerik teknikler
Liç toplama ve uzaklaştırma sisteminin dayanıklılığı	Tüm sistem bileşenlerinin atığa ve liçe dayanımını gösteren test sonuçları

4.4.3 Sistem Kuvveti

Sistem, atık, örtü sistemi, operasyon araçları ve bileşenlerin ağırlığını; kapatma sonrası yükleri destekleyecek dayanımı göstermelidir. Drenaj tabakaları kendi ağırlıkları ve şevlerde çalışan araç ağırlıkları altında da kayabilirler. Drenaj tabakalarında ve borularda en çok hata bu yüklenmelerden kaynaklanmalıdır (EPA/625-6-88/018).

Liç toplama ve uzaklaştırma sistemi, kum ve çakıl gibi granüler malzemeden inşaa edilmiş ise beklenen kuvvetlere karşı yeterli dayanımı gösterebileceği ispatlanmalıdır. Bu ispat düşük permeabiliteli topraklar için önerilen test metodları ile benzerlik göstermektedir ancak test metodları, kohenyonsuz topraklar için uygun olanlardan seçilmelidir. Depo dizaynında seçilen granüler drenaj malzemelerinin en dik eğimlerde bile stabil olacağını ispatlayan hesaplar verilmelidir (EPA/625-6-88/018).

Deponun tabanına yerleştirilen borular atık yükünün altında kalır. Dizaynda borular üzerindeki maksimum atık yüksekliği ve depo araçlarının ağırlığının belirlenmesi gerekmektedir. Borular drenaj sisteminde, astarda veya tabanda açılmış sığ bir kanal içine veya astarın üzerine olmak üzere iki şekilde yerleştirilebilirler. Boru üzerindeki dikey kuvvet; borular üzerinde bulunan atık yüksekliği ile atığın birim ağırlığının çarpımı ile bulunur. Yükler borularda kırılma ve bükülmelere neden olabilir. Boru dayanımı bükülme ile sınırlı olabilir. Bükülme boru esnekliği ve dolgu malzemesi özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bükülmeler ve kırılmalarla ilgili tüm bilgiler boru üreticilerinden elde edilebilir (EPA/625-6-88/018).

4.4.4 Tıkanmaların önlenmesi

Boru deliklerinin ve granüler malzeme boyutlarının ayarlanması; boruların sınıflandırılmış granüler malzeme veya jeotekstil gibi bir filtre tabakası ile sarılmasıyla; granüler drenaj malzemelerinin boru sistemlerini tıkaması engellenmelidir. Borular ve drenaj tabakaları sadece fiziksel değil, kimyasal ve biyolojik tıkanmalara da maruz kalabilmektedirler (EPA/625-6-88/018).

Drenaj tabakaları uygun permeabiliteyi gösterecek şekilde dizayn edilmeli ve granüler malzeme yerleştirilmeden önce, ince partikülleri minimize etmek için yıkanmalıdır. Drenaj boruları temizlenmeleri için iç çapları minimum 15 cm seçilmelidir.

Granüler filtrelerin yerine jeotekstil kullanıldığında, delik, yırtık gibi arızaların oluşmamasına dikkat edilmelidir. Jeotekstil kullanmanın avantajı; düşük maliyet, uniform oluşu ve kolayca yerleştirilmesidir. Çakıllarda maliyet artışı ve inşaatındaki zorluklar nedeniyle jeotekstil malzeme tercih edilmektedir. Jeotekstil malzemenin inşaat esnasında kontrolünün mümkün olması da önemli bir avantajdır (EPA/625-6-88/018).

Drenaj boruları filtre veya drenaj tabakaları içine yerleştirildiklerinde, açık hiçbir uç bırakılmamalı ve borularla temas eden granüler malzeme deliklerden boşluklardan geçmeyecek kadar iri olmalıdır. Drenaj tabakası özellikleri ve boru özellikleri karşılaştırılmalı birbirine uygun sistemler kullanılmalıdır (EPA/625-6-88/018).

Kimyasal çözünme ise, liç içindeki çözünmüş iyonik malzemenin borularda çökmesi sebebiyle oluşmaktadır. Bu tip tıkanmalar, sistemde akış hızlarının kendi kendine temizlenmeyi sağlayacağı, uygun eğimlerin sisteme verilmesi ile engellenebilmektedir. Akış hızı, çöken partiküllerin çapına ve spesifik ağırlığına bağlıdır. Genellikle kendi kendine temizlenme akış hızları 0.3-0.6 m/sn rasında gerçekleşmektedir (EPA/625-6-88/018).

Alglerin ve bakterilerin büyümesine bağlı olarak biyolojik tıkanmaların meydana gelmesi belediye atık depolarının en büyük problemidir. Bu tip problemle, tehlikeli atık depolarında karşılaşılır. Biyolojik tıkanmaları önlemek için efektif bir yöntem yoktur. Depoda organik malzeme olduğu müddetçe biyolojik tıkanma potansiyeli mevcuttur, bu nedenle boru sisteminin temizlenmesi için şu özellikleri içermelidir:

- Temizliğin yapılabilmesi için minimum iç boru çapı 15cm olmalıdır.
- Önemli boru kesişme noktalarında girişler veya incelemeye, temizlemeye izin verecek delikler ulaşım kanalları olmamalıdır.

- Temizleme solüsyonlarının verileceği valfler ve portlar olmalıdır.

4.4.5 Malzeme Seçimi

Granüler drenaj tabakası için en önemli kriter, parça boyutu dağılımıdır. Drenaj için uygun permeabilite 1×10^{-2} cm/sn olarak belirlenmiştir (EPA/625-6-88/018).

Jeonetler için kritik özellik; malzemenin yük altında sıvıları iletme özelliğidir. Bu nedenle belirlenen yükler altında minimum iletkenliği gösteren malzemeler tercih edilmektedir (EPA/625-6-88/018).

Granüler filtre tabakası, boruları saran ve I. drenaj tabakasını tıkanmalardan koruyan filtre tabakaları için detaylı bir boyut dağılımının yapılması gerekmektedir (EPA/625-6-88/018).

Jeotekstil malzemenin birinci fonksiyonu, ince malzemenin drenaj tabakasına ve drenaj borularına geçişini engellemektir. Kritik özelliği, geçirgenliği (liç için) ve ince malzemeleri tutma yeteneğidir. Jeotekstilin permeabilitesi, tuttuğu toprağın en az 10 katı kadar olmalıdır (EPA/625-6-88/018).

Boruların şu özelliklerine dikkat edilmelidir (EPA/625-6-88/018):

- Boru malzemesinin tipi
- Çapı ve et kalınlığı
- Deliklerin boyutu ve dağılımı
- Boru üretiminde kullanılan kaplama malzemesi özelliği
- Boruyu destekleyecek yatak malzemesi

Kuyular liç toplama sisteminin bir uzantısı olmalarına rağmen betondan inşaa edilmektedirler. Bu nedenle kuyularda betonla ilgili özelliklere dikkat edilmelidir. Beton dayanımı, belirli bir zaman içerisindeki basınç dayanımı ile belirlenir ki, bu da su/çimento oranına bağlıdır. Su/çimento oranı azaldıkça dayanım artmaktadır (EPA/625-6-88/018).

Kuyularda toplanan liçin uzaklaştırılması için kullanılan pompalar, liçi belirlenen hızda ve istenilen yüksekliğe pompalayacak kapasitede olacak şekilde dizayn edilmelidir. Çoğu zaman taşınabilir pompalar kullanılmaktadır. Pompalar liç kuyuları girişinden geçecek boyutta olmalıdır (EPA/625-6-88/018).

4.4.6 Liç Toplama ve Uzaklaştırma Sisteminin Yerleştirilmesi

Liç toplama ve uzaklaştırma sistemi dizaynı tamamlandıktan sonra, inşaa sırası şu şekilde olmalıdır (EPA/625-6-88/018):

- Kuyular ve pompalar
- Borular
- Granüler malzeme veya jeonet
- Granüler filtre veya jeotekstil

Sistemde kuyular en düşük seviyede yer aldıkları için öncelikle onlar inşaa edilir. Astar sistemlerinin bileşenleri kuyulara doğru eğimli yapılır. Genellikle taşınabilir ve kullanılmadığı zaman kuyuda bırakılabilir pompalar tercih edilmektedir. Liç toplama boruları, drenaj tabakasının yerleştirilmesinden önce, astar tabakasının üzerine yerleştirilirler (EPA/625-6-88/018).

Granüler malzeme geleneksel araçlarla, buldozer, kamyon gibi araçlarla yerleştirilir. Malzeme, jeomembran veya jeotekstil üzerine yerleştirilecek ise bu işlem jeosentetik malzemelere zarar vermeden yapılmalıdır. İri granüler malzeme, düşük permeabiliteli topraklardan farklı olarak, fazla sıkıştırılmadan ve kuru şekilde yerleştirilir; sonraki çökmeleri minimize etmek için de sarsıntılı silindirlerle sıkıştırılabilirler (EPA/625-6-88/018).

Jeonetler, yerleştirme kolaylıkları ve stabiliteleri nedeniyle genellikle depoların yan duvarlarında kullanılırlar. Yerleştirilen tabakanın üst ucu ankraj kanalına yerleştirilir. Şevlerde minimum oranda ekleme ve kaynak kullanılmalıdır. Jeonetler gevşek şekilde yerleştirilmeli, gerilmemeli veya gerilime kendi ağırlığını taşıyacak şekilde yerleştirilmemelidir (EPA/625-6-88/018).

Granüler filtre tabakaları; sıvıların geçişine izin verirken, ince partiküllerin liç sisteminin borularına ve drenaj tabakalarına geçişini engeller. Bu tabakaların yerleştirilmesindeki önemli kriter, kalınlıktır. Granüler filtre tabakası borular etrafına bir zarf şeklinde elle yerleştirilir. Bu zarf granüler drenaj tabakası ile birlikte yerleştirilebilir. I. liç toplama sistemi üzerine yerleştirilen filtre tabakası da uygun görülen kalınlıkta konulmalıdır. Filtre tabakası liç sisteminin en üst tabakasıdır. Ancak bazı uygulamalarda, filtre ve drenaj tabakasını korumak amaçlı 30 cm kalınlığında bir tampon tabaka da kullanılmaktadır (EPA/625-6-88/018).

Jeotekstilin avantajı, hafif ve kolay yerleştirilebilir olmasıdır. Eğimlerde kullanıldıklarında jeonetler gibi ankrajlanmalıdır. Jeotekstil malzeme güneş, rüzgar veya trafik nedeniyle zarar görebilir, bu nedenle yerleştirildikten sonra hemen genel dolgu malzemesi ile kaplanmalıdır (EPA/625-6-88/018).

4.4.7 Kalite Sigortası

İnşaattan önce, bütün malzemeler dizayn kriterlerine ve planlarına uygunluğu bakımından incelenmelidir. İnşaat sırasında şu aktiviteler incelenmeli ve kayıt alınmalıdır (EPA/625-6-88/018):

- Boru desteklenmesinin yerleştirilmesi; (kalite, kalınlık ve alansal örtüyü de içerir)
- Boru ağının yerleştirilmesi; (eğimler, eklemeler, konfigürasyon ve filtre tabakasını da içerir)
- Granüler drenaj tabakası; (kalınlık, örtü, sıkıştırma, tıkanmalar dahil)
- Jeonet yerleştirilmesi; (dizayn, ekleme, hava koşulları dahil)
- Granüler filtre tabakası; (malzeme kalitesi ve kalınlık)
- Jeotekstil tabakanın yerleştirilmesi
- Kuyular ve yapısal yerleşim
- Mekanik ve elektrikli araçların yerleştirilmesi

Test

Malzemelerin istenilen özellikleri sağladığından ve inşaattan sonra gereken performansı göstereceğinden emin olmak için arazi gözlemlerinin yanı sıra,

- Jeonet ve jeotekstil tabakalarından numune alımı ve testler
- Granüler drenaj ve filtre tabakalarından numune alınması ve parça boyutu dağılımı testler
- Boruların sızıntı ve tıkanmalarını kontrol için testler

ile ilgili gerçek arazi ölçümleri ve laboratuvar testleri de yapılmalıdır. İnşaattan sonra her malzemenin, inşaat esnasında zarar görüp görmediği de test edilip incelenmelidir (EPA/625-6-88/018).



BÖLÜM 5

TÜRKİYE'DE TERMİK SANTRAL ATIKLARI

5.1 Giriş

Ülkelerin kalkınma göstergelerinden biri de kişi başına tüketilen enerji miktarıdır. Uluslararası düzeyde enerji tüketimi 1994 yılında 2250 kWh iken; Türkiye'de 1996 yılında kişi başına enerji tüketimi yaklaşık 1483 kWh olarak gerçekleşmiştir (Karamustafaoğlu, 1996). Şu an Türkiye'de elektrik enerjisinin %53'ü termik santraller, %47'si ise hidrolik santraller tarafından üretilmektedir (Karamustafaoğlu, 1996).

Ülkemizde kalkınma planlarında hedef, elektrik enerjisinin sürekli, güvenilir ve ucuz bir biçimde sağlanması olarak belirlenmiş, bu doğrultuda, elektrik enerjisi üretiminde, diğer sanayi dallarında veya teshinde değerlendirilemeyen düşük kaliteli linyit kullanımına gidilmiştir (Esin, 1994). Ayrıca, 70'li yıllarda tüm dünyada yaşanan petrol krizinden sonra, ülkemizde linyite dayalı termik santraller (hemen hemen tüm termik santraller 1974-1984 yılları arasında planlanmıştır) projelendirilmiş ve kurulmuştur (Esin, 1994). Tablo 5.1'de Türkiye'deki termik santraller, kurulu güçleri, yakıt miktarları ve özellikleri verilmiştir.

5.2 Termik Santral Atıkları

Termik santraller, gerekli tedbirler alınmadığı takdirde, oluşturdıkları üç tip atık ile çevreyi olumsuz yönde etkileyebilirler.

- Baca gazları
- Katı atıklar
- Sıvı atıklar

Tablo 5.1 Türkiye'deki Termik Santral Özellikleri (Esin, 1994)

Santral Adı	Kurulu Güç (MW)	Yakıt Tüketimi (t/h)	Yakıt Türü	AİD (Alt Isıl Değer) (kcal/kg)	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)
Yatağan	3 x 210	3 x 280	Linyit	1846.00	36.25	27.99	1.74
Afşin-Elbistan	6 x 340	4 x 800	Linyit	1240.67	50.02	19.16	1.26
Yeniköy	2 x 210	2 x 300	Linyit	1425.17	27.46	36.48	1.63
Kemerköy	3 x 210	3 x 282	Linyit	1396.00	31.72	33.23	2.08
Seyitömer	5 x 150	3 x 200	Linyit	1697.44	33.75	34.22	1.02
Soma-A	2 x 22	2 x 44	Linyit	3081.00	20.26	28.11	0.75
Soma-B	6 x 165	6 x 272.50	Linyit	1728.00	19.10	46.47	0.63
Tunçbilek-A	2 x 32 +65	88.40	Linyit	3661.67	21.13	25.11	1.47
Tunçbilek-B	2 x 150	2 x 175	Linyit	2616.00	17.60	40.77	1.51
Çayırhan	4 x 150	2 x 127.30	Linyit	1932.33	25.67	39.56	2.60
Kangal	3 x 150	2 x 277	Linyit	1245.33	50.09	20.79	1.95
Orhaneli	1 x 210	200	Linyit	1638.00	21.23	17.11	0.92
Çatalağzı-B	2 x 150	2 x 123	Taşkömürü	3011.33	14.15	44.85	0.35

5.2.1 Baca Gazları

Genel olarak termik santrallerde baca gazlarının neden olduğu başlıca emisyonlar; azot oksitleri, kükürt oksitleri ve uçucu küllerdir (Esin, 1994).

Türkiye’deki termik santrallerin büyük bölümü, Çevre Yasası’nın ilgili yönetmeliği olan “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği”nin Kasım 1986 tarihinde yayınlanmasından önce planlanmıştır. Bu nedenle çevrenin korunması için alınan tedbirler “Hava Kalitesi Yönetmeliği”nin yayınlanmasından sonra yetersiz kalmıştır (Esin, 1994). Tablo 5.2’de hava kalitesi değerleri verilmiştir.

Ülkemizdeki santrallerde genellikle azot oksitleri (NO_x) emisyon değerleri, yönetmelikte belirlenen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Kullanılan kömürlerin kül ergime sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle, kazandaki yanma odası sıcaklıkları düşük tutulmakta, böylece azot oksitlerin (NO_x) oluşumu engellenmektedir. Ayrıca birçok santralde uygulanmakta olan “teğetsel yakma” sistemi de uygun yanma şartlarının sağlanmasında etkili olmaktadır (Esin, 1994) (Karamustafaoğlu, 1996).

