

**TÜRKİYE'DE KATI ATIK DEPO GAZI GERİ
KAZANIM TESİSLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

104228

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TAYIN MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Müh. Mehveş ÖZÇAKIL
(501961435)**

104228

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Haziran 2001**

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. İzzet ÖZTÜRK

Diğer Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Mustafa TURAN (İ.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. İbrahim DEMİR (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim döneminde ve tez çalışmalarımda, yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve dokümanlarını paylaşan, engin tecrübesiyle yol gösterici olan değerli hocam Sayın Prof Dr İzzet Öztürk'e şükranlarımı sunarım.

Tezimi hazırlamam sırasında bana gösterdiği destek ve yardımlarından dolayı Araştırma Görevlisi Osman Arıkan'a, manevi destekleriyle beni cesaretlendiren Tuzla Biyolojik Arıtma Tesisi İşletme Şefi Sayın Nur Eralp'e ve diğer çalışma arkadaşlarıma, göstermiş oldukları ilgi ve yardımlardan dolayı Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Etüt Proje Uygulama Şube Müdürü Sayın Tuğba Albayrak'a ve Tekniker Erkan Solak Bey'e, İzmir Harmandalı Düzenli Depo Alanı çalışanlarına, İSTAÇ AŞ çalışanlarına ve beni her zaman destekleyen ve teşvik eden arkadaşlarım Pınar Ataylan ve Fatma Nur Tuncel'e ve de başta babam, kız kardeşim ve halam olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Haziran, 2001

Mehveş Özçakıl

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı	2
2. DEPO ALANLARINDA ÇÖPÜN AYRIŞMASININ PRENSİPLERİ	4
2.1 Giriş	4
2.2 Organik Maddeler İçin Ayrışma Modeli	5
2.3 Sızıntı Suyu Özellikleri	7
2.3.1 Sızıntı Suyunun Kaynağı	7
2.3.2 Sızıntı Suyu Bileşimi	8
2.3.2.1 Geçici Değişmeler	9
2.3.2.2. Genç Sızıntı Suları	10
2.3.2.3 Yaşlı Sızıntı Suları	11
2.3.3 Sızıntı Suyunun Hareketi	12
2.3.4 Sızıntı Suyu Oluşmasını Etkileyen Faktörler	12
2.3.5 Sızıntı Suyu Oluşmasının Problemleri	13
2.4 Depo Gazının Özellikleri	13
2.4.1 Depo Gazının Bileşimi ve Özellikleri	13
2.4.1.1 Başlıca Depo Gazı Bileşenleri	13
2.4.1.2 Eser Depo Gazı Bileşenleri	14
2.4.2 Depo Gazı Oluşumunun Zamanla Değişmesi	15
2.4.3 Depo Gazının Oluşumunu Etkileyen Faktörler	20
2.4.4 Depo Gazının Kokusunun Giderilmesi	27
3. DEPO GAZININ OLUŞUMU	29
3.1 Giriş	29
3.2 Düzenli Depo Alanından Üretilen Gazın Miktarı	29
3.3 Gaz Oluşumunun Hızı Ve Süresi	32
3.4 Depo Gazını Hesaplamak İçin Yöntemler	35
3.4.1 Test Kuyuları Sonuçları ile Hesap	36
3.4.2 Yaklaşık Tahmin Metodu	36
3.4.3 Matematiksel Modeller Yardımıyla Hesap	37
3.4.3.1 Birinci Mertebe Çürüme Modeli	37

3.4.3.2 Depodaki Atık Esaslı Model	38
3.4.3.3 Palos Verdes Kinetik Modeli	39
3.4.3.4 Sheldon Arleta Kinetik Modeli	40
3.4.3.5 Pasifik Gaz ve Elektrik Kinetik Modeli	40
3.4.3.6 Emcon Kinetik Modeli	40
3.4.3.7 Clancy Kinetik Modeli	40
4. DEPO GAZININ KONTROLÜ VE ENERJİ GERİ KAZANIMI MAKSATLI KULLANIMI	41
4.1 Giriş	41
4.2 Depo Gazının Hareketi	42
4.3 Gaz Yayılmasının Sebep Olduğu Potansiyel Problemler	43
4.4 Gaz Yayılması Potansiyelini Etkileyen Faktörler	43
4.5 Depo Gazı Kullanımının Ekonomisi	45
4.6 Metan Emisyonlarını Azaltmak İçin Elverişli Durumların Tanımlanması	47
4.6.1 Atık Yönetimi Uygulamaları	48
4.6.2 Enerji Olarak Kullanımı	48
4.6.3 Büyük Depo Alanları ve Açık Çöplükler	48
4.6.4 Atık Özellikleri	49
4.7 Depo Gazı Geri Kazanma Sistemleri	49
4.7.1 Depo Gazı Geri Kazanma Teknikleri	50
4.7.2 Depo Gazının Kontrolü	52
4.7.2.1 Depo Gazının Pasif Kontrolü	53
4.7.2.2 Depo Gazının Çevre Tesisleri İle Aktif Kontrollü	54
4.7.2.3 Depo Gazını Düşey Ve Yatay Gaz Çıkarma Kuyuları İle Aktif Kontrolü;	56
4.7.3 Gaz Çıkarma Sistemin Uygulanabilirliğini Etkileyen Faktörler	59
4.8 Gaz Geri Kazanma Sistemlerinde Karşılaşılan Potansiyel Problemler	60
4.9 Depo Gazının Kullanılmasını Etkileyen Temel Faktörler	61
4.10 Depo Gazının Kullanılması	62
4.10.1 Depo Gazının Arıtılması	63
4.10.2 Bölgesel Gaz Kullanımı	64
4.10.3 Elektrik Üretimi	64
4.10.3.1 İçten Yanmalı Motorlar	65
4.10.3.2 Gaz Türbinleri	65
4.10.3.3 Boyler/Buhar Türbini	65
4.10.3.4 Yakıt Hücresi	66
4.10.3.5 Kojenerasyon	66
4.10.4 Doğal Gaz Şebekesine Enjeksiyon	67
4.10.5 Diğer Alternatif Kullanma Yöntemleri	68
5. TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA KATI ATIK DEPO ALANLARINDA METAN GAZI TOPLANMASI VE ENERJİ OLARAK GERİ KAZANILMASI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	69
5.1 Giriş	69
5.2 Bursa Demirtaş Açık Depo Sahası	70
5.2.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi	70

5.2.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi	71
5.2.3 Demirtaş Açık Depo Sahası Enerji Geri Kazanım Tesisinin Tanıtımı	72
5.2.4 Gaz Kontrolü	73
5.2.5 Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi	75
5.3 İstanbul Kemerburgaz Açık Depo Sahası	77
5.3.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi	79
5.3.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi	79
5.3.3 Gaz Oluşum Potansiyeli	79
5.3.4 Kemerburgaz Açık Depo Sahası Enerji Geri Kazanım Tesisinin Tanıtımı	80
5.3.5 Projenin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi	82
5.4 İzmir Harmandalı Düzenli Depolama Alanı	83
5.4.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi	83
5.4.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi	84
5.4.4 Sızıntı Suyu Özellikleri	86
5.4.5 Tesisin Tanıtımı ve Gaz Kontrolü	87
5.5 İstanbul Yakacık Açık Depo Sahası	89
5.5.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi	89
5.5.2 Katı Atık Miktarı ve Özellikleri	89
5.5.3 Gaz Oluşum Potansiyeli	90
5.5.4 Yakacık Açık Depo Sahası Gaz Toplama ve Yakma Sisteminin Tanıtımı	91
5.6 Türkiye'de Depo Gazı Üretim Potansiyeline Genel Bir Bakış	94
5.7 Dünyada Metan Geri Kazanımı İle İlgili Yapılan Çalışmalara Örnekler	97
5.7.1 Danimarka	100
5.7.2 Almanya	101
5.7.3 Fransa	103
5.7.4 İtalya	104
5.7.5 Hollanda	104
5.7.6 İngiltere	104
5.7.7 Avusturya	104
5.7.8 İsveç	104
5.7.9 Amerika Birleşik Devletleri	105
5.7.10 Kanada	106
5.7.11 Brezilya	107
5.7.12 Güney Afrika	107
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	108
KAYNAKLAR	110

EKLER

113

ÖZGEÇMİŞ

152



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Genç Depo Alanı Sızıntı Suyunun Tipik Kimyasal Konsantrasyonları ...	11
Tablo 2.2 Yaşlı Depo Alanı Sızıntı Suyunun Tipik Kimyasal Konsantrasyonları ...	11
Tablo 2.3 Çeşitli Kaynaklardan Gelen Azot Bileşenlerinin Konsantrasyonları	12
Tablo 2.4 Depo Gazında Bulunan Tipik Bileşenler Ve Depo Gazının Özellikleri ..	14
Tablo 2.5 Standart Koşullar Altında Düzenli Depo Alanında Bulunan Gazların Moleküler Ağırlığı, Yoğunluğu ve Özgül Ağırlığı	15
Tablo 2.6 Bir Depo Alanının Kapatılmasından Sonraki İlk 48 Ay Boyunca Gözlenen Gazların Yüzde Olarak Dağılımı	18
Tablo 2.7 Evsel Katı Atıkta Bulunan Hızlı Ve Yavaş Ayrışabilen Organik Bileşenler	20
Tablo 2.8 Çöpün Su Muhtevası	22
Tablo 3.1 Teorik CO ₂ ve CH ₄ Oluşumu (McBean ve diğ., 1995).....	31
Tablo 3.2 Çeşitli Maddeler İçin Oluşan Depo Gazının Teorik Hacimleri.....	31
Tablo 3.3 Evsel Çöpten Üretilen Toplam Gaz (CO ₂ + CH ₄).....	32
Tablo 3.4 Birinci Mertebe Modeline Göre Metan Üretimi İçin Yarılanma Ömrü Değerleri	34
Tablo 3.5 Tipik Depo Gazı Bileşenleri.....	35
Tablo 3.6 Depo Gazı Oluşumu Hesaplarında Metotların Karşılaştırılması.....	37
Tablo 3.7 Birinci Mertebe Bozunma Modeli Değişkenleri İçin Önerilen Değerler..	39
Tablo 5.1 Demirtaş Açık Depo Alanı Rehabilitasyon Maliyetleri Tablosu	71
Tablo 5.2 Ocak ve Mart Aylarına Ait Yeraltı Suyu Gözlem Kuyusu Analiz Sonuçları	73
Tablo 5.3 Demirtaş Eski Çöp Döküm Sahasında Açılan Gaz Kuyularında Yapılan Ortalama Gaz Ölçüm Sonuçları.....	76
Tablo 5.4 Demirtaş Açık Depo Sahası Ekipman ve Borulama Teknik Verileri.....	77
Tablo 5.5 Demirtaş Tesisi Elektrik Üretim Değerleri	78
Tablo 5.6 İstanbul İli Atık Özellikleri (% Yaş ağırlık olarak)	80
Tablo 5.7 Kemerburgaz Açık Depo Sahası Gaz Üretimi Tahmini.....	80
Tablo 5.8 Kemerburgaz Açık Depo Sahası Ekipman ve Borulama Teknik Verileri.	81
Tablo 5.9 Toplam Yatırım Tablosu	83
Tablo 5.10 Yıllık Toplam İşletme Gelirleri.....	83
Tablo 5.11 Yıllık Toplam İşletme Giderleri.....	83
Tablo 5.12 Farklı Sosyo-Kültürel Yapıdaki Semtlerde, Sanayi Ve Ticari Faaliyetlerin Yoğun Olduğu Bölgelerde Meydana Gelen Katı Atıkların Bileşimi	86
Tablo 5.13 Farklı Sosyo-Kültürel Yapıdaki Semtlerde Sanayi Ve Ticari Faaliyetlerin Yoğun Olduğu Bölgelerde Meydana Gelen Katı Atıkların Ortalama Kalorifik Değerleri	87

Tablo 5.14	Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Ekipman ve Borulama Teknik Verileri.....	88
Tablo 5.15	Yakacık Açık Depo Sahasında depolanan atık miktarı	89
Tablo 5.16	Yakacık Açık Depo Sahasında Depolanan Katı Atık Bileşimi	90
Tablo 5.17	Yakacık Açık Depo Sahası Islah Projesi Uygulama Raporu'nda Tahmin Edilen Gaz Miktarları	90
Tablo 5.18	Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri % 75 Gaz geri kazanımı ve 9 m³ metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre	95
Tablo 5.19	Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri % 30 Gaz geri kazanımı ve 9 m³metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre	95
Tablo 5.20	Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri % 75 Gaz geri kazanımı ve 6 m³metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre	96
Tablo 5.21	Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri % 30 Gaz geri kazanımı ve 6 m³metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre	96
Tablo 5.22	Dünya Geneline Depo Gazı Uygulama Projelerinin Dağılımı	98
Tablo 5.23	Avrupa Birliği Ülkelerinde Depo Gazı Uygulama Projelerinin Dağılımı	99
Tablo 5.24	Dünyada Uygulanan Depo Gazı Kullanma İşlerinin Listesi (1990 yılına kadar)	100
Tablo 5.25	Danimarka'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri	101
Tablo 5.26	Almanya'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri	102
Tablo 5.27	Almanya'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri	103
Tablo 5.28	Amerika'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri	105
Tablo 5.29	Amerika'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri (Gendebien ve diğ., 1992)	106