Kömürlerin kül oranlarının (%17-%46) yüksek olması, toz emisyon kontrolünü gündeme getirmektedir. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’nde “Yakma Tesisleri için Emisyon Değerleri” bölümünde toz emisyonu 250 mg/Nm^3 olarak belirlenmiştir. Genellikle tesislerde %98 ile %99.82 arasında verimle çalışan eloktrofiltrelerin kullanılması ile partikül emisyon değerleri, yönetmelik sınır değerlerin altında tutulabilmektedir. Ancak elektrofiltre verimlerinin düşük olduğu Tunçbilek, Seyitömer ve Kangal santrallerinde, çalışma verimleri arttırılmak üzere, rehabilitasyon çalışmalarına başlanacaktır (Karamustafaoğlu, 1996). Tablo 5.3’de yakma tesisleri için emisyon değerleri verilmiştir.

Termik santrallerde yakılan kömürün kükürt içeriğinin yüksek (%0.50-%2.60), ısıl değerinin düşük (1300 kcal/kg - 3000 kcal/kg) olması nedeniyle baca gazında yüksek SO_2 emisyonları oluşmaktadır.

Tablo 5.2 Hava Kalitesi Sınır Değerleri (Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Resmi Gazete, 2 Kasım 1986, No:19269)

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³		Partikül Madde (≤10µ) µg/m ³		Azot Oksitler µg/m ³		CO µg/m ³	HC µg/m ³	Cl µg/m ³	F µg/m ³
	Genel	Endüstriyel Bölgeler	Genel	Endüstriyel Bölgeler	NO _x	NO				
Uzun Vadeli (Yıllık)	150	250	150	200	100	200	10.000	---	100	--
Kısa Vadeli (Günlük)	400	400	300	400	300	600	30.000	140	300	10
Saatlik	900	900						280		30

Tablo 5.3 Yakma Tesisleri İçin Emisyon Değerleri (Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Resmi Gazete, 2 Kasım 1986, No:19269)

YAKMA TESİSLERİ	Toz Emisyonları		No _x Emisyonları		CO Emisyonları mg/Nm ³	F Bileşik Emisyonları mg/ Nm ³	Cl Bileşik Emisyonları mg/Nm ³	SO ² Emisyonları mg/Nm ³					
								< 300 MW			> 300MW		
								20.000 saat veya daha az ömrlü kalmış santraller	20.000 saatten daha fazla ömrlü kalmış santraller	Yeni santraller	20.000 saat veya daha az ömrlü kalmış santraller	20.000- 50.000 arasında olan santraller	50.000 saatten daha fazla ömrlü kalmış santraller ve Yeni santraller
Katı Yakıtlı Yakma Sistemleri	(*) 250	(*) 150	1.000	800	250	15	100	--	(**) 3.200	(**) 2.000	--	(**) 3.200	(**) 1.000
Sıvı Yakıtlı Yakma Tesisleri	110	110	1.000	800	175	--	--	--	(**) 3.200	(**) 1.700	--	(**) 1.700	(**) 800
Gaz Yakıtlı Yakma Tesisleri ****	10	10	500	500	100	--	--	(***) 60	(***) 60	(***) 60	60	60	60

Tüm Değerler kuru bazda verilmiştir.

* Orjinal kömürdeki kül miktarı %18'in üzerinde olan linyit santrallerinde, bu değer Çevre Bakanlığı tarafından %200 oranında artırılabilir.

** Eğer verilen sınır değerler aşıyorsa, yakıt ısı gücü 300 MW'a kadar olan tesislerde küktürt emisyon değerini %10'a, 300 MW'ın üzerinde olan tesislerde ise %5'e düşürecek bir küktürt arıtma tesisi kurulacaktır.

*** Isıl gücü 100 MW'ın altındaki tesisler için bu değerler 100 mg/Nm³, tır.

**** Yönetmelikte doğal gaz kombine çevrim santralleri için değerler verilmemiştir. Ancak baca gazındaki oksijen oranının %3 yerine %15 olarak alınması halinde "Gaz Yakıtlı Yakma Tesisleri" için verilen değerlerin gaz türbinleri için kullanılabileceği Çevre Bakanlığı tarafından kabul edilmiştir.

İgili yönetmelik yayınlanmadan önce projelendirilen santrallerde; santral teknik parametreleri ve bölgenin meteorolojik şartları dikkate alınarak; baca gazlarının yer seviyesinde düşük konsantrasyonlarda olması için gerekli yayılımı sağlayacak yükseklikte (270-300 m) baca dizaynları yapılmıştır (Karamustafaoğlu, 1996). Bu çalışmalarda amaç, yer seviyesinde kükürt oksitleri konsantrasyonunun, Dünya Sağlık Örgütü sınır değerlerinin altında kalmasını sağlamaktır. Ancak, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nin yayınlanması ile termik santrallerde hava kalitesi kriterleri yerine, baca gazındaki kükürt oksitleri emisyon değerleri sınır kriter olarak kabul edilmiş; bu nedenle sadece uygun baca yüksekliği ile yapılan ayarlamalar yetersiz kalmıştır (Esin, 1994).

Yönetmelikte SO_2 emisyonları için sınır değer 1000 mg/Nm^3 olarak belirlenmiştir. Emisyon değerlerinin belirlenen sınır değerinin altında tutulması %95 verimle çalışan baca gazı desülfürizasyon (BGD) sistemlerinin yapılmasını gerekli kılmaktadır (Karamustafaoğlu, 1996).

Santrallerin çoğu çevre ile ilgili yönetmeliklerden önce inşaa edildikleri için, çevreye etkilerini en aza indirmek amacıyla yapılan BGD, elektrofiltre, atıksu arıtma, rehabilitasyon yatırımları yeni ihaleler olarak ele alınmakta; yeni kurulan santrallerde ise bu tesislerin tamamı ihale kapsamı altına alınmaktadır (Karamustafaoğlu, 1996). 1987 yılının başlarında yapılan hesaplamalara göre; linyite dayalı mevcut santrallerde BGD tesislerinin integrasyonu için gerekli yatırım maliyeti 1.5 milyar USD olarak belirlenmiştir. Mevcut santrallerde aynı anda BGD tesislerinin kurulması büyük finansman ihtiyacından dolayı mümkün değildir. TEAŞ tarafından termik santrallerinin yeri, nüfusu, turizm potansiyeli, tarım ve orman bölgesi olması gibi birçok kriterler gözönüne alınarak, inşaat için bir öncelik programı yapılmıştır (Karamustafaoğlu, 1996).

Orhaneli (Ekim 1997'de çalışmaya alınacak), Yatağan (inşaatına 1997 yılı içinde başlanacak), Kemerköy (inşaatına 1997 yılı içinde başlanacak), Yeniköy (ihaleye açılmıştır) termik santrallerinde "baca gazı desülfürizasyon sistemleri"nin (BGD) kurulması veya ihale çalışmaları devam etmektedir (Karamustafaoğlu, 1996).

11 adet termik santralde, bacalara monte edilen sürekli NO_x , SO_2 ve toz ölçüm cihazları ile 1993 yılından beri emisyon ölçümleri periyodik olarak alınmaktadır (Yatağan, Afşin-Elbistan, Yeniköy, Kemerköy, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Çayırhan, Kangal, Orhaneli, Çatalağzı) (Karamustafaoğlu, 1996).

Kükürt oranı yüksek Çan bölgesi kömür rezervini elektrik üretimi için değerlendirmek üzere Çan Termik Santrali (2x150 MW) için ihaleye çıkılmak üzere şartname hazırlıklarına devam edilmektedir. Tesiste akışkan yatak teknolojisi kullanılmasına karar verilmiştir. Bu işlemde kömürün yanması esnasında kireçtaşı ilavesi ile kükürt, %90 verim ile tutulmakta; böylece BGD tesisine gerek kalmamaktadır. NO_x 'de düşük yanma ısı nedeniyle az seviyede ortaya çıkmaktadır (Karamustafaoğlu, 1996).

Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye'de de kömürün yakılmasından sonra çıkan baca gazlarının yanma sonrası önlemlerle temizlenmesi ve bu yolla çevrenin korunması yerine yanma öncesi ve yanma esnasında uygulanacak önlemler ve teknolojilerle (akışkan yatakta yakma veya entegre gazlaştırma-kombine çevrim, vs.) emisyon kontrolüne gidilmesi daha rasyonel bir çözüm olacağı, sunulan raporlarda belirtilmektedir (Esin, 1994).

5.2.2 Katı Atıklar

Termik santrallerde kullanılan kömürün yüksek kül miktarı (%17-%46) ve düşük ısı değeri nedeniyle elektrik üretiminde çok fazla kül ve curuf oluşmaktadır. 1996 yılı itibari ile 11 termik santralden yaklaşık 12.750 milyon ton kül ve curuf açığa çıkmıştır. Tablo 5.4'de termik santrallerde oluşan kül miktarlarının yıllara göre dağılımı verilmiştir. Kül ve curufun depolanması için genellikle şu üç yöntem kullanılmaktadır:

- 1) Kuru olarak depolama
- 2) Hidrolik olarak taşıma ve depolama
- 3) Sulu yayma yöntemi

Türkiye'de bazı termik santrallerde kuru olarak depolama yöntemi kullanılmaktadır

(Seyitömer Termik Santrali). Silolardan alınan kül, bantla kül depo sahasına taşınması sırasında toz oluşumunun engellenmesi amacı ile hafif nemlendirilmektedir. Bantla depoya gelen ve stakerler vasıtasıyla dökülen kuru kül dozerlerle yayılmakta; gerekli olduğu takdirde döküm sahasında da tozumanın önlenmesi amacıyla kül, spreylere vasıtasıyla ıslatılmaktadır. Kül dökme işleminin bittiği, aktif olmayan alanların üzeri toprakla kapatılarak bitkilendirilmektedir.

İkinci yöntemde ise; 1/8 veya 1/9 oranında su ile karıştırılan kül, hidrolik olarak borularla kül barajına pompalanmaktadır. Barajda toplanan temiz su, tekrar külün hidrolik olarak taşınmasında kullanılmak üzere sisteme geri döndürülmektedir. İlk hidrolik sistem Soma Termik Santrali'nde uygulanmıştır (Orhaneli'de de aynı sistem mevcuttur).

Çayırhan, Yatağan Termik Santrali gibi; bazı santrallerde ise sulu kül yayma yöntemi uygulanmaktadır. Bantlarla hafif nemlendirilmiş olarak depoya gönderilen kül ve curuf, boşaltma noktasında 1/2 veya 1/3 oranında su ile karıştırılarak, bir kanal vasıtasıyla depolama alanına gönderilmektedir. Böylece külün su ile yayılması sağlanırken; kül de belirli bir su filmi altında tutulmakta ve toz probleminin önüne geçilmiş olmaktadır.

Afşin-Elbistan Termik Santrali'nde (4x340 MW) ise, kül kömürü alınmış maden sahalarına dekapajla birlikte depolanmakta, üzeri toprakla kapatılıp bitkilendirilmektedir (Karamustafaoğlu, 1996). Bu sayede bölgenin topografik yapısı korunmakta ve maden çalışmaları sonucu ortaya çıkan hacimler değerlendirilmektedir. Çatalağzı Termik Santrali'nde ise kül ve curuf denize atılmaktadır. Şu anda kül ve curufun bertaraf yöntemleri ile ilgili etüd çalışmaları tamamlanmıştır. Fizibilite raporu hazırlama ve projelendirme ihalesine çıkılmış, 28.03.1997 tarihinden itibaren alınan teklifler değerlendirilmiştir. Fizibilite çalışmalarından sonra külün hangi sistemle atılacağına karar verilecektir.

Tablo 5.4 Termik Santrallerde Oluşan Kül Miktarları (Ton) (Karamustafaöğlu, 1996)

Santral Adı	1992			1993			1994			1995			1996		
	Üretim	Satış	Stok	Üretim	Satış	Stok	Üretim	Satış	Stok	Üretim	Satış	Stok	Üretim	Satış	Stok
Afşin-Elbistan	1.883.225	--	1.883.225	1.444.431	--	1.444.431	2.050.794	--	2.050.794	2.392.368	--	2.392.368	1.801.513	1.000	1.801.513
Çatalağızı	559.369	--	559.369	551.873	--	551.873	602.187	--	602.187	488.509	--	488.509	497.923	--	497.923
Çayırhan	350.790	--	350.790	350.000	--	350.000	340.000	--	340.000	347.998	--	347.998	311.320	8.146	303.174
Kangal	400.000	--	400.000	350.500	--	350.500	400.000	--	400.000	505.034	--	505.034	638.403	--	638.403
Orhanelli	635.475	366.915	268.560	245.000	--	245.000	138.000	--	138.000	DEVRE DIŞI			50.297	--	50.297
Seytömer	1.604.767	50	1.604.717	1.604.767	50	1.604.717	1.717.911	50	1.717.861	2.239.698	3.544	2.236.154	1.881.276	3	1.881.273
Tunçbilek	402.619	1.447	401.172	413.027	--	413.027	539.772	--	539.772	495.000	--	495.000	818.680	14.259	804.421
Yatağan	1.259.007	--	1.259.007	727.707	--	727.707	754.297	--	754.297	987.788	--	987.788	1.030.697	--	1.030.697
Yeniköy	820.000	70.000	750.000	700.000	--	700.000	620.000	--	620.000	1.000.000	--	1.000.000	1.000.000	3.669	996.331
Soma	2.686.171	--	2.686.171	2.951.120	--	2.951.120	3.531.185	--	3.531.185	3.500.000	21.364	3.478.636	4.000.000	19.441	3.980.559
Kemerköy	--	--	--	--	--	--	--	--	--	560.000	--	560.000	728.000	--	728.000
Toplam	10.601.450	438.412	10.163.038	9.338.425	50	9.338.375	10.694.146	50	10.694.096	12.516.395	24.908	12.516.395	12.758.109	46.518	12.711.591

5.2.3 Sıvı Atıklar

Termik santral sıvı atıklarını,

- kül-curuf çıkarıcısından taşan küllü sular,
- su arıtma tesisi atıkları,
- soğutma kulesi blöfleri
- evsel atıklar

oluşturmaktadır.

Son yıllarda kurulan santraller başta olmak üzere, gerekli arıtma tesisleri ve önlemler daha proje aşamasında ele alındığından, sıvı atıklar birkaç eski santral dışında problem yaratmamaktadır. Kül ve curuf çıkarıcısından taşan küllü sular, özel arıtma tesislerinde, uygun çökteticiler kullanılarak berraklaştırılmakta, pH değerleri uygun limite getirildikten sonra deşarj edilmekte veya santral içersinde ıslatma amacı ile kullanılmaktadır (Esin, 1994).

Su arıtma tesislerinden çıkan asidik ve bazik karakterli rejenerasyon atıkları ise; nötralizasyon yapıldıktan sonra deşarj edilmektedir. Su ön arıtma tesislerinden çıkan flokülör atıkları, çamur koyulaştırma ve berraklaştırma sistemlerinin uygulandığı arıtma tesislerinde çamurundan ayrıldıktan sonra deşarj edilmekte veya santral içinde kullanılmaktadır. Soğutma kulesi blöfleri ise, içinde katı madde bulunmayan, sadece iyon yüklü atıklardır. Bu nedenle, diğer atık sular gibi kül ıslatma amacı ile tekrar kullanılması mümkündür (Esin, 1994).

5.3 Kömür Özelliklerinin Önemi

İşletme döneminde, tasarımda esas alınan özellikte kömürün, santralde kullanılamaması durumunda; kazan verimi düşmekte, nominal güce ulaşamamakta, tüm işletme parametreleri değişmekte, dolayısıyla çevre koruma amacı ile alınmış önlemler yetersiz kalabilmektedir (Esin, 1994).

Kalori değerinin düşük olması, kazanlarda üretilmesi gereken ısınn sağlanabilmesi için, kömür miktarının arttırılması dolayısı ile yedek değirmenlerin dahi işletmede

tutulmasına, elektrik enerjisi üretiminde eksikliğe ve gaz emisyon değerlerinin hepsinde artışa neden olmaktadır. Ayrıca, kalori değerindeki düşüşe bağlı olarak ortaya çıkan kül ve kükürt oksit yükündeki değişiklikler nedeniyle elektrofiltreler ve desülfürizasyon tesisleri de yetersiz kalabilmektedir (Esin, 1994).

Kalori değerlerinin sabit kaldığı, diğer karakteristiklerde değişikliklerin olduğu durumlarda ise benzer sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, Soma Termik Santrali'nde %32 yerine %47.4 oranındaki kül miktarı, saatlik kül yükünde %52 oranında bir artışa ve buna bağlı olarak elektrofiltre çıkışında daha yüksek partikül emisyonlarına neden olduğu tespit edilmiştir (Esin, 1994).

Ayrıca kül miktarındaki artış, kül atma sisteminin kapasitesine göre "katı atık" miktarı açısından sorun yaratabilmektedir. Ancak ülkemizdeki kül atma sistem kapasiteleri gerekenden daha yüksek tasarlandığından, bu konuda problemler çıkmamaktadır (Esin, 1994).

Bunun dışında, kül bünyesinde kireç (CaO) bulunması, kül artışına paralel olarak kireç miktarındaki artış, kül atma sisteminde sorunlar yaratabilmektedir. Külün içinde bulunan kireç, baca gazının soğumasıyla su buharının yoğunlaşması veya pnömatik olarak nakledilirken transfer havasındaki nem nedeniyle, elektrofiltre altında sönmeye başlamaktadır. Ekzotermik reaksiyon nedeniyle sıcaklık yükselmesi ve yoğunlaşan nemin tekrar buharlaşması sonucu patlamalar olmaktadır. Kirecin sönmeyen bantlara ulaşması ve burada sönmesi de bantlara zarar verebilmektedir (Esin, 1994).

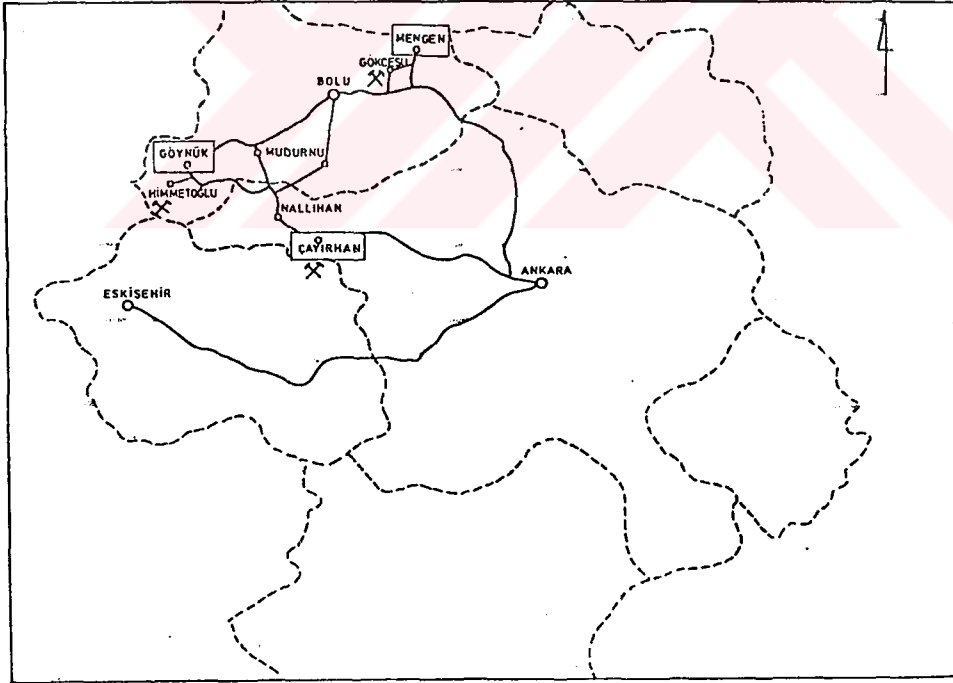
Kömürde eser halde bulunan elementlerin (iz elementler) türü ve oranları da, termik santrallerin çevresel etkileri açısından büyük önem taşımaktadır. Kömürün yanması ile oluşan kül, curuf, gaz atıklar ve partiküllerde iz elementler, kömüre nazaran daha yüksek konsantrasyondadır. Bu elementlerin yanma sıcaklığında uçucu hale gelebilenleri (selenyum, molibden, civa) uçucu külde daha yüksek konsantrasyonda bulunabilmektedir. (Elektrofiltrelerde tutulan uçucu küllerin, iz elementlerinin çoğunu içerdiği testlerle kanıtlanmıştır) (Esin, 1994).

5.4 Termik Santraller

Anlatılan bu üç farklı depolama sistemine örnek olacak şekilde, “sulu kül yayma sistemi”nin uygulandığı Çayırhan ile “kuru kül depolama sistemi”nin kullanıldığı ve 1997 yılında kül barajı kazasıyla karşı karşıya kalan Seyitömer Termik Santrali incelenmiştir.

5.4.1 Çayırhan Termik Santrali

Çayırhan Termik Santrali, Ankara-Beyşehir-Nallıhan karayolu üzerinde, Ankara’ya 120 km uzaklıktaki Nallıhan ilçesine bağlı Çayırhan kasabasında (Şekil 5.1) kurulmuştur (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995). 1987 yılında hizmete giren, 2x150 MW gücündeki santral için belirlenen ekonomik ömür 25 yıldır (Çalışma Raporu, 1997). Şekil 5.2’de santralin genel bir görünüşü verilmiştir.



Şekil 5.1 Çayırhan Termik Santrali Bulduru Haritası

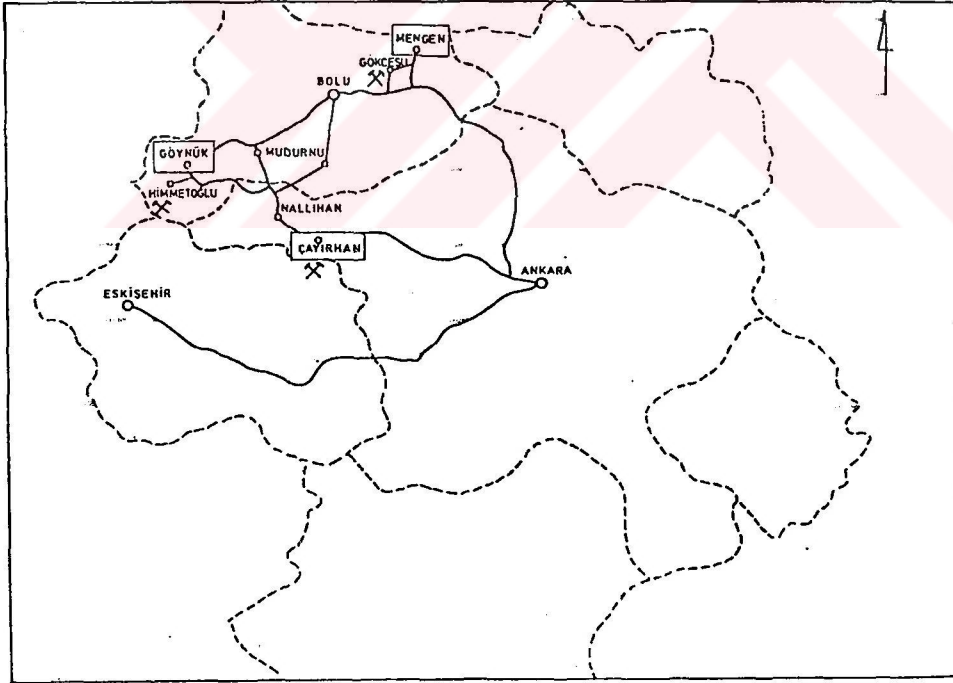
Santralin yıllık ortalama üretimi 1.8 milyar kW, buna karşılık ortalama kömür tüketimi ise 1.800.000 tondur (Çalışma Raporu, 1997).

5.4 Termik Santraller

Anlatılan bu üç farklı depolama sistemine örnek olacak şekilde, “sulu kül yayma sistemi”nin uygulandığı Çayırhan ile “kuru kül depolama sistemi”nin kullanıldığı ve 1997 yılında kül barajı kazasıyla karşı karşıya kalan Seyitömer Termik Santrali incelenmiştir.

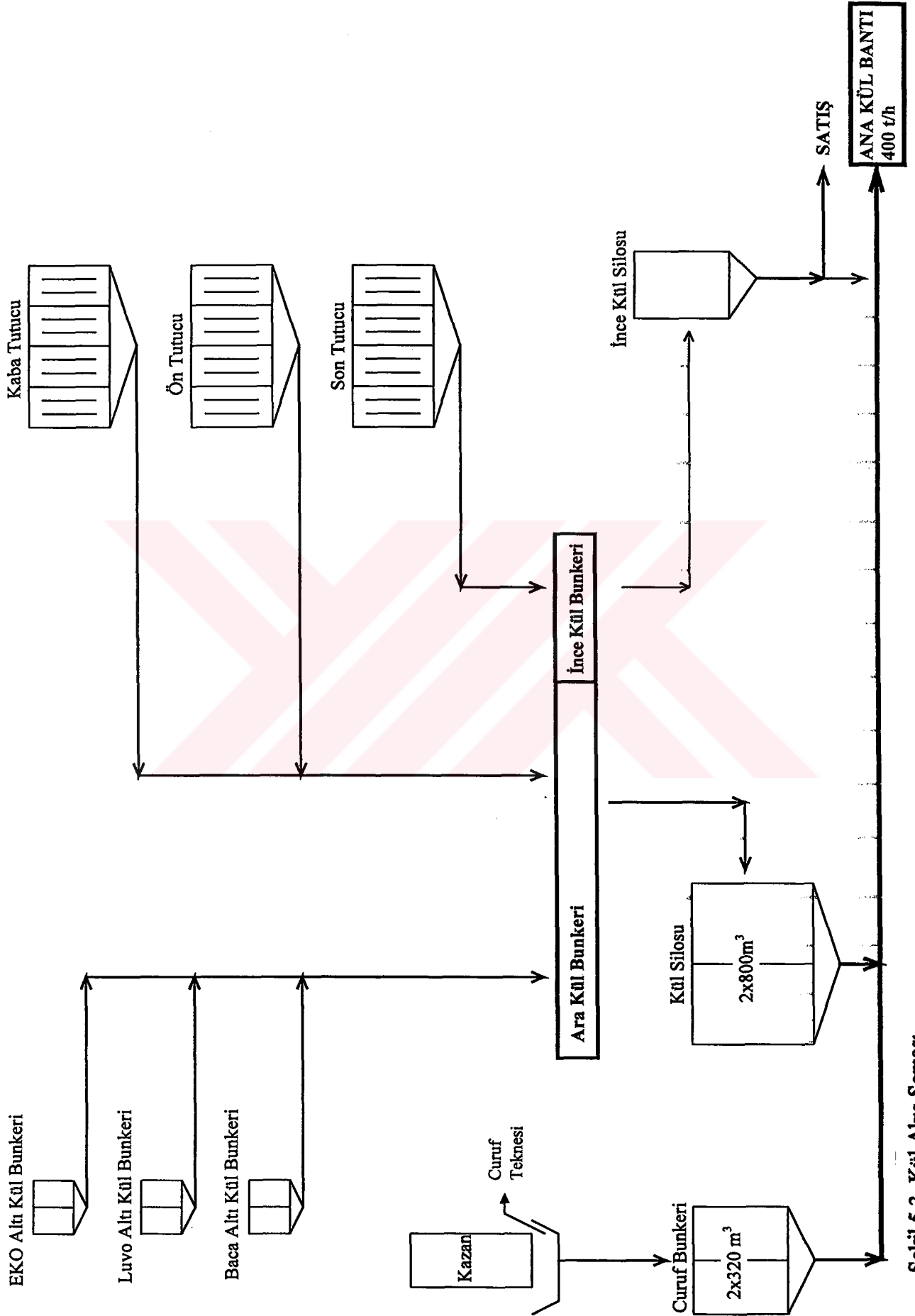
5.4.1 Çayırhan Termik Santrali

Çayırhan Termik Santrali, Ankara-Beyşehir-Nallıhan karayolu üzerinde, Ankara’ya 120 km uzaklıktaki Nallıhan ilçesine bağlı Çayırhan kasabasında (Şekil 5.1) kurulmuştur (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995). 1987 yılında hizmete giren, 2x150 MW gücündeki santral için belirlenen ekonomik ömür 25 yıldır (Çalışma Raporu, 1997). Şekil 5.2’de santralin genel bir görünüşü verilmiştir.

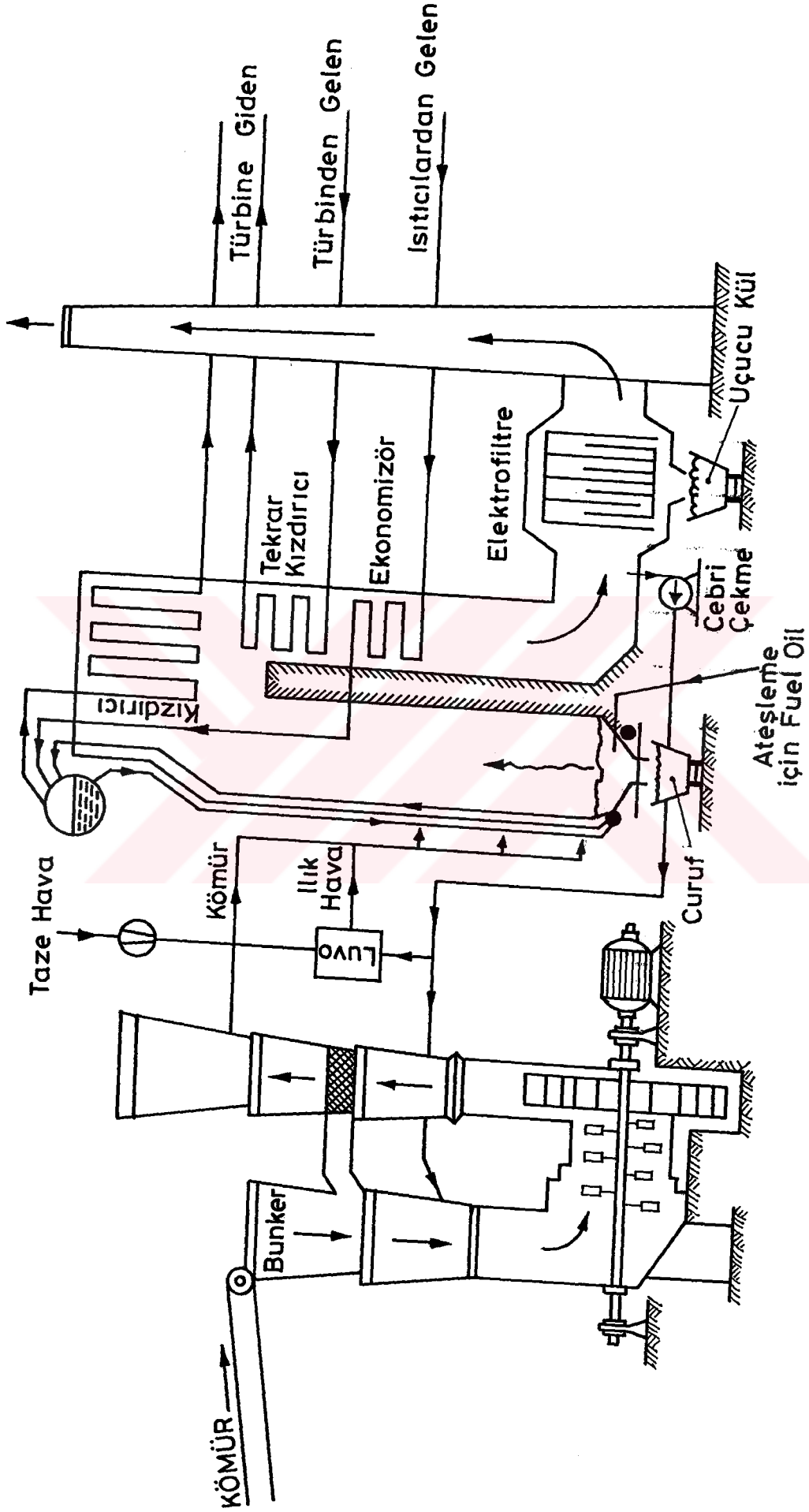


Şekil 5.1 Çayırhan Termik Santrali Bulduru Haritası

Santralin yıllık ortalama üretimi 1.8 milyar kW, buna karşılık ortalama kömür tüketimi ise 1.800.000 tondur (Çalışma Raporu, 1997).



Şekil 5.3. Kül Akış Şeması



Şekil 5.4 Santral Genel İşleyiş Şeması

(Kişisel görüşme). Diğer taraftan elektrofiltrelerden geçerek bacaya gönderilen gazdaki filtrelerden kaçmış olan kül de, baca altı kül bunkerinde toplanır. Bütün toplanan küller daha sonra ara kül bunkerine gönderilir.

“Ara kül bunker”nde toplanan küller prespompa ve kompresörler yardımı ile pnömatik olarak 2x800 m³ kapasiteli “ana kül silosu”na taşınır. Ara kül bunkerine kabartma havası basıldıktan sonra, bunker içindeki kül ve basılan hava fan yardımıyla dışarıya çekilir. Ana kül silosunda toplanan küller, su püskürtülerek bastırılır ve nemlendirilen kül bantlarla depolama sahasına gönderilir.

Kazan altı curuf naklinde; kazan içinden inen curuf ızgaralar üzerinde toplandıktan sonra su dolu kazan altı teknesine alınır. Amaç; kazan altı teknesine inen kızgın curufu sıyırmak ve vakumla çalışan kazanda sızdırmazlığın sağlanmasıdır. Kazan altından zincirli paletlerle alınan curuf bantlarla 2x320 m³ kapasiteli curuf bunkerine taşınır. Daha sonra kül ve alçı taşının taşındığı ana bantla depolama alanına ulaştırılır.