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Katı Atık Ayırışmasının Yan Ürünleri.....	5
Şekil 2.2 Organik Madde İçin Ayırışma Modeli.....	6
Şekil 2.3 Anaerobik Ayırışma İle Açığa Çıkan Gaz Bileşenleri.....	8
Şekil 2.4 İdealize Edilmiş Sızıntı Suyu Konsantrasyonunun Oluşumu Eğrileri.....	10
Şekil 2.5 Depo Gazının Oluşum Eğrileri	16
Şekil 2.6 Biyolojik ayırışmanın değişik kademelerinde oluşan yan ürünleri şeması..	20
Şekil 2.7 Organik Muhteva	25
Şekil 2.8 Uçucu Karboksilik Asit.....	26
Şekil 2.9 Atığın Sıcaklığı	26
Şekil 2.10 Metan/Karbondioksit Oranı	26
Şekil 2.11 Birim Depo Gazı Üretim Modeli	27
Şekil 3.1 Kütlenin korunumu prensibi	29
Şekil 4.1 Depolanmış atık içindeki yatay gaz göçü	45
Şekil 4.2 Gaz Geri Kazanma Sisteminin Şeması	46
Şekil 4.3 Tipik Bir Gaz Toplama Kuyusu Şeması	51
Şekil 4.4 Tipik Bir Açık Gaz Yakıcı.....	52
Şekil 4.5 Depo Gazının pasif kontrolü için kullanılan tipik gaz kuyuları.....	53
Şekil 4.6 Depo Gazının Pasif Kontrolünde Kullanılan Tesisler.	55
Şekil 4.7 Bir Gaz Çekme Kuyusunun Detaylı Bir Gösterimi	57
Şekil 4.8 Depo Alanı Geri Kazanma Tesisinde Kullanılan Düşey Kuyular	58
Şekil 4.9 Yatay Gaz Toplama Kuyuları	59
Şekil 4.10 Gaz tutma borularından toplama tankına yoğunlaşma drenajının şeması	61
Şekil 5.1 Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı Katı Atık Yönetim Şube Müdürlüğü Katı Atık Kompozisyon Araştırması Atık Kompozisyonları (Yüksek Gelir Grubu % olarak).....	71
Şekil 5.2 Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı Katı Atık Yönetim Şube Müdürlüğü Katı Atık Kompozisyon Araştırması Atık Kompozisyonları (Düşük Gelir Grubu % olarak).....	72
Şekil 5.3 Demirtaş Açık Depo Sahası Gaz Kontrol Kuyusu.....	74
Şekil 5.4 Aylara Göre Elektrik Üretimi	77
Şekil 5.5 Harmandalı Düzenli Depo Alanının Kabul Ettiği Atıkların Miktarının Dağılımı (TİR, 1997)	85
Şekil 5.6 Yakacak Açık Depo Sahası İçin Tahmin Edilen Gaz Miktarı.....	91
Şekil 5.7 İstanbul Yakacak Açık Depo Sahası Kuyu Yerleşim Planı.....	93
Şekil A.1 Demirtaş Açık Depo Sahası'nın Genel Görünümü	115
Şekil A.2 Demirtaş Açık Depo Sahası Düşey Gaz Kuyusunun Görünümü.....	115
Şekil A.3 Demirtaş Açık Depo Sahası'nın Kollektör Merkezinin Görünümü	116
Şekil A.4 Demirtaş Açık Depo Sahası Kondensat Tutucunun İçinin Görünümü	116
Şekil A.5 Demirtaş Açık Depo Sahası Kondensat Tutucunun Genel Görünümü....	117

Şekil A.6 Demirtaş Açık Depo Sahası Bloverlar Ve O ₂ Ve CH ₄ Ölçüm Cihazının Görünümü	118
Şekil A.7 Demirtaş Açık Depo Sahası Jeneratörlerinin Görünümü.....	119
Şekil A.8 Demirtaş Açık Depo Sahası Jeneratör Kumanda Panosunun Görünümü	119
Şekil A.9 Demirtaş Açık Depo Sahası Yakma Bacasının Genel Görünümü	120
Şekil A.10 Demirtaş Açık Depo Sahası Durum Haritası	121
Şekil B.1 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Düşey Gaz Kuyusunun Görünümü.....	123
Şekil B.2 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Kollektör Merkezlerinden Birinin Görünümü	123
Şekil B.3 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Bloverlarının Görünümü.....	124
Şekil B.4 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Gaz Soğutucunun Görünümü	124
Şekil B.5 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Jeneratörün Görünümü	125
Şekil B.6 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Yakma Bacası Ve Tesisin Genel Görünümü	125
Şekil B.7 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Blover Ve Gaz Yakıcı Kontrol Panosu	126
Şekil B.8 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Trafoların Görünümü.....	126
Şekil B.9 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Seddenin Görünümü	127
Şekil B.10 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Sızıntı Suyunun Toplandığı Noktanın Görünümü	127
Şekil B.11 İstanbul Kemberburgaz Açık Depo Sahası Jeneratör Binasının Planı	128
Şekil B.12 İstanbul Kemberburgaz Açık Depo Sahası Kuyu Yerleşim Planı.....	129
Şekil B.13 İstanbul Kemberburgaz Açık Depo Sahası Kuyu Şekli	130
Şekil B.14 İstanbul Kemberburgaz Açık Depo Sahası Isı üretim ve Sera Tesislerinin Şeması	131
Şekil C.1 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Gaz Toplama Bacalarının Genel Görünümü	133
Şekil C.2 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Düşey Gaz Kuyusunun Görünümü	133
Şekil C.3 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Gaz Toplama Merkezinin Görünümü	134
Şekil C.4 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Kondensat Tutucunun Görünümü.....	134
Şekil C.5 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Bloverlarının Görünümü	135
Şekil C.6 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Kontrol Panosunun Görünümü....	135
Şekil C.7 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Yakma Bacasının Görünümü	136
Şekil C.8 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Sızıntı Suyu Toplama Lagününün Görünümü	136
Şekil C.9 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Sızıntı Suyu Kimyasal Arıtma Tesisinin Görünümü	137
Şekil C.10 Harmandalı Düzenli Depo Alanı Kuyu Kesiti	138
Şekil C.11 Harmandalı Düzenli Depo Alanı Kuyu Kesiti	139
Şekil C.12 Harmandalı Düzenli Depo Alanı Kollektör Kesiti.....	140
Şekil D.1 Yakacık Açık Depo Sahası Gaz Yakma Tesisinin Genel Görünümü.....	142
Şekil D.2 Yakacık Açık Depo Sahası Gaz Kuyusunun Görünümü	142
Şekil D.3 Yakacık Açık Depo Sahası Gaz Toplama Merkezinin Görünümü.....	143
Şekil D.4 Yakacık Açık Depo Sahası Bloverların Bulunduğu Konteynerin Genel Görünümü	143
Şekil D.5 Yakacık Açık Depo Sahası Kondensat Tutucunun Görünümü.....	144
Şekil D.6 Yakacık Açık Depo Sahası Kumanda Panosunun Görünümü	145
Şekil D.7 Yakacık Açık Depo Sahası Yakma Bacasının Görünümü.....	146

Şekil D.8 Yakacık Açık Depo Sahası Depo Gazı Numune Alma Noktalarının Ve Seyyar Gaz Ölçüm Cihazının Görünümü	147
Şekil D.9 Yakacık Açık Depo Sahası Sızıntı Suyu Toplama Havuzunun Görünümü	147
Şekil D.10 Yakacık Açık Depo Sahası Çevresel Gaz Hendeğinin Görünümü	148



ÖZET

Katı atık depo alanları atıksu arıtma tesislerindeki anaerobik çürütücülere benzer şekilde çalışan biyokimyasal reaktörlerdir. Bir depo alanında depo gazı, katı atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler sonucu ayrışması neticesinde ortaya çıkar. Depo gazı ortalama %55 CH₄ içeriği ile önemli bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmanın amacı, katı atık depo alanlarında oluşan depo gazının özellikleri, oluşma mekanizması ile toplama ve kullanma teknolojilerinin incelenerek, Türkiye'deki depo gazı geri kazanma tesislerinin genel bir değerlendirmesinin yapılmasıdır. Bu kapsamda Türkiye'deki katı atık depo alanlarından geri kazanılabilecek depo gazı miktarı bulunarak, ülke genelindeki enerji potansiyeli ile ilgili bir tahmin de yapılmıştır.

Tezin birinci bölümünde, çalışmanın önemi, amacı ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde, depo alanındaki katı atıkların ayrışma prosesleri incelenerek, bu prosesler neticesinde oluşan sızıntı suyu ve depo gazı özellikleri değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde, depo alanlarında üretilen gazın miktarını tahmin için uygulanan yöntemler ve bu konudaki kinetik modeller incelenmiş ve farklı yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır. Dördüncü bölümde, depo gazının yayılması geri kazanma sistemleri ve depo alanını kullanma yöntemleri açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, Türkiye'de depo gazını geri kazanarak enerji elde edilen Bursa Demirtaş ve İstanbul Kemerburgaz Açık Depo Sahaları ile kirletici emisyonları azaltmak amacıyla gazı toplayıp yakıcı da yakan İzmir Harmandalı Düzenli Depo Alanı ve İstanbul Yakacık Açık Depo Sahaları incelenmiştir. Türkiye'deki büyük illerin depo gazı üretim potansiyelleri hesaplanarak geri kazanılabilecek enerji miktarı hesaplanmıştır. Dünya genelindeki durum değerlendirilmiş ve dünya genelinde depo gazını kullanan ülkelerin tesislerinden örnekler verilmiştir. Mevcut uygulamalar ışığında Türkiye'de öncelikle nüfusu 500.000 den fazla olan illerin evsel katı atıklarından üretilen depo gazının toplanarak enerji geri kazanımının, ortalama geri ödeme süresi 5 yıldan az olan oldukça fizibil bir teknolojik yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır.

THE EVALUATION OF LANDFILLS GAS RECOVERY PLANTS IN TURKEY

SUMMARY

Solid waste landfills are like biochemical reactors such as wastewater treatment plant's digesters. In a landfill, landfill gas is released as the result of the degradation of solid wastes by physical, chemical and biological processes. Landfill gas is an important energy source with 55 % CH₄ content. The aim of this study is to examine landfill gas in respect to characteristics, producing mechanisms, collecting and exploiting technology in order to a general evaluation of landfill gas recovery plants in Turkey. To this extent, we have found the amount of recovered gas from landfills in Turkey and a prediction on the energy potential for the whole country was made.

In the first section of the thesis; the importance, aim and extent of the study was explained. In the second section by means of examining the degradation processes of solid wastes, the produced leachate and landfill gas characteristics of this processes were evaluated. In the third section, the methods for predicting the amount of produced gas and the kinetic models on this subject were inspected and the different methods were compared. In the fourth section, the migration of landfill gas, recovery systems and exploiting methods of landfill gas were explained.

In the fifth section, the investigation of Bursa Demirtas and Istanbul Kemerburgaz Open Dumping Site which obtain energy from landfill gas recovery and Izmir Harmandali Sanitary Landfill and Istanbul Yakacık Open Dumping Site where for reducing pollutant emissions, recovered landfill gas are flared. By calculating the landfill gas potential for big cities in Turkey the potential recovered energy amounts were estimated. The situation of landfill gas usage around the world has been evaluated and samples were given from landfill gas exploiting countries. The light of existing applications, considering household solid waste for cities of population greater than 500.000 in Turkey, it is concluded that converting recovered landfill gas into energy is a feasible technology with a investment payback of less than 5 years.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Önemi

Düzenli depo alanları ve çöplüklere dökülen katı atıkların biyokimyasal ayrışması sonucu metan gazı açığa çıkar. Bu gaz patlama tehlikesi, koku problemi yanında etkili bir sera gazıdır. Genelde katı atık depo alanlarına gaz toplama kuyuları yerleştirilerek oluşturulan basit bir toplama sistemi ile depo gazından temiz bir enerji kaynağı olarak yararlanılabilir. Depodan geri kazanılan gazın yaklaşık %55'si metan, %45'si karbondioksittir. Bu gaz elektrik veya buhar elde etmek için kullanılabilir, doğal gaz kalitesine getirilebilir veya araçlar için likit yakıt (LNG) üretmek üzere kullanılabilir.