Elektrofiltreler

Elektrofiltreler üç kısımdan meydana gelmektedir; EKO ve Luvolardan geçen sıcak gaz elektrofiltrelere geldiğinde iri ve ağır kül tanecikleri “kaba tutucular” tarafından tutulur ve kaba tutucu bunkerinde biriktirilir. Kaba tutuculardan geçen gaz “ön tutucular”a gönderilir. Burada tutulan daha küçük partiküllerde ön tutucu bunkerinde biriktirilir ve daha sonra diğer küller gibi ara kül bunkerine iletilir. Gaz, son olarak “Son tutucular”dan geçer, daha önce filtrelerde tutulamayan çok ince küller burada tutulur. Biriktirilen küller ara kül bunkerinin ince kül kısmına gönderilirler. Ara kül bunkerinden pnömatik olarak ince kül silosuna taşınan küller satışa sunulmaktadır.

Son tutucudan elde edilen uçucu külün bir kısmı (1996 yılında 100.000 ton satılmış) piyasaya, çimento sektöründe katkı maddesi olarak kullanılmak üzere, 65.000 TL/ton olarak verilmiştir (Kişisel Görüşme).

Elektrofiltrelerin Çalışma Prensibi:

Elektrofiltreler, iki akışlı elektrostatik kül tutuculardır. Kapalı bir gövde içinde, kanallar teşkil edecek şekilde saç levhalar birbirine paralel olarak yerleştirilmiş; levhalar arasından da teller geçirilmiştir. Kirli gaz, plakalar ve teller arasından geçer. Sistemde alternatif akım, doğrusal akıma çevrilerek kullanılır. Elektrofiltredeki teller (-) elektrot; saç levhalar (+) elektrottur. Tellere, plakalara nazaran daha yüksek voltaj verilir. Bu voltaj farkı, yüklü iyonlar ve elektronlar oluşturur. Elektrodlara gerilim uygulandığında tellerden çıkan elektronlar yüksüz toz tanelerini (-) iyon haline getirirler. Külün içindeki kükürt iletkenliği sağladığı için işlem kolaylaşır. Statik olarak elektriklenen kül parçacıkları (+) yüklü levhalar tarafından çekilir. 1 µm-50 µm büyüklüğünde partiküller elektrofiltreler tarafından efektif olarak tutulabilmektedir. Levhalara yapışan parçacıklar, levhaların “kam (çekiç) düzeneği” ile periyodik olarak silkelenmesi sonucu filtre altındaki kül silolarına dökülür (Çalışma Raporu, 1997) (Rhyner, ve diğ.;1995).

Santralde elektrofiltreler teorik olarak %99.8 verimle çalışmaktadır. Üretilen kül miktarının %99.8’i filtrelerde tutulduğuna göre; kalan %0.2’lik kısım bacadan kaçak olarak verilmektedir (Kişisel görüşme). Çayırhan Termik Santrali’nde saatte yaklaşık 80 ton uçucu kül üretilmektedir, %0.2’sinin kaçak olduğu kabul edildiğinde; teorik olarak saatte 160 kg külün bacadan verildiği hesaplanabilir.

Çayırhan Termik Santrali’nde baca çıkışında 400 mg/m³ toz emisyonu ölçülmüştür (Kişisel görüşme). 1986 yılında yayınlanan Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliğinde; Yakma tesisleri için Emisyon Değerleri, 250 mg/Nm³ olarak belirlenmiştir. Ancak yine aynı yönetmelikte; bu değerlerin, orjinal kömürde %18’in üzerinde kül içeren linyit santrallerinde (Çayırhan Termik Santrali’nde kül oranı %30’dur), Çevre Bakanlığı tarafından %200 oranında arttırılabileceği belirtilmektedir. Belirlenen 250 mg/Nm³ bu değer %200 oranında arttırıldığında, sınır değer 750 mg/Nm³’e yükselir. Sonuçta; santralin 400 mg/Nm³ toz emisyon değeriyle, limitler içinde kaldığı görülmektedir.

Ancak T.K.İ. Orta Anadolu Linyit İşletmesi'nin teslimat kömürü içindeki, taş miktarının ve kül oranının artması ayrıca özellikle kül yoğunluğunun dizayn değerlerinin yaklaşık iki katına çıkması nedeniyle pnömatik kül tahliye sistemi bazı zamanlarda tıkanarak bloke olmakta ve elektrofiltredeki kül seviyesi artarak baca gazı emisyonunun yükselmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte BGD sisteminde de dizayn değerleri üzerine çıkılması ve arızalar nedeniyle sistem çalıştırılmamaktadır (Çalışma Raporu, 1997).

5.4.1.1.1 Kül Miktarı

Tablo 5.5 Çayırhan Termik Santrali Külünün Elementer analizi (1987)

	% Ağırlık
SiO ₂	40.04
R ₂ O ₃	—
Fe ₂ O ₃	9.97
Al ₂ O ₃	12.09
CaO	11.86
MgO	3.40
Na ₂ O	1.70
K ₂ O	0.79
SO ₃	11.74

Her üniteye 5 adet 28 t/h kapasiteli çekiçli değirmen besleme yapmaktadır. Buna göre bir üniteye yakılan kömür miktarı:

$$28 \text{ t/h} \times 5 \text{ adet} = 140 \text{ t/h}$$

Kömürde kül miktarı %30 olarak alınırsa:

$$140 \text{ t/h} \times 0.3 = 42 \text{ t/h kül}$$

Hesaplanan bu kül miktarının %10'u curuftur

$$42 \text{ t/h} \times 0.1 = 4.2 \text{ t/h curuf}$$

Uçucu kül miktarı ise;

$$42 \text{ t/h} - 4.2 \text{ t/h} \Rightarrow 37.8 \text{ t/h uçucu kül}$$

5.4.1.1.2 Su Miktarı :

Santralde üç kaynaktan kül deposuna su gönderilmektedir:

- Kazan altı teknesinden curufu soğutmak için kullanılan sular G-havuzuna gönderilmekte, bu havuzda toplanan sular ise $57 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasiteli 2 pompa vasıtası ile kül barajına ulaştırılmaktadır.
- BGD sisteminde, alçıtışının susuzlaştırma işlemleri sonucu, bir ünite için 7 t/h atık su oluşmaktadır.
- Flaklatör drenajları sonucunda da 12.5 t/h su toplanmaktadır.

Buna göre toplam su miktarı:

$$(57 \text{ t/h} \times 2) + 12.5 \text{ t/h} + (7 \text{ t/h} \times 2)$$

$$\Rightarrow 140.5 \text{ t/h}$$

5.4.1.1.3 Kül/Su Oranı:

Yaklaşık 80 t/h kül üretilmekte, buna karşılık 140 t/h su kullanıldığına göre:

$$\text{Kül/Su oranı} \Rightarrow \frac{80 \text{ t} / \text{h}}{140 \text{ t} / \text{h}} = 1 / 1.7 \text{ Bulunur.}$$

Külün yoğunluğu $0.92\text{-}0.88 \text{ gr/cm}^3$ arasında; sıkıştırılmış külün yoğunluğu ise

1.2 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir (Kişisel görüşme).

5.4.1.2 Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) Tesisi

Çayırhan Termik Santrali'ndeki Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) tesisi 1991 yılında hizmete girmiştir. BGD tesisinde konvansiyonel kireçtaşı ile yıkama posesi uygulanmaktadır. Her santral grubu için ayrı bir desülfürizasyon ünitesi bulunmaktadır. BGD tesisleri üç ana bölümden oluşmaktadır (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

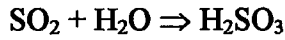
- Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesi (Absorbent ünitesi)
- Yıkayıcı kule (Scrubber)
- Alçı taşı su giderme ünitesi

Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesinde, 1 ton kireçtaşı için 2.5 ton su kullanılarak yoğunluğu 1150 kg/m^3 olan kireç taşı süspansiyonu hazırlanarak yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilmektedir. Sistemde kireçtaşı tüketimi 20 t/h , su tüketimi ise $154 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Kireçtaşı özellikleri (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

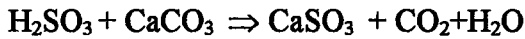
CaCO_3	%85
MgO	% 3
R_2O_3	% 3
SiO_2	% 4
Nem	% 5
Tane iriliği	6 cm.

Yıkama kulesinde (scrubber) gerçekleşen, basit bir yıkama işlemidir. 100 m yüksekliğindeki yıkama kulesinde baca gazı, aşağıdan yukarı yükselirken, yukarıdan aşağıya kireçtaşı süspansiyonu püskürtülerek gaz yıkanmakta (Kişisel görüşme) ve bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir.

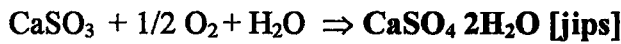
Absorblama:



Nötürleme:



Oksidasyon:



Şekil 5.5'te inşaat halinde olan baca gazı desülfürizasyon sisteminin bir bölümü verilmiştir

Baca gazı içindeki SO_2 , alçıtaşı (jips) $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ oluşmasıyla baca gazından temizlenmektedir. 1 m^3 baca gazı 10 gr/m^3 SO_2 içerdiği ve BGD sisteminde temizlendikten sonra baca gazında 350 mg/m^3 SO_2 kaldığı belirlenmiştir (Kişisel görüşme). BGD sisteminin çalışma verimi %96.5-99'dur (Çayırhan Termik Santrali

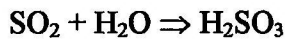
- Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesi (Absorbent ünitesi)
- Yıkayıcı kule (Scrubber)
- Alçı taşı su giderme ünitesi

Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesinde, 1 ton kireçtaşı için 2.5 ton su kullanılarak yoğunluğu 1150 kg/m^3 olan kireç taşı süspansiyonu hazırlanarak yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilmektedir. Sistemde kireçtaşı tüketimi 20 t/h , su tüketimi ise $154 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Kireçtaşı özellikleri (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

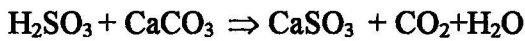
CaCO_3	%85
MgO	% 3
R_2O_3	% 3
SiO_2	% 4
Nem	% 5
Tane iriliği	6 cm.

Yıkama kulesinde (scrubber) gerçekleşen, basit bir yıkama işlemidir. 100 m yüksekliğindeki yıkama kulesinde baca gazı, aşağıdan yukarı yükselirken, yukarıdan aşağıya kireçtaşı süspansiyonu püskürtülerek gaz yıkanmakta (Kişisel görüşme) ve bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir.

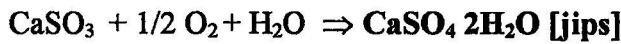
Absorblama:



Nötürleme:



Oksidasyon:



Şekil 5.5'te inşaat halinde olan baca gazı desülfürizasyon sisteminin bir bölümü verilmiştir

Baca gazı içindeki SO_2 , alçıtaşı (jips) $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ oluşmasıyla baca gazından temizlenmektedir. 1 m^3 baca gazı 10 gr/m^3 SO_2 içerdiği ve BGD sisteminde temizlendikten sonra baca gazında 350 mg/m^3 SO_2 kaldığı belirlenmiştir (Kişisel görüşme). BGD sisteminin çalışma verimi %96.5-99'dur (Çayırhan Termik Santrali

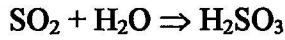
- Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesi (Absorbent ünitesi)
- Yıkayıcı kule (Scrubber)
- Alçı taşı su giderme ünitesi

Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesinde, 1 ton kireçtaşı için 2.5 ton su kullanılarak yoğunluğu 1150 kg/m^3 olan kireç taşı süspansiyonu hazırlanarak yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilmektedir. Sistemde kireçtaşı tüketimi 20 t/h , su tüketimi ise $154 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Kireçtaşı özellikleri (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

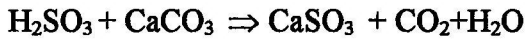
CaCO_3	%85
MgO	% 3
R_2O_3	% 3
SiO_2	% 4
Nem	% 5
Tane iriliği	6 cm.

Yıkama kulesinde (scrubber) gerçekleşen, basit bir yıkama işlemidir. 100 m yüksekliğindeki yıkama kulesinde baca gazı, aşağıdan yukarı yükselirken, yukarıdan aşağıya kireçtaşı süspansiyonu püskürtülerek gaz yıkanmakta (Kişisel görüşme) ve bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir.

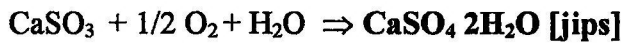
Absorblama:



Nötürleme:



Oksidasyon:



Şekil 5.5'te inşaat halinde olan baca gazı desülfürizasyon sisteminin bir bölümü verilmiştir

Baca gazı içindeki SO_2 , alçıtaşı (jips) $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ oluşmasıyla baca gazından temizlenmektedir. 1 m^3 baca gazı 10 gr/m^3 SO_2 içerdiği ve BGD sisteminde temizlendikten sonra baca gazında 350 mg/m^3 SO_2 kaldığı belirlenmiştir (Kişisel görüşme). BGD sisteminin çalışma verimi %96.5-99'dur (Çayırhan Termik Santrali

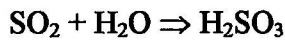
- Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesi (Absorbent ünitesi)
- Yıkayıcı kule (Scrubber)
- Alçı taşı su giderme ünitesi

Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesinde, 1 ton kireçtaşı için 2.5 ton su kullanılarak yoğunluğu 1150 kg/m^3 olan kireç taşı süspansiyonu hazırlanarak yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilmektedir. Sistemde kireçtaşı tüketimi 20 t/h , su tüketimi ise $154 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Kireçtaşı özellikleri (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

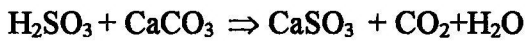
CaCO_3	%85
MgO	% 3
R_2O_3	% 3
SiO_2	% 4
Nem	% 5
Tane iriliği	6 cm.

Yıkama kulesinde (scrubber) gerçekleşen, basit bir yıkama işlemidir. 100 m yüksekliğindeki yıkama kulesinde baca gazı, aşağıdan yukarı yükselirken, yukarıdan aşağıya kireçtaşı süspansiyonu püskürtülerek gaz yıkanmakta (Kişisel görüşme) ve bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir.

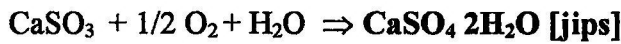
Absorblama:



Nötürleme:



Oksidasyon:



Şekil 5.5'te inşaat halinde olan baca gazı desülfürizasyon sisteminin bir bölümü verilmiştir

Baca gazı içindeki SO_2 , alçıtaşı (jips) $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ oluşmasıyla baca gazından temizlenmektedir. 1 m^3 baca gazı 10 gr/m^3 SO_2 içerdiği ve BGD sisteminde temizlendikten sonra baca gazında 350 mg/m^3 SO_2 kaldığı belirlenmiştir (Kişisel görüşme). BGD sisteminin çalışma verimi %96.5-99'dur (Çayırhan Termik Santrali

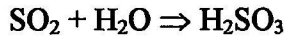
- Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesi (Absorbent ünitesi)
- Yıkayıcı kule (Scrubber)
- Alçı taşı su giderme ünitesi

Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesinde, 1 ton kireçtaşı için 2.5 ton su kullanılarak yoğunluğu 1150 kg/m^3 olan kireç taşı süspansiyonu hazırlanarak yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilmektedir. Sistemde kireçtaşı tüketimi 20 t/h , su tüketimi ise $154 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Kireçtaşı özellikleri (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

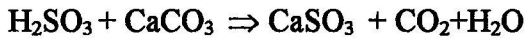
CaCO_3	%85
MgO	% 3
R_2O_3	% 3
SiO_2	% 4
Nem	% 5
Tane iriliği	6 cm.

Yıkama kulesinde (scrubber) gerçekleşen, basit bir yıkama işlemidir. 100 m yüksekliğindeki yıkama kulesinde baca gazı, aşağıdan yukarı yükselirken, yukarıdan aşağıya kireçtaşı süspansiyonu püskürtülerek gaz yıkanmakta (Kişisel görüşme) ve bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir.

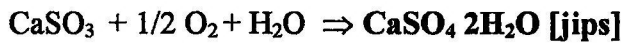
Absorblama:



Nötürleme:



Oksidasyon:



Şekil 5.5'te inşaat halinde olan baca gazı desülfürizasyon sisteminin bir bölümü verilmiştir

Baca gazı içindeki SO_2 , alçıtaşı (jips) $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ oluşmasıyla baca gazından temizlenmektedir. 1 m^3 baca gazı 10 gr/m^3 SO_2 içerdiği ve BGD sisteminde temizlendikten sonra baca gazında 350 mg/m^3 SO_2 kaldığı belirlenmiştir (Kişisel görüşme). BGD sisteminin çalışma verimi %96.5-99'dur (Çayırhan Termik Santrali

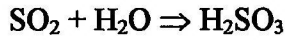
- Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesi (Absorbent ünitesi)
- Yıkayıcı kule (Scrubber)
- Alçı taşı su giderme ünitesi

Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesinde, 1 ton kireçtaşı için 2.5 ton su kullanılarak yoğunluğu 1150 kg/m^3 olan kireç taşı süspansiyonu hazırlanarak yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilmektedir. Sistemde kireçtaşı tüketimi 20 t/h , su tüketimi ise $154 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Kireçtaşı özellikleri (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

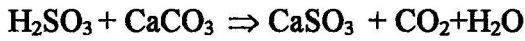
CaCO_3	%85
MgO	% 3
R_2O_3	% 3
SiO_2	% 4
Nem	% 5
Tane iriliği	6 cm.