Depo gazı bir enerji kaynağı olduğu için önemli bir kazanç kaynağıdır. Birçok depo alanı ve çöplük için üretilen gazın değeri geri kazanma için yapılan yatırım maliyetinden çok daha fazladır. Dünyada giderek artan sayıda depo alanında metan gazı kazanç getirecek şekilde geri kazanılmaktadır. Bu şekilde depo alanları yıllarca temiz ve karlı bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedirler.

Depo gazının geri kazanılmasının global iklim değişikliklerine faydası yanında, koku ve sis oluşturan gazların azaltılması ile bölgesel hava kalitesi de artar. Depo gazı geri kazanımı aynı zamanda sahadaki patlama tehlikesi riskini de azaltır.

Gelişmiş veya gelişmekte olan birçok ülkede depo alanları veya çöplük olarak tanımlanan katı atık dökme alanları mevcuttur. İyi işletilen depo alanlarında daha fazla metan üretilir. Böyle sahalar gazdan enerji elde etme projeleri için umut verici bölgelerdir.

Metan gazı etkili bir sera gazı ve çevre kirleticisidir. Metan doğal gazın birincil bileşeni ve kıymetli bir enerji kaynağıdır. Küresel ısınmayı azaltmak amacıyla çeşitli metan emisyonu kontrol stratejileri öngörülmektedir.

Atmosferdeki metan konsantrasyonu çok hızlı olarak yükselmektedir. Metanın atmosferik konsantrasyonları yılda yaklaşık %6 civarında artmaktadır. Atmosferdeki metan nispeti son iki yüzyılda katlanarak artmaktadır. Buna mukabil, CO₂'in atmosferik konsantrasyonu çok daha az yılda yaklaşık % 0,4 civarında artmaktadır.

Metan emisyonlarındaki azalmalar kısa zamanda önemli faydalar sağlayacaktır. Metanın diğer sera gazlarından daha kısa bir hayat süresi vardır. Metan atmosferde bozunmadan takriben 11 yıl atmosferde bozulmadan kalır, buna karşılık karbondioksit 120 yıl bozunmadan kalabilir.

Metan emisyonlarının kontrolü birçok fayda sağlanacaktır. Atmosfere yayılan metan yeniden geri kazanılıp kullanılabilir ve böylece miktarı önemli miktarda azaltılabilir.

Metan emisyonlarını azaltmak için iyi tanıtılmış teknolojiler ticari olarak mevcuttur. Önemli miktarda emisyon azalmaları ve ekonomik faydalar sağlamakla birlikte; mali, teknik, hukuki, kurumsal ve diğer engellerden dolayı bu teknolojilerin hala dünyada uygun kullanımı tam olarak sağlanamamıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Depo gazının yönetiminde öncelikli olarak amaç metan gazının zararlı etkilerini ortadan kaldırmak olmakla birlikte iyi işletilen depo alanlarından geri kazanılan metan gazı bir kazanç kaynağı olabilmektedir. Bir depo gazı geri kazanma tesisinin verimli çalışması tüm gaz toplama sistemi uygun tasarlanmış olmasına bağlıdır. Verimli bir gaz geri kazanma tesisi tasarlayabilmek için depo alanına çöpün dökülmesinden itibaren gerçekleşen tüm proseslerin çok iyi anlaşılması gerekir.

Bu tez çalışmasında depo alanlarından elde edilen depo gazının özellikleri, toplanması ve kullanılma metotları incelenmiştir. Ülkemizde metan gazını toplayarak gaz yakıcıda yakan İstanbul Yakacık Açık Depo Sahası gaz tesisleri ve İzmir Harmandalı Düzenli Depolama Alanı gaz tesisleri ile enerji kaynağı olarak kullanmak üzere kurulan Bursa Demirtaş Açık Depo Sahası gaz tesisleri ve İstanbul Kemerburgaz Açık Depo Sahası gaz tesisleri tanıtılmıştır. Her ne kadar bir gaz geri kazanma tesisinin tasarımında teorik verilerden yararlanılıyor olsa da pratikteki

uygulamaları incelemek de yeni kurulacak tesislerin olabilecek muhtemel problemlerini minimuma indirir.

Türkiye genelinde nüfusu 500.000'den fazla olan illerdeki depo gazı potansiyeli incelenmiş olup dünyada kurulmuş tesislerden örnekler verilerek ülkemizin durumunun dünya genelinde bir karşılaştırması yapılmıştır. Türkiye'nin bugün itibarıyla depo gazı teknolojisini geriden ve yavaş takip ettiği görülmüştür.



2. DEPO ALANLARINDA ÇÖPÜN AYRIŞMASININ PRENSİPLERİ

2.1 Giriş

Düzenli depolama alanlarında depolanan katı atıklar çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik prosesler ile ayrıştırılırlar. Ayrışmanın neticesinde katı, sıvı ve gaz halinde yan ürünler meydana gelir. Çöpün içerisindeki organik maddelere etkiyen biyolojik prosesler çöpün döküm yerine dökülmesinden hemen sonra faaliyete başlar. Fiziksel kimyasal ve biyolojik prosesler birbirlerine bağlı olarak ilerledikleri için beraber düşünülmelidirler. Örneğin; fiziksel ve kimyasal prosesler, biyolojik faaliyetler için gerekli nutrientlerin mevcudiyetini etkilerler (McBean ve diğ., 1995).

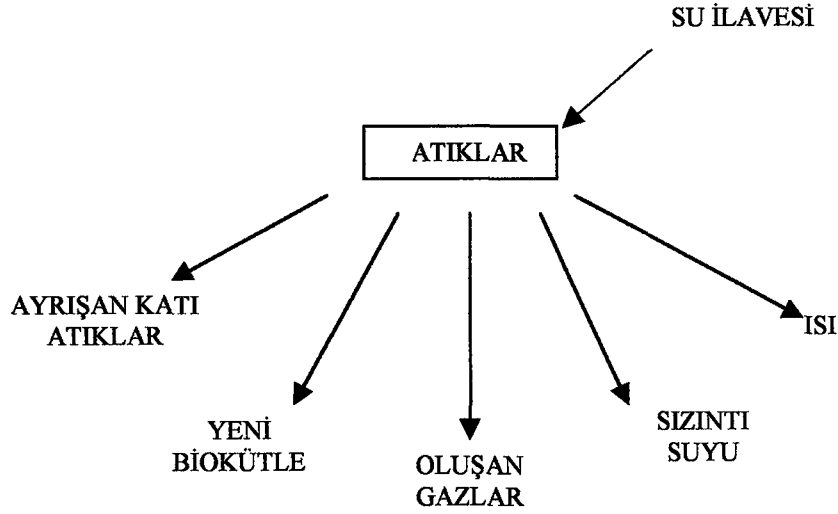
Katı atıkların fiziksel ayrışması, çöpün bileşenlerinin fiziksel olarak küçülmesi ve yıkanma ile oluşan su hareketi ile çökmesi ve yer değiştirmesi ile meydana gelir. Saha kapasitesine ulaşıldığında basınç düşümlerinin bir sonucu olarak çöp partikülleri bir akım oluşturur ve konsantrasyon düşümlerinin bir sonucu olarak da difüzyon meydana gelir.