Yıkama kulesinde (scrubber) gerçekleşen, basit bir yıkama işlemidir. 100 m yüksekliğindeki yıkama kulesinde baca gazı, aşağıdan yukarı yükselirken, yukarıdan aşağıya kireçtaşı süspansiyonu püskürtülerek gaz yıkanmakta (Kişisel görüşme) ve bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir.

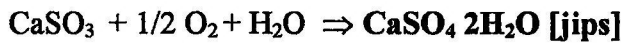
Absorblama:



Nötürleme:



Oksidasyon:



Şekil 5.5'te inşaat halinde olan baca gazı desülfürizasyon sisteminin bir bölümü verilmiştir

Baca gazı içindeki SO_2 , alçıtaşı (jips) $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ oluşmasıyla baca gazından temizlenmektedir. 1 m^3 baca gazı 10 gr/m^3 SO_2 içerdiği ve BGD sisteminde temizlendikten sonra baca gazında 350 mg/m^3 SO_2 kaldığı belirlenmiştir (Kişisel görüşme). BGD sisteminin çalışma verimi %96.5-99'dur (Çayırhan Termik Santrali

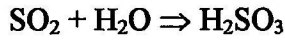
- Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesi (Absorbent ünitesi)
- Yıkayıcı kule (Scrubber)
- Alçı taşı su giderme ünitesi

Kireçtaşı süspansiyonu hazırlama ünitesinde, 1 ton kireçtaşı için 2.5 ton su kullanılarak yoğunluğu 1150 kg/m^3 olan kireç taşı süspansiyonu hazırlanarak yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilmektedir. Sistemde kireçtaşı tüketimi 20 t/h , su tüketimi ise $154 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Kireçtaşı özellikleri (Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi, 1995):

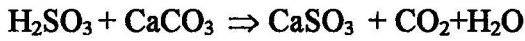
CaCO_3	%85
MgO	% 3
R_2O_3	% 3
SiO_2	% 4
Nem	% 5
Tane iriliği	6 cm.

Yıkama kulesinde (scrubber) gerçekleşen, basit bir yıkama işlemidir. 100 m yüksekliğindeki yıkama kulesinde baca gazı, aşağıdan yukarı yükselirken, yukarıdan aşağıya kireçtaşı süspansiyonu püskürtülerek gaz yıkanmakta (Kişisel görüşme) ve bu sırada aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir.

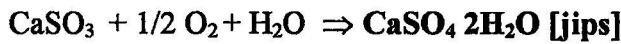
Absorblama:



Nötürleme:



Oksidasyon:



Şekil 5.5'te inşaat halinde olan baca gazı desülfürizasyon sisteminin bir bölümü verilmiştir

Baca gazı içindeki SO_2 , alçıtaşı (jips) $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ oluşmasıyla baca gazından temizlenmektedir. 1 m^3 baca gazı 10 gr/m^3 SO_2 içerdiği ve BGD sisteminde temizlendikten sonra baca gazında 350 mg/m^3 SO_2 kaldığı belirlenmiştir (Kişisel görüşme). BGD sisteminin çalışma verimi %96.5-99'dur (Çayırhan Termik Santrali

uzatılacaktır (Proje Raporu, 1997). Yeni depolama sahasının görünümü Şekil 5.9'da verilmiş; bu şekil üzerinde yeni seddenin yeri belirtilmiştir.

Sarıyar Baraj Gölü: Kül depolama alanı Sarıyar Baraj Gölü kıyısı yakınına kadar uzanmaktadır. Seddenin göl kıyısına uzaklığı maksimum 100 m olacaktır (Proje Raporu, 1997).

Sit Alanı: Depo alanının bir bölümünün sit alanı olarak tescil edilmiştir. Külün topografik şartlar nedeni ile kısmen buraya yayılması mümkün olduğu için, sit alanına girilmemesi için önlemler alınacaktır (Proje Raporu, 1997).

Topografya: Topografya baraj gölünden itibaren doğuya doğru az bir eğimle, kuzeye ve güneye doğru ise dik bir eğimle yükselmektedir. Alanın doğu tarafında kül yayılma sınırından sonra dik bir yamaç bulunmaktadır ve alan doğudaki su toplama havzasından gelen taşkın sularına açıktır. Alanın güneydoğusunda alana açılan bir vadi vardır. Dik yamaçlardan incek taşkın suları doğrudan vadi mansabından alana boşalabilecektir. Yağmur sularının bu nedenle bir kuşaklama kanalıyla kuzeye doğru yönlendirilerek sedde mansabı tarafına atılması uygun bulunmuştur (Proje Raporu, 1997).

Demiryolu Tüneli: DLH (Demiryolları, Limanlar ve Havayolları) Genel Müdürlüğü'nce yapılmakta olan Sincan-Arifiye çift hatlı elektrikli demiryolu güzergahı kül depolama alanından geçmektedir. Protokol gereğince, kül sahası içinde kalan demiryolu güzergahı, DLH Genel Müdürlüğü'nce tünel içine alınacak, yapılmış tünelin üstü kül depolaması için kullanılacaktır (Proje Raporu, 1997).

5.4.1.5.1 Bir Yıllık Depolama Projesi

Bir yıllık depolama projesi uzun vadeli depolama projesine uyumlu bir şekilde planlanmıştır. Projede, aşağıdaki hususlar veri olarak alınmıştır.

- Kül atma sahası yeri
- T17 kül döküm binası
- Atılan kül-curuf-alçı taşı miktarı

- Külün su ile yayılma prensibi
- Yaymada kullanılacak su/kül oranı
- Geri kazanılacak suyun tekrar kül yaymada kullanılması
- Yeterli suyun santralden verileceği
- Bir yıllık kül atma sisteminin 25 yıllık kül atma projesine uyumlu olması
- Mevcut taş ocağı yolunun, kül depolama alanı dışında, sedde kretinde inşası
- Sarıyar Baraj Gölü çizgisi
- Sit alanı sınırları
- Sincan-Arifiye çift hatlı elektrikli demiryolu
- Sahayı etkileyen yağmur suları drenajı
- Bir yıllık kül, curuf ve alçıtaşının su ile yayılmasında gerekli hacmin temini

T17 kül döküm noktasında sulandırılan kül, uzunluğu 145 m olan beton kanalla mevcut vadiye bırakılacaktır. Projeye göre küllü su sedde arkasında durgunlaşacak, tabandaki zemini doygun hale getirecektir. Bir yıl içinde kül yüzeyinde önemli bir su birikimi olmayacaktır. TEAŞ'ın talebi doğrultusunda "25 yıllık" sisteme uyumlu, "1 yıllık" kül atma sistemi için de su geri kazanım tesisi projelendirilmiştir. Kül yayıldıktan sonra yüzeyde kalan fazla su, sedde arkasındaki, sedde eğimine uygun teşkil edilen, kapaklı kanal sistemi ile geri alınarak, sedde altına dönecek boru ile 500 m³'lük depoya iletilecektir. Depoya iletilen su tekrar kül yayma işleminde kullanılmak üzere T17'ye gönderilecektir (Proje Raporu, 1997).

Kül depolama alanını etkileyecek drenaj suları, sedde mansabında trapez kesitli toprak kanalla deşarj edilecektir. 25 yıllık kül depolama sisteminde, geri kazanılacak suyu alacak sistem için de sedde altına boru hattı yerleştirilecektir (Proje Raporu, 1997).

Sedde ve Rezervuar

Depolama sahasının göle açılan yönünde kret kotu 495 m, uzunluğu 875 m, kret genişliği 10 m, dış şevleri 2/1, iç şevleri 3/2, maksimum yüksekliği 17 m olan toprak bir sedde inşaa edilecektir (Proje Raporu, 1997)

Seddenin oturduğu aksta, arazinin en düşük olduğu yerde sedde yüksekliği 17 m olacak, sedde arkasında su yüksekliği, geri kazanım tesisi ile 5 m'yi geçmeyecek şekilde ayarlamalar yapılacaktır (Proje Raporu, 1997)

Sedde ve rezervuar tabanı geçirimli alüvyon, yamaçlar ise, kalker örtü altında marn birimlerinden oluşmaktadır. Dik yamaçlarda marn tabakaları görünmektedir (Proje Raporu, 1997).

Bir yıllık kül miktarı için sedde yüksekliği yeterli gelmektedir. Bu nedenle bir yıllık kül depolama esnasında sedde arkasının külle yükseltilmesine gerek kalmayacaktır (Proje Raporu, 1997).

Su Alma Kanalı

Su alma kanalı, seddenin memba tarafı şevine uygun eğimde, üstü kapaklı 40x40 cm dikdörtgen kesitli olarak inşaa edilecek iki adet betonarme kanaldır. Kanal kapakları, kül ve su seviyesine göre düzenli olarak aşağıya kaydırılarak üstteki temiz suyun kanala girmesini sağlayacak şekilde yapılacaktır (Proje Raporu, 1997).

Sedde şevi eteğine yapılan rögarla, sedde gövdesi altına döşenen 2 x Ø400 mm boruların kapaklı kanal ile irtibatı sağlanacaktır. Rezervuarda çöken kül üstündeki su kapaklı kanala girecek bağlantı rögarından sonra sedde altındaki borularla depoya iletilecektir (Proje Raporu, 1997).

“25 yıllık” işletme için de gerekli olmasına rağmen, bir yıllık proje uygulaması sırasında boşaltılan kül ve sedde altında kalacak olan geri dönüş suyu kolektörleri (2 x Ø500 mm) ile memba ucundaki bağlantı rögarının (rögar içi taban kotu 493 m) bir yıllık projenin uygulama esnasında inşaa edilmesi zorunludur (Proje Raporu, 1997)

Pompa

500m³’lük pompa istasyonu haznesine seddenin mansap tarafından cazibe ile su taşınacaktır. Suyun uzun yol dolaşması sağlanarak, geri dönüş suyu içindeki külün haznede çökmesi sağlanacaktır. (Sedde rezervuar minimum su kotu 484 m, maksimum su kotu 494 m). Pompa istasyonu bir yıllık ve 25 yıllık işletmeye göre dizayn edilecektir (Proje Raporu, 1997).

T17 kül yaymada kullanılacak suyun temini iki şekilde olmaktadır:

- Santral sahasındaki, su geri kazanım tesisinden T17'ye gelen su (santral hattı)
- Kül barajına gönderilen kül-su karışımından süzülen su (baraj hattı)

Başlangıçta gerekli su santral hattından sağlanacaktır. Santral hattı devamlı çalıştırılacaktır (Proje Raporu, 1997).

Drenaj Kanalı

Doğu yönündeki, depolama alanına açılan vadinin yağış alanı 362 hektardır. Fezeyan halinde bu vadiden gelen sular seddeyi tehdit edebilecektir. Suların kontrol altına alınabilmesi için, uzunluğu 1655 m olan, toprak kanal mansap tarafı ıslah edilip tamamlandıktan sonra, seddenin alt tarafına kadar uzatılıp drenaj kanalı olarak kullanılması uygun bulunmuştur (Proje Raporu, 1997).

5.4.1.5.2 Yirmibeş Yıllık Proje

Sit alanını koruyacak, maksimum depolama hacmini sağlayacak şekilde projelendirilmiştir. Bir yıllık depolama çalışmaları için yapılan tesislerin 25 yıllık depolamada da kullanılması amaçlanmıştır (Proje Raporu, 1997).

Kül, geri alınacak su ve ulaşım sirkülasyonunda bir değişiklik olmayacaktır. Külden seddeler oluşturularak yükselme sağlanacaktır. Kül sahası üst kotu 560 m olacaktır (Proje Raporu, 1997).

Su Alma Kanalı ve Kollektör Boruları:

Bir yıllık depolama için sedde gövdesi ve iç şevinde yapılan su geri kazanım kanalı ve kollektör boru hatlarının ömrü tamamlanmış olacaktır. Aynı görevi yapacak, vadi yüzeyinde 50x60 cm kesitinde kapaklı iki adet betonarme kanal yapılacaktır. Uzunluğu 312 m olan bu kanallar vadinin 560 kotundan başlayacak, "bir yıllık"

depolama projesinde sedde altına konulan borularla irtibatı 493 kotundaki rögarla sağlanacaktır (Proje Raporu, 1997).

25 yıllık kül yayma suyunun geri kazanımı bir yıllık projeninkinden çok farklı olmadığı için var olan pompalara 2 adet daha eklenerek istenilen kapasite sağlanacaktır (Proje Raporu, 1997).

Kül Seddelerinin Teşkili

Bir yıllık işletme sonucunda kül üst kotu 495 m civarına ulaşacaktır. Başyukarı yönteminin uygulanacağı barajda, külden seddeler yapılarak, bu seddelerin arkasına külün depolanması ile 560 m kotuna kadar depolanma işlemi devam edecektir. Kül seddelerinin yüksekliği 5 m, şev 2/1 (2 yatay 1 düşey), palye genişliği 5 m olarak düzenleme yapılacaktır (Proje Raporu, 1997).

5.4.1.5.3 Projedeki Hesaplamalar

Örnek olarak, projede bir yıllık depolama işlemi ile ilgili hesaplamalar verilmiştir. Tablo 5.6'da dört ünitenin kül ve su oranları verilmiştir.

Tablo 5.6 Dört ünitenin kül ve su miktarları

	I. ve II. Ünite	III. ve IV. Ünite
Kül ve alçıtaşı miktarı	367-259 ton	261-184 ton
Su miktarı	500-500 m ³	424-356 m ³

Dört ünite 6500 h/yıl çalışacağı hesaplanırsa;

Kül Miktarı

$$1. \text{ ve } 2. \text{ ünite} \Rightarrow \frac{367 + 259}{2} t / h \times 16h = 5008t / \text{gün}$$

$$3.\text{ve } 4. \text{ ünite} \Rightarrow \frac{261 + 184}{2} t / h \times 24h = 5340t / \text{gün}$$

$$\text{Toplam} \Rightarrow 10.348 t/\text{gün}$$

$$\text{Dört Ünite için} \Rightarrow \frac{10.384t / h}{24} \times 6500h / \text{yıl} = 2.802.583t / \text{yıl}$$

$$\text{Hacim} \Rightarrow \frac{2.802.583t / \text{yıl}}{1.4t / m^3} = 2.001.845m^3 / \text{yıl}$$

(yoğunluk(γ) = 1.4 t/m³ olarak alındı.)

Kül Yaymada Kullanılacak Su Miktarı

$$1. \text{ ve } 2. \text{ ünite için} \Rightarrow 500 m^3/h \times 16 h/\text{gün} = 8.000 m^3/\text{gün}$$

$$3. \text{ ve } 4. \text{ ünite} \Rightarrow \frac{424 + 356m^3 / h}{2} \times 24h / \text{gün} = 9.360m^3 / \text{gün}$$

$$\text{Toplam} \Rightarrow 17.360 m^3/\text{gün}$$

$$\frac{17.360m^3 / \text{gün}}{24} \times 6500h / \text{yıl} = 4.701.667m^3 / \text{yıl}$$

Bir yıllık İşletme İçin Su Kayıpları ve Geri Kazanılması Beklenen Su Miktarı

a) Buharlaşma Kaybı

$$\text{En büyük kül yüzey alanı} \Rightarrow 268.800 m^2$$

$$\text{Yıllık toplam buharlaşma} \Rightarrow 1.0014 t/\text{yıl}$$

$$\Rightarrow 1.0014 t/\text{yıl} \times 268.800 m^2 = 269.176 t/\text{yıl}$$

b) Kül bünyesinde doymun nem olarak tutulan su miktarı :

Küldeki boşluk oranı % 20 olarak kabul edildi

Stoklanan yıllık kül miktarı 2.001.845 t/yıl

$$\Rightarrow 2.001.845 t/\text{yıl} \times 0.2 = 400.369 t/\text{yıl}$$

c) Kül stoklama sahası taban zemini bünyesinde doymun nem olarak tutulan su miktarı:
Bir yıllık kül yayılan alan altındaki ayrışımın ve bozuşmuş zemin kalınlığı 15 m, hacmin %30'u oranında su tutacağı kabul edilmiştir.

$$\text{En büyük kül yüzey alanı} \Rightarrow 268.800 \text{ m}^2 \\ \Rightarrow 268.800 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m} \times 0.3 = 1.209.600 \text{ t/yıl}$$

d) Kül yüzeyinde oluşan su:

Kül yüzeyinde oluşan su kalınlığı : 1.25 m

$$\text{En büyük kül yüzey alanı} \Rightarrow 268.800 \text{ m}^2 \\ \Rightarrow 1.25 \text{ m} \times 268.800 \text{ m}^2 = 336.000 \text{ t/yıl}$$

$$\text{Kaybedilen Su Miktarı : } 269.176 \text{ t/yıl} + 400.369 \text{ t/yıl} + 1.209.600 \text{ t/yıl} + 336.000 \text{ t/yıl} \\ 2.215.145 \text{ t/yıl}$$

$$\text{Geri Beklenen Su miktarı: } 4.701.667 - 2.215.145 \\ 2.486.552 \text{ t/yıl}$$

6500 h/yıl çalışıldığına göre;

$$\text{Debi} \Rightarrow \frac{2.486.552 \text{ t/yıl}}{6500 \text{ h/yıl}} = 382 \text{ t/h} = 106 \text{ lt/h}$$

Bir yıllık işletmede geri kazanılması beklenen $Q = 100 \text{ lt/h}$ 'dir. Hesaplanan debilere bağlı olarak, geri kazanılacak suyu isale edecek boru çapı ve et kalınlığı belirlenmiştir. Ayrıca suyu terfi etmek için pompa seçimi, kül atma kanalı hesabı, drenaj kanalı hesapları da yapılmıştır (Proje Raporu, 1997).

5.4.2 Seyitömer Termik Santrali

Seyitömer Termik Santrali, Kütahya il merkezinin kuzeybatısında olup, Kütahya-Tavşanlı karayolunun 17. km'sine 11 km asfalt bir yol ile bağlanmıştır (Şekil 5.10). Şekil 5.11'de genel görünüşü verilen 4x150 MW gücündeki santral, 1973 yılında servise girmiştir.

c) Kül stoklama sahası taban zemini bünyesinde doymun nem olarak tutulan su miktarı:
Bir yıllık kül yayılan alan altındaki ayrışımın ve bozuşmuş zemin kalınlığı 15 m, hacmin %30'u oranında su tutacağı kabul edilmiştir.

$$\text{En büyük kül yüzey alanı} \Rightarrow 268.800 \text{ m}^2 \\ \Rightarrow 268.800 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m} \times 0.3 = 1.209.600 \text{ t/yıl}$$

d) Kül yüzeyinde oluşan su:

Kül yüzeyinde oluşan su kalınlığı : 1.25 m

$$\text{En büyük kül yüzey alanı} \Rightarrow 268.800 \text{ m}^2 \\ \Rightarrow 1.25 \text{ m} \times 268.800 \text{ m}^2 = 336.000 \text{ t/yıl}$$

$$\text{Kaybedilen Su Miktarı : } 269.176 \text{ t/yıl} + 400.369 \text{ t/yıl} + 1.209.600 \text{ t/yıl} + 336.000 \text{ t/yıl} \\ 2.215.145 \text{ t/yıl}$$

$$\text{Geri Beklenen Su miktarı: } 4.701.667 - 2.215.145 \\ 2.486.552 \text{ t/yıl}$$

6500 h/yıl çalışıldığına göre;

$$\text{Debi} \Rightarrow \frac{2.486.552 \text{ t/yıl}}{6500 \text{ h/yıl}} = 382 \text{ t/h} = 106 \text{ lt/h}$$

Bir yıllık işletmede geri kazanılması beklenen $Q = 100 \text{ lt/h}$ 'dir. Hesaplanan debilere bağlı olarak, geri kazanılacak suyu isale edecek boru çapı ve et kalınlığı belirlenmiştir. Ayrıca suyu terfi etmek için pompa seçimi, kül atma kanalı hesabı, drenaj kanalı hesapları da yapılmıştır (Proje Raporu, 1997).

5.4.2 Seyitömer Termik Santrali

Seyitömer Termik Santrali, Kütahya il merkezinin kuzeybatısında olup, Kütahya-Tavşanlı karayolunun 17. km'sine 11 km asfalt bir yol ile bağlanmıştır (Şekil 5.10). Şekil 5.11'de genel görünüşü verilen 4x150 MW gücündeki santral, 1973 yılında servise girmiştir.

Tablo 5.7 S.L.İ'den Sevk Edilen Yerlere Göre Ortalama Kömür Özellikleri (S.L.İ. Rapor)

	I., II., III. Gurup	IV. Gurup
Rutubet (%)	30	35
Kül (%)	33	40
AİD (kcal/kg)	1750 ±100	1600 ±100
Boyut (mm)	0-200	0-200

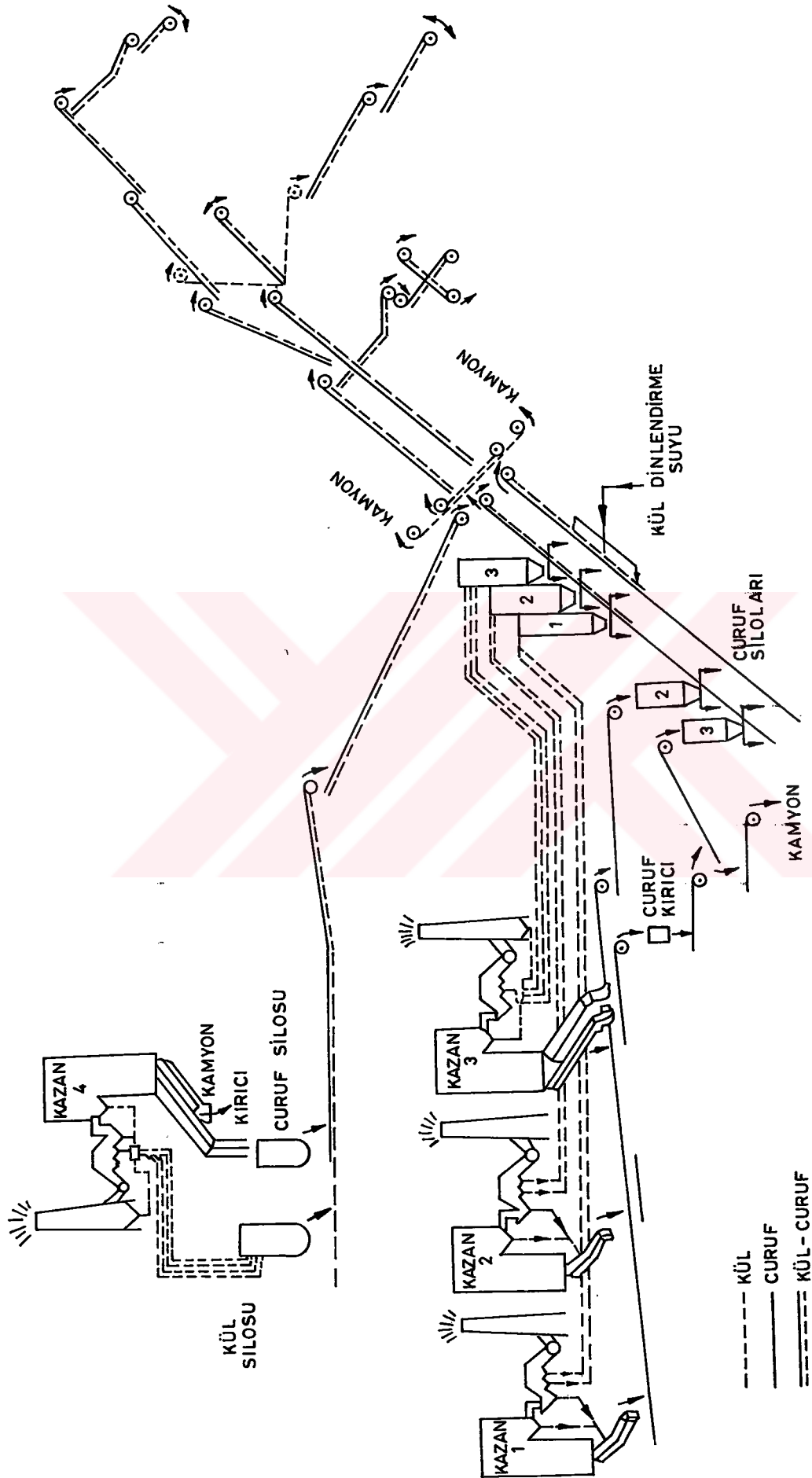
Santralden atık olarak çıkan uçucu kül (kimyasal bileşimi ve fiziksel özelliklerine göre) çimento, hazır beton, biriket ve prefabrik yapı elemanı üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilecek özellikte olup talep edilmesi durumunda satılmaktadır. Tablo 5.8'de Seyitömer Santrali külünün elementer analizi verilmiştir. Satış silodan yapılmakta olup, satılan miktar talep azlığından ötürü ihmal edilecek boyuttur (Komisyon Raporu, 1997).

Tablo 5.8 Santral Külünün Elementer Analizi (Komisyon Raporu, 1997)

Yapılan Analizler	% Ağırlık
SiO ₂	55.042
R ₂ O ₃	30.10
Fe ₂ O ₃	9.12
Al ₂ O ₃	20.98
CaO	6.79
MgO	0.70
Na ₂ O	
K ₂ O	
SO ₃	0.15
V ₂ O ₅	
CuO	
Yanma Kaybı	2.31

5.4.2.1 Kül Depolama

Kömürün yanması sonucu oluşan külün uçucu kül olarak adlandırılan %85-90 oranındaki ince taneli olan kısmı, baca gazı ile sürüklenirken elektrofiltreler tarafından tutulmakta ve elektrofiltre altından alınarak pnömatik olarak kapalı sistemle kül silosuna gönderilmektedir. Külün %10-15'ini oluşturan iri ve erimiş halde kalan kısmı olan curuf ise, kazan altındaki curuf teknesinde soğutulduktan sonra paletli çıkarıcılar ile alınarak bantlarla curuf silosuna gönderilmektedir. Kül ve curuf silolarının



Şekil 5.12 Kül - Curuf Taşıma Sistemi Akış Şeması

kapasitesi Tablo 5.9'da verilmiştir. Silolarda toplanan, kül ve curuf tozumu önlemeye yetecek düzeyde nemlendirildikten sonra aynı banta yüklenerek, santralden yaklaşık 3 km uzaklıktaki kül vadisine, galeri içine alınmış 400 t/h kapasiteli, biri yedek olmak üzere iki bant hattı ile, taşınmaktadır (Komisyon Raporu, 1997). Kül-curuf taşıma sistemi akım şeması Şekil 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.9 Santraldeki Kül ve Curuf Silolarının Kapasitesi

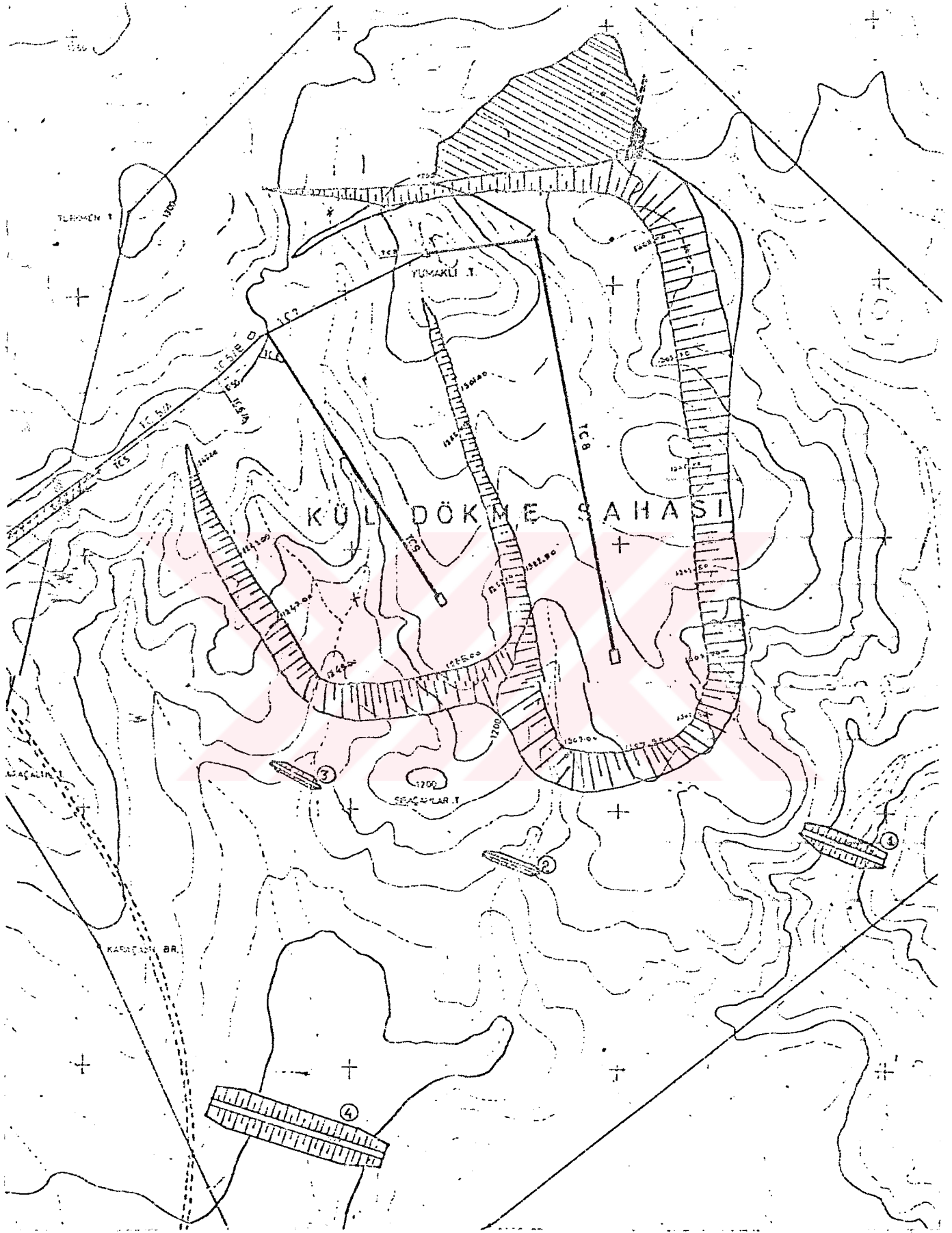
	I. Ünite	II. Ünite	III. Ünite	IV. Ünite
Kül Siloları	900 m ³	900 m ³	900 m ³	1100 m ³
Curuf Siloları	280 m ³		160 m ³	160 m ³

Kül döküm sahasında 3 ayrı kül yayma modülü bulunmaktadır. Bantlardan dökülen kül ve curuf dozerler vasıtası serilmektedir. Şekil 5.13'te görüldüğü gibi, kül depolama alanı bir vadi şeklinde olduğu için, külün vadinin yamaçlarından aşağıya dökülerek vadinin doldurulması yönünde bir çalışma yapılmıştır. Şekil 5.14'te de kül dağının görünümü verilmiştir.