Çöpün ayrışması ile sonuçlanan kimyasal prosesler hidroliz, çözünme/çökeltme, sorpsiyon/desorpsiyon ve iyon değiştirmedir. Kimyasal ayrışma genellikle özelliklerin değişmesi ve çöp bileşenlerinin daha büyük hareket kabiliyeti kazanması ile sonuçlanır.

Fiziksel ve kimyasal prosesler çöpün ayrışmasında önemli prosesler olmakla birlikte en önemli proses biyolojik ayrışma prosesidir. Özellikle biyolojik ayrışma metan üretimini gerçekleştiren yegane prosestir.

Biyolojik ayrışma çöpün içerisinde doğal olarak bulunan bakteriler ile gerçekleşir, çeşitli zincirleme reaksiyonlar ile çöprü son ürünlerine ayırtıran kompleks bir prosestir.

Katı atık deposunda fiziko-kimyasal ve biyolojik ayrışma sonucu oluşan ürünler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Katı Atık Ayrışmasının Yan Ürünleri (McBean ve diğ., 1995).

2.2 Organik Maddeler İçin Ayrışma Modeli

Çöp ayrışması esnasında belirli bileşikler aerobik olarak ayrışırlar. Oksijen temini tükendiğinde fakültatif ve anaerobik mikroorganizmalar faaliyete geçerler. Geliştirilmiş diyagram Şekil 2.2’de gösterilmiştir (McBean ve diğ., 1995).

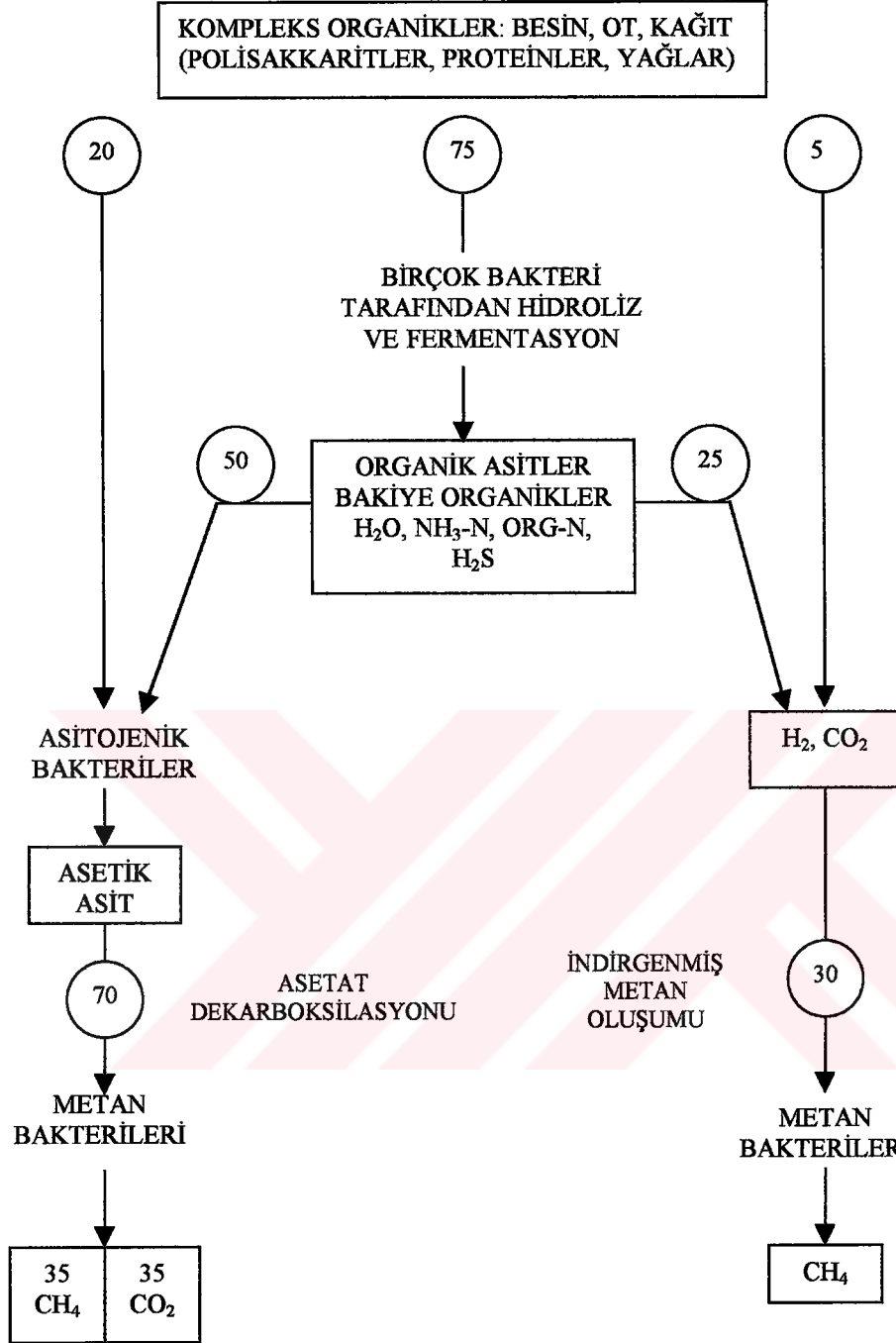
Ayrışmanın aerobik fazı boyunca, organik madde mikroorganizmalar tarafından karbondioksit ve suya ayrışır ve oksijen kullanılır. Aerobik ayrışmaya bir örnek karbonhidratların karbondioksit ve suya oksidasyonudur.



1 Molar oksijen kullanılmasına karşılık 1 Molar karbondioksit oluşur. Karbonhidratlar ve su sırasıyla katı ve sıvıdır ve oluşan gaza kıyasla ihmal edilebilir bir hacimde yer işgal ederler. Net sonuç; çöp yığını içindeki oksijenin CO₂ ile yer değiştirmesidir.

Yağlı maddeler aynı şekilde sterik asidin Denklem 2.2’de görülen reaksiyonuna göre okside olurlar.

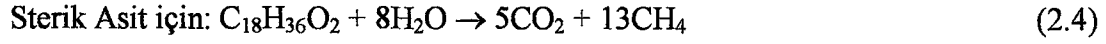
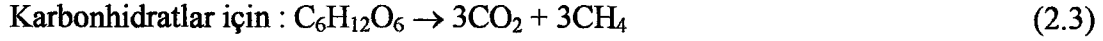




Şekil 2.2 Organik Madde İçin Ayrışma Modeli (Daire içindeki sayılar karbon yüzdeleri göstermektedir.) (McBean ve diğ., 1995)

Aerobik ayrışma CO₂, ısı ve üretilen organik maddelerle kolay bir şekilde karakterize edilebilir. Aerobik ayrışma periyodu çöpün içindeki oksijenin sınırlı olmasından dolayı kısadır. Sıvı atıkların mikrobiyal bozunması depo alanındaki kimyasal aktivitelerin artmasına sebep olacak organik asitleri içerir.

Bu prosesler tüm oksijeni tükettiklerinde, anaerobik aktivite başlar. Denklemler 2.3 ve 2.4'e göre CH₄ ve CO₂ oluşur.



Denklemlerde gösterildiği gibi, katılar ve sıvılar kullanılır ve 6-18 hacim gaz üretilir. Bu reaksiyonlar neticesinde basınç artar.

Metan ve karbondioksit üretilirken azot giderilir. Şekil 2.3'de de gösterildiği gibi çok uzun bir ayrışma periyodunun sonucunda hacimsel olarak gaz bileşiminin %40-70'ı metan, %30-60'ı karbondioksit ve %1'den daha azı da diğer gazlardır. Metanojenik fazda CO₂ ve CH₄ üretilir, pH nötr olur veya artar ve karboksilik asit konsantrasyonunda bir düşme olur. Daha az sızıntı suyu daha düşük sıcaklık meydana gelir.

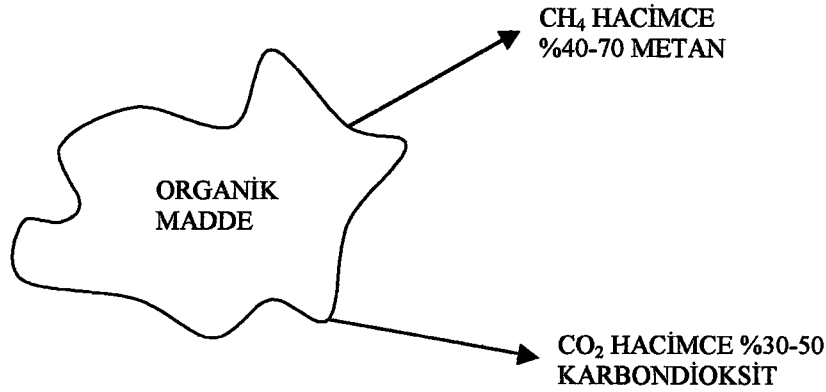
Takip eden yıllar sonunda çöpün içindeki ayrışabilir organik maddelerin seviyesinde bir azalma olmasına karşılık metan oluşum hızında bir yavaşlama olur. Bununla birlikte oluşan gazın bileşimi sabit kalır ve sızıntı suyu düşük organik ve inorganik konsantrasyonlarla nötr pH seviyesine ulaşır. Oluşan gaz öncelikle CO₂ ve CH₄ olmak üzere eser miktarlarda merkaptanlar, solventler, hidrojen sülfür ve hidrojen (bunlar hacimsel olarak alt bileşenlerin toplamının %5'inden daha azdır), ilave olarak su buharı ve hidrokarbonlardır.

2.3 Sızıntı Suyu Özellikleri

2.3.1 Sızıntı Suyunun Kaynağı

Depo alanlarında sızıntı suyu oluşmasını açıklamak üzere birçok hipotez ortaya konulmuştur (Gendebien ve diğ., 1992). Sızıntı suyu, suyun depo alanı boyunca süzülmesinden kaynaklanan kirlenmiş sıvıdır. Bu sıvıların kaynağı, yağmur suları, nem ve depo alanına dökülen atıklardaki diğer sıvılar ve de ayrışmanın yan ürünleridir. Sızıntı suyunun kimyasal ve biyolojik özellikleri depo alanında depolanan atıkların yapısına ve ayrışmanın derecesine bağlıdır. Yağış, sıcaklık,

nemlilik, yüzeysel akış, yeraltı suyu göçü ve depo alanının yaşı sızıntı suyu miktarını belirler (Rhyner ve diğ., 1995).



Şekil 2.3 Anaerobik Ayrışma İle Açığa Çıkan Gaz Bileşenleri (McBean ve diğ., 1995)

Yeni bir depo alanında sızıntı suyunun büyük bir kısmı doyma kapasitesine ulaşılan kadar çöp tarafından tutulur. Doyma kapasitesi atığın yerçekimi kuvvetine karşı tutabileceği maksimum su miktarıdır. Depo alanının başlangıç kademelerinde sızıntı suyu esasen depo alanındaki kanallar boyunca hareket eden bir sıvı olmakla beraber daha ileri kademelerde içerisindeki türlerin konsantrasyonu ve biyolojik maddeler önemli miktarda artar (Rhyner ve diğ., 1995).

Gerçekte, 1 kg katı atık 0,09'dan 0,16-0,27 litre'ye kadar suyu tutabilir. Hatta bu değer 0,40-0,65 litre'ye kadar çıkabilir. Bu değerlerin üzerinde sızıntı suyu oluşur (Gendebien ve diğ., 1992).

Sızıntı suyunun depo alanını terk etmesi durumunda yer altı suyu için bir tehdit unsuru olur. Bu tehlikenin yapısını tam olarak anlayabilmek için bölgenin hidrojeolojik yapısı ile ilgili bilgi gereklidir. Depo alanı bölgesi seçilirken, yeraltı suyunun sızıntı suyundan kirlenmesi ihtimali minimize edilerek depo alanı işletimi tasarlanmalıdır (Rhyner ve diğ., 1995).