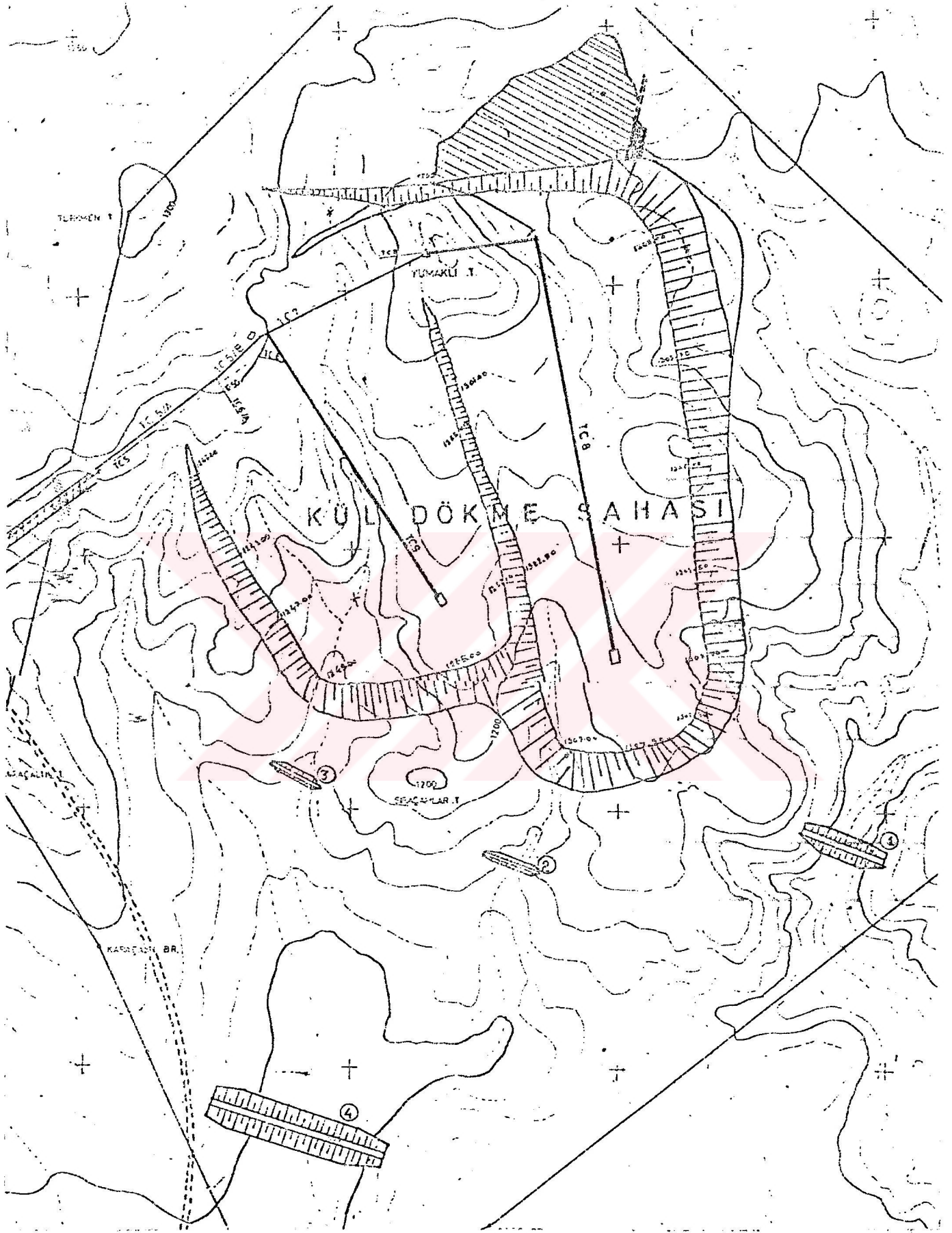
5-6 aylık çalışma süresi sonunda, kül-curuf döküm noktası ile yayma noktası arasındaki mesafe artmakta, dozerlerin külü döküm noktasından alıp, yayması, kürenen mesafenin artmasına bağlı olarak zorlaşmaktadır. Bu nedenle döküm makineleri (staker) bu sürenin sonunda, döküm sahası uç noktasına ilerletilerek işlemin sürekliliği sağlanmaktadır (Komisyon Raporu, 1997).

Kül dağı yüksekliği programlanan düzeye ulaştığında daha önce döküm yapılan sahalara ve şevlere toprak ile örtülerek erozyonu ve tozumu önlemek amacıyla korunga yetiştirilmektedir (1984 yılından itibaren). Ayrıca deneme amaçlı olarak akasya ve iğne yapraklı ağaçlar da dikilmiştir.

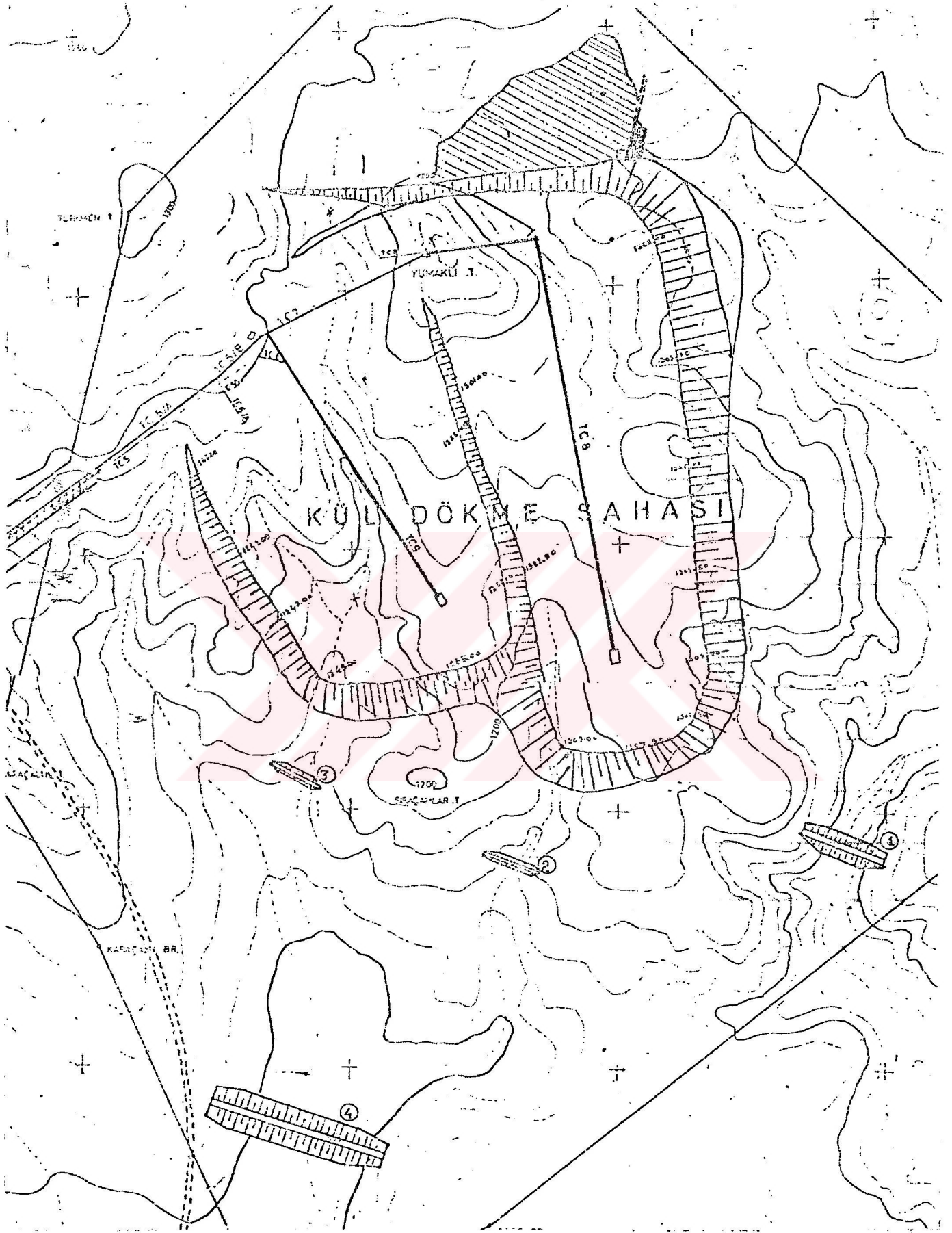
Ancak programlanan yüksekliğe ulaşmaya kadar toprakla kaplanamayan kısımlar, kül dökme ve serme yerleri ile kül dağı şevlerinde tozuma kaçınılmaz olmakta bu da beraberinde çevre problemlerini getirmektedir (Komisyon Raporu, 1997). Şekil 5.15'te kül dağı civarında meydana gelen tozuma gösterilmiştir.



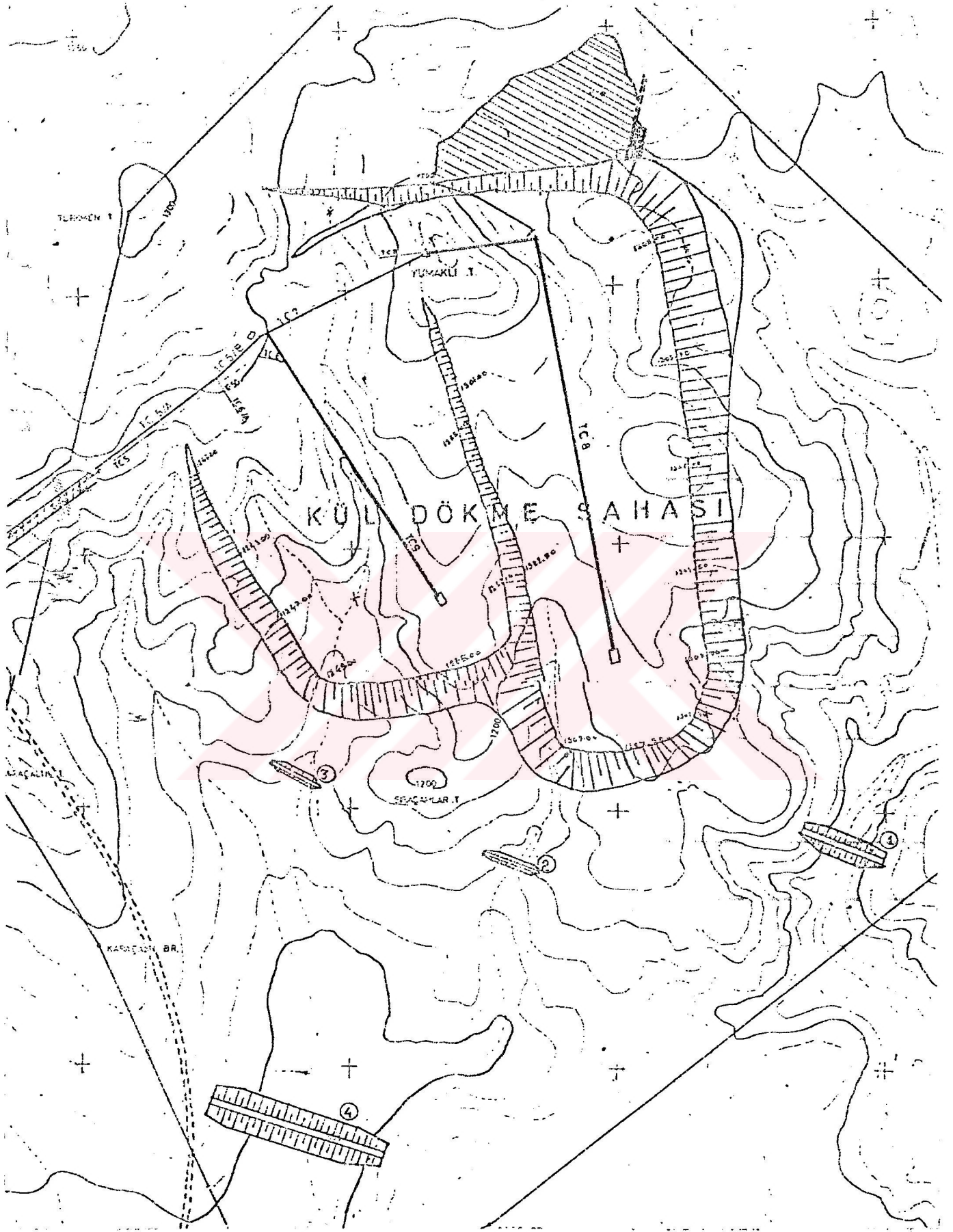
5.13. Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Sahası



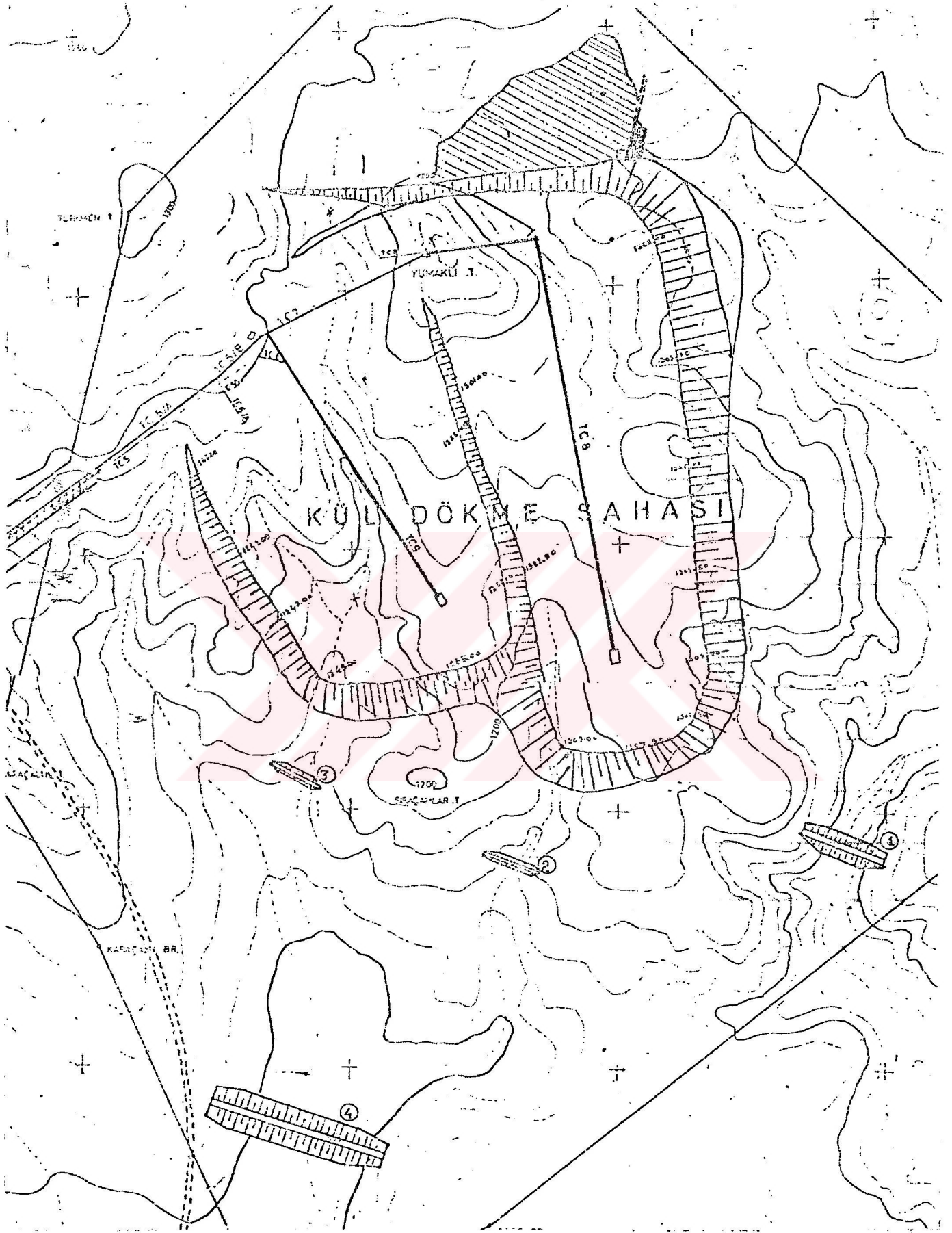
5.13. Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Sahası



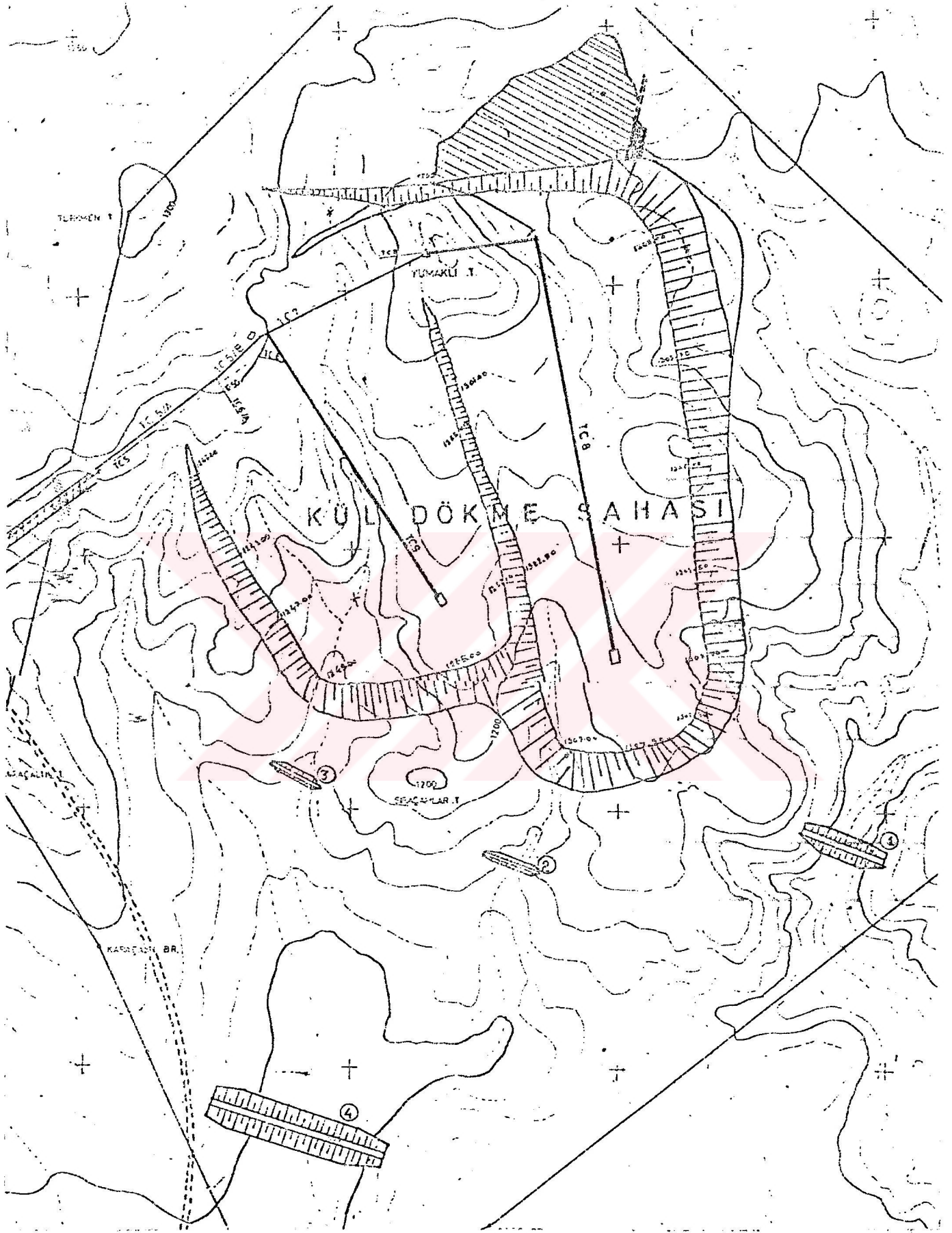
5.13. Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Sahası



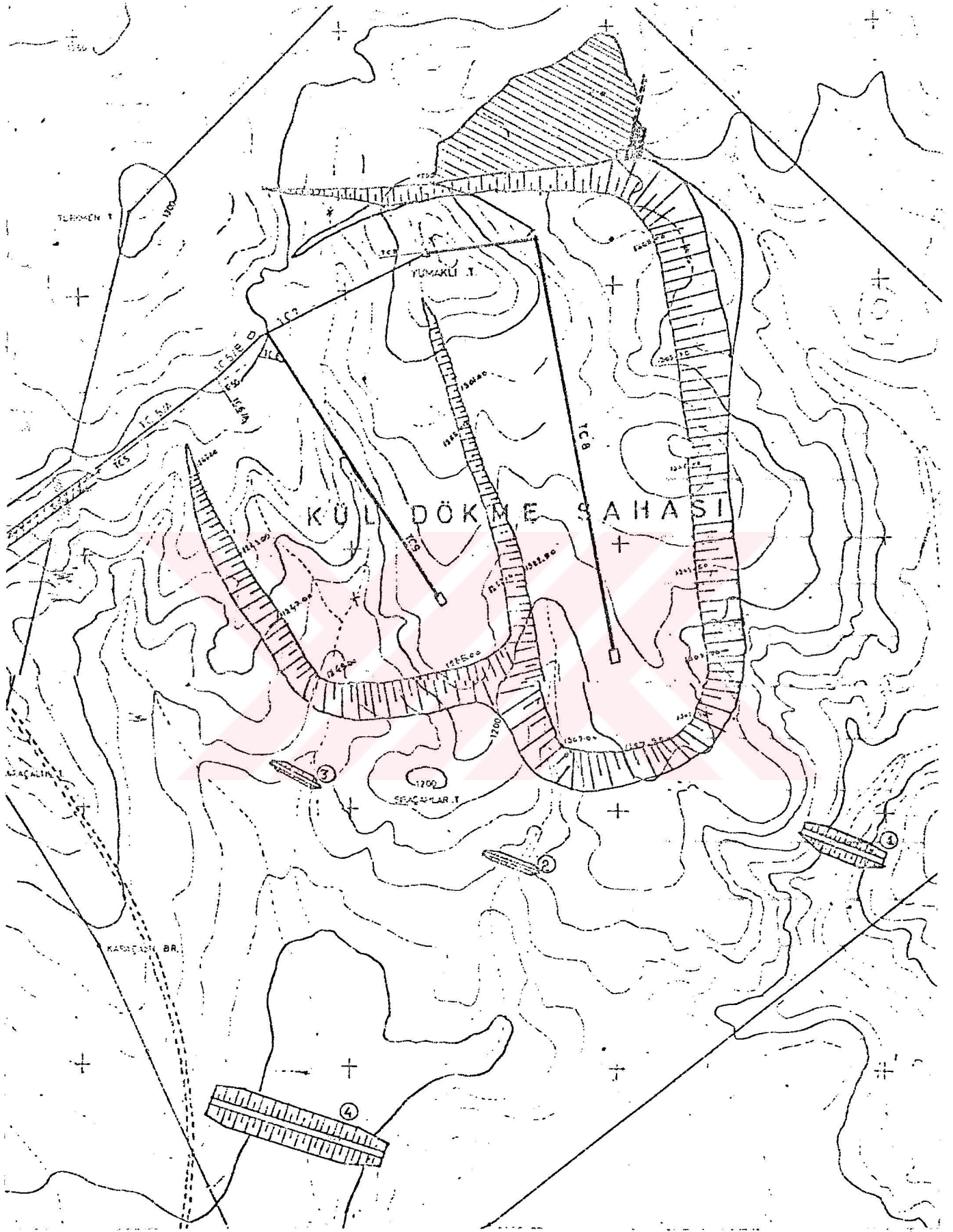
5.13. Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Sahası



5.13. Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Sahası



5.13. Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Sahası



5.13. Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Sahası

SONUÇLAR

“Termik santral külleri” bir endüstriyel atıktır. Türk mevzuatında “özel işleme tabii tutulacak” atıklar gurubunda yer almaktadır. Yönetmelikte bu atıklarla ilgili hükümlerin Çevre Bakanlığınca belirleneceği açıklanmaktadır. Ancak Bakanlığın termik santral küllerinin taşınması, işlenmesi, bertarafına ilişkin esasları belirleyecek olan çalışması 1997 yılı itibari ile tamamlanmamıştır. Bu nedenle elde, termik santral küllerinin bertarafını kritize edecek, tanımlayacak herhangi bir veri bulunmamaktadır. Bu eksiklik; her yıl milyon ton mertebesinde üretilen küllerin, bir bağlayıcı unsur olmaksızın bertaraf edilmesine sebep olmaktadır.

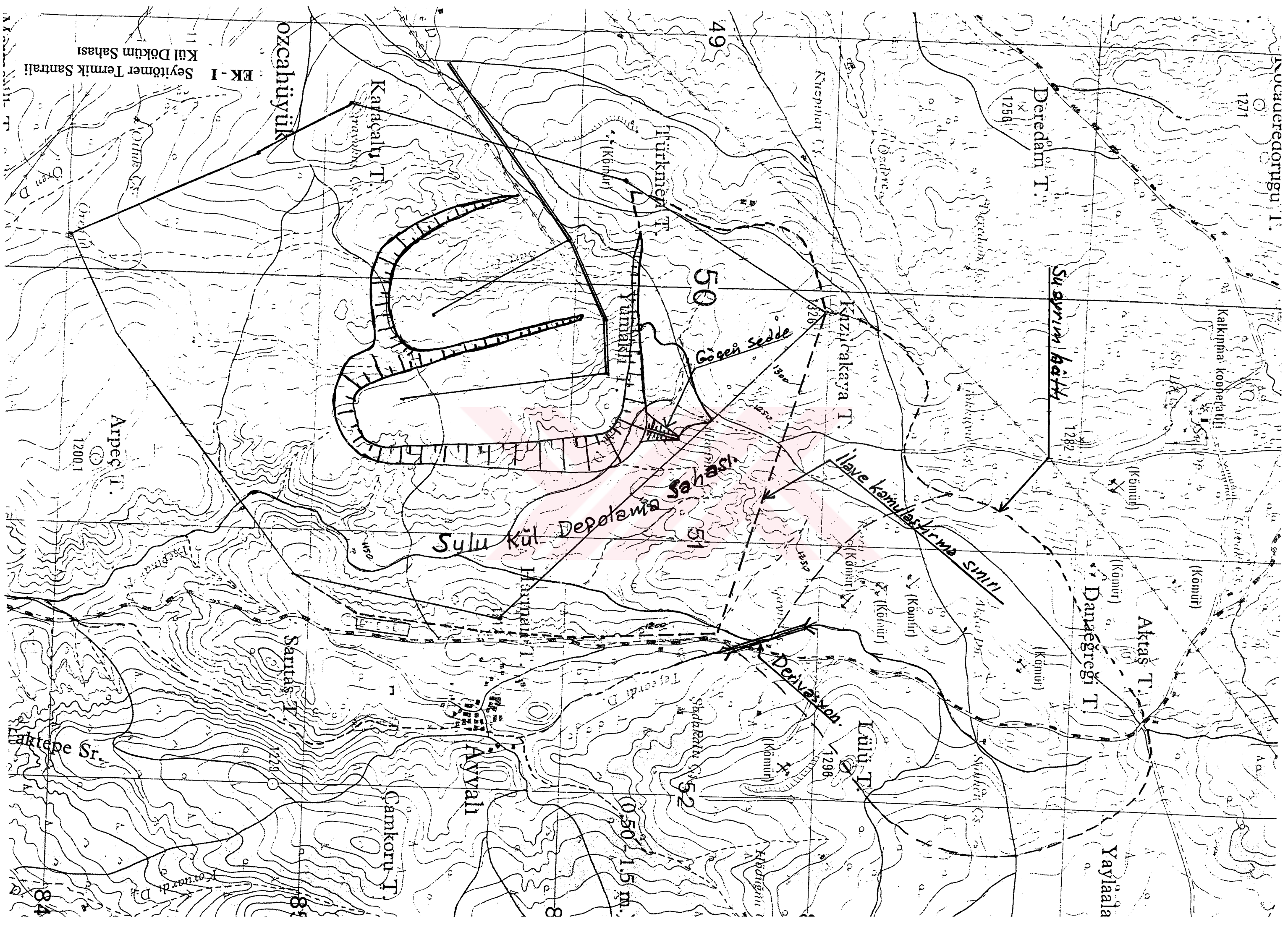
Türkiye’de termik santral atıkları “tek tür atık depo” tesisi olarak tabir edilen tesislerde depolanmaktadır. Bu küllerin başka atıklarla depolanabilirliği hakkında bir açıklama getirilmemiştir. Ayrıca yönetmeliklerde; depoların inşaatı ile ilgili bu konuya rehber olabilecek nitelikte yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Yurtdışı yönetmeliklerinde ise; RCRA’nın, “kentsel atık yakan, atıktan enerji üreten” faaliyetleri, “tehlikeli atık” hükümlerinden çıkarttığı görülmektedir. Amerika’da bir çok eyalette küle zararsız atık işlemi yapılmaktadır. Böylece uçucu kül, curuf, desülfrizasyon sistemi atıklarına (jips), RCRA’nın, zararlı olmayan katı atıklara uygulanan, D-altbaşlığı yönetmelik hükümleri uygulanmaktadır.

Ancak yeni yapılan çalışmalar, curufun zararsız olarak kabul edilmesinin doğru olduğunu gösterirken; uçucu külün, federal limitleri aşan konsantrasyonlarda ağır metaller ve dioksin içerdiklerini ispatlamıştır. Ancak 2-Mayıs-1994’te yüksek mahkeme “Chicago Kenti Çevresel Savunma Fonu” davasında bu muafiyetin küle kadar uzanmayan faaliyetleri kapsamına karar vermiştir. Sonuç olarak; “külün zararlı veya zararsız olarak nitelendirilebilmesi için testlerden geçirilmesi

gereklidir. Testler külün zararlı olduğunu gösterirse, kül, “zararlı atık yönetmelikleri”ne göre işleme tabii tutulmalıdır” hükmü getirilmiştir.





KAYNAKLAR

- ESİN, J., (1994), Termik Santrallerin Çevresel Etkilerinde Kömür Faktörü, Madencilik ve Çevre Sempozyumu.
- HASSANI, F.P. ve diğ., (1994), Comparison of Surface and Underground Disposal of Tailing Waste, CIM Bulletin, January 1994, vol.87.
- KAAS, L.M.; PAAR, C.J., (1992), Environmental Consequences, S.M.E. Mining Engineering Handbook (2nd Edition).
- KARADENİZ, M., (1996), Cevher Zenginleştirme Tesis Artıklarının Çevreye Etkileri, Önlemler, s.332.
- KARAMUSTAFAOĞLU, A.F., (1996), Çevre ve Enerji; TEAŞ Genel Müdürlüğü Çevre Daire Başkanlığı.
- KNEZEVIC, D. ve diğ., (1992), Ash Deposits: Ecological Problems and Solutions; "Proceedings of Second International Conference on Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production", (Singhal, R.K. ve diğ., Ed.).
- KUZU, C. ve diğ., (1996), Endüstriyel Atıkların Kömür Ocaklarında Depolanması, Türkiye 10. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.
- McLAREN, R.J. ve DIGIOIA A.M, (1987), The Typical Engineering Properties of Fly Ash, Geotechnical Practice for Waste Disposal '87.
- NEWMAN, F. ve diğ., (1987), Embankment Over Fly Ash at Portsmouth Power Station, Geotechnical Practice for Waste Disposal '87.
- OWEIS, I.S.; KHERA, R.P.; (1990), Geotechnology of Waste Management, pp. 273.
- RAINBOW, A.K.M.; SKARZYNSKA, K. M., (1987), Minestone Impoundment Dams For Fluid Fly Ash Storage, Proceedings of the Second International Conference on the "Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Waste".
- RYNER, C.R. ve diğ., (1995), Waste Management and Resource Recovery, pp. 524.
- SEVİM, H. ve diğ., (1992), Guidelines for Evaluating Environmental Impacts and Technical Features of Underground Coal-Waste Disposal in Midwest, "Proceedings of Second International Conference on Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production", (Singhal, R.K. ve diğ., Ed.).

- SEVİM, H., (1996), Coal Refuse Disposal, Coal (Resource, Properties, Utilization, Pollution), pp.494, (Kural, O., Ed.).
- SEVİM, H., (1997), System Selection for Coal Combustion By-Product Transportation, Mine Planning and Equipment Selection.
- SHARMA, H.D.; LEWIS, S.P., (1994), Waste Containment Systems, Waste Stabilization and Landfills Design and Evaluation, pp. 588.
- UĞURSAL, İ. ve diğ., (1996), Economics of Coal Utilization, Coal (Resource, Properties, Utilization, Pollution), s.494, (Kural, O., Ed.).
- WILKE, F.L.; SKRZYPPEK, J., (1992), Using Underground Openings in Hard Coal Mines to Deposit Industrial Waste; "Proceedings of second International Conference on Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production", (Singhal, R.K. ve diğ., Ed.)
- YILDIRAN, D., (1986) (a), Artık Barajları, Etibank Bülteni, Mayıs-Haziran 1986.
- YILDIRAN, D., (1986) (b), Artık Barajları, Bölüm 2, Etibank Bülteni, Eylül-Ekim 1986.
- YILDIRAN, D., (1987), Artık Barajları, Etibank Bülteni, Mart-Nisan 1987.
- ZAHL, E.G. ve diğ., (1992), Waste Disposal and Containment Control, S.M.E. Mining Engineering Handbook (2nd Edition), pp. 1170-1180.
- ZYL, D.V., (1993), Mine Waste Disposal; Geotechnical Practice for Waste Disposal, pp. 675 (Daniel, D.E., Ed.).
- Resmi Gazete, 14/03/1991 tarih ve 20814 sayılı "Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliği".
- Resmi Gazete, 27/08/1995 tarih ve 22384 sayılı "Tehlikeli Atıklar Kontrol Yönetmeliği".
- 40 CFR 257, Criteria for Classification of Solid Waste Disposal Facilities and Practices
- 40 CFR 258, Criteria for Municipal Solid Waste Landfills.
- 40 CFR 261, Identification and Listing of Hazardous Waste.
- 40 CFR 264, Standarts for Owners and Operators of Hazardous Waste Treatment, Storage and Disposal Facilities.
- EPA Report, (1985), Reports to Congress Wastes from Extraction and Benefication of Metalic Ores, Phosphate, Rocks and Asbestos.

EPA/625-6-88/018, (1988), Guide to Technical Resources for the Design of Land Disposal Facilities, EPA.

EPA Seminar Publication, (May 1991), Design and Construction of RCRA/CERCLA Final Covers, pp.145.

S.L.İ. Seyitömer Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü ile ilgili kitapçık, (1996).

Komisyon Raporu, (1997), Seyitömer Termik Santrali Kül Depolama Alanında Oluşan Heyelanın Neden Olduğu Hasarın Çevresel ve Hukuksal Boyutlarının Belirlenmesine İlişkin Yapılan Çalışmalar ve Öneriler, 12-17 Mayıs 1997.

Proje Raporu, GÜRIŞ İnşaat ve Mühendislik A.Ş., “Çayırhan Termik Santrali Kül Depolama Sahası Bir Yıllık ve 25 Yıllık Çözüm İçin Proje Raporu”.

Çalışma Raporu, (1997), Çayırhan Termik Santrali, Mayıs 1997, Çalışma Raporu.

2 x 150 MW Çayırhan Termik Santrali ve Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisi (1995).

Kişisel görüşme, Yunus Sarımen (Çayırhan Termik Santrali Md.Yrd.).

Broşür, (1989), Nuclear Waste Management, Federal Republic of Germany.

Y.C. İSTANBUL
DOLU. KASIMYON MALKET