2.3.2 Sızıntı Suyu Bileşimi

Sızıntı suyu bileşimi depo alanında gelişen mikrobiyal aktivitenin evrimini yansıtır. Oluşan sızıntı suyu kompleks ve su ortamındaki çözülebilir organik, inorganik ve mikrobiyal bileşenlerin ve askıda katıların son derece değişken bir karışımıdır.

Sızıntı suyu bileşimi çok değişkendir. Depo alanlarından çıkan sızılarda yapılan analizler 100 kadar toksik bileşenin bulunabileceğini göstermiştir. Sızıntı sularında rastlanan eser organik bileşenler alifatik ve aromatik asitleri, fenoller ve terpene bileşikler ihtiva eder. Klorlu ve klorsuz hidrokarbonlar, azot ihtiva eden bileşikler gibi minör bileşenlere de ayrıca rastlanabilir (Gendebien ve diğ., 1992).

Sızıntı suyu özelliklerini depo alanında depolanan atıkların özellikleri belirler. Eğer atıklar organik kökenli ise ayrışma prosesleri normal olarak devam eder. Ancak kül veya çamurdan oluşan sızıntı suyu oldukça farklıdır. Örneğin kül; metal ve metal olmayan oksitlerden oluşur. Sodyum, potasyum, kalsiyum gibi metal oksitlerin çoğu suda çözünebilir. Bunlar suda çözündüğü zaman hidroksitler oluşur ve pH yükselir (Rhyner ve diğ., 1995).

Biyolojik ayrışma proseslerinin bir sonucu olarak evsel atık depo alanlarındaki sızıntı suyunun BOI ve KOI'si çok yüksek olur. Biyolojik ayrışmadan başka fiziksel ve kimyasal mekanizmalar da mevcuttur. Sızıntı suyu toplanmadığı ve arıtılmadığı takdirde yeraltı suyu için tehlike arz eder.

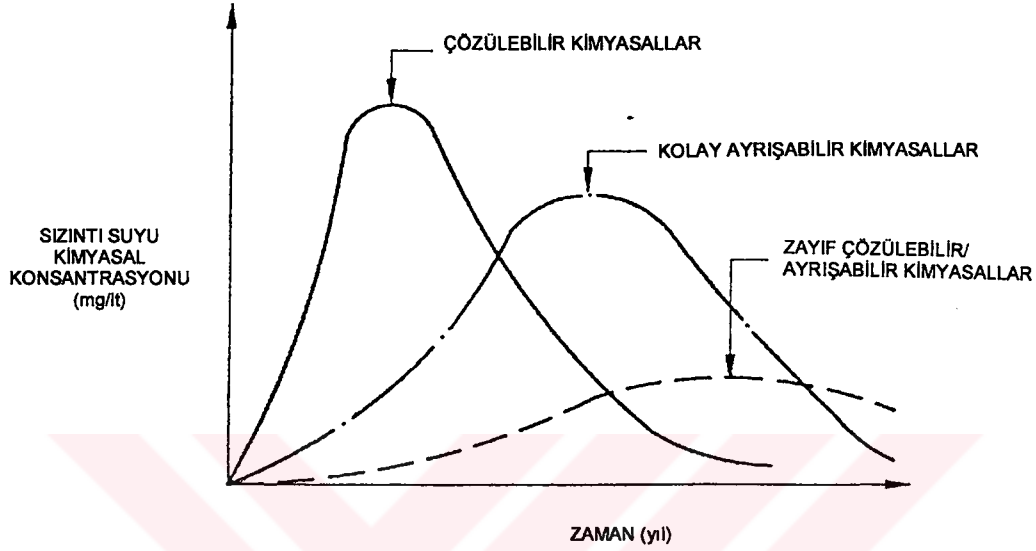
Sızıntı suyu bileşimini etkileyen en önemli aktivite depo alanı yaşıdır. 2-5 yıllık sızıntı suları genç sızıntı sularıdır. BOI₅/KOI oranı yüksek, pH düşük, daha iyi ayrışabilirlik ve düşük ağır metal konsantrasyonuna sahiptirler. Toplam çözünmüş katı madde konsantrasyonu depo alanı yaşı ile azalır (Gendebien ve diğ., 1992).

2.3.2.1 Geçici Değişmeler

Sızıntı suyu içerisindeki kimyasal maddeler, depo alanında gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktivitelere bağlı olarak zamanla değişir. Şekil 2.4'de idealize edilmiş sızıntı suyu konsantrasyonunun oluşumu eğrileri gösterilmiştir. Bu eğriler teoriktir ancak geçici değişimleri ifade eder (McBean ve diğ., 1995).

Saha kapasitesine ulaşılan kadar sızıntı suyu akımları gecikir. Sızıntı suyu oluşması için çöpün belli bölgelerinde saha kapasitesine ulaşılmış olması gerekebilir. Ayrıca bazı sızıntı suyu akımları kısa devre ile oluşur. Genelde saha kapasitesine 1-2 yılda ulaşılır. Saha kapasitesine ulaşıldıktan sonra sızıntı suyundaki değişimler mevsimsel olarak gerçekleşir. Bunun sebebi iklimsel olaylardaki değişimlere karşılık sızma/süzülme oranının değişmesidir .

Sızıntı suyunun kimyasal konsantrasyonlarında zamana bağlı değişimler de ayrıca meydana gelir. Çöpün içindeki kimyasal maddelerin kaynağı sınırlıdır.



Şekil 2.4 İdealize Edilmiş Sızıntı Suyu Konsantrasyonunun Oluşumu Eğrileri (McBean ve diğ., 1995).

2.3.2.2. Genç Sızıntı Suları

İlk yıllarda sızıntı suyu kolayca ayrışabilen organik maddeler ihtiva eder. Uçucu yağ asitlerinin mevcudiyeti sebebi ile bu sular asidik olma eğilimindedir. Genellikle pH 6-7 civarındadır. Kuru depo alanlarında daha düşük de olabilir. Genç sızıntı suları kompleks organik maddelerin (selüloz) ayrışmasından ve basit çözünmüş organiklerden (organik asitler gibi) oluşur (McBean ve diğ., 1995).

Tablo 2.1’de genç depo alanı sızıntı sularının kimyasal konsantrasyonları gösterilmiştir. Kanalizasyon ve yeraltı suyu değerleri karşılaştırma amacıyla verilmiştir.

Zamanla sızıntı suyu basit çözünmüş organiklere (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2O gibi gazlar ve biokütle) dönüşür ve kuvveti azalır.

Tablo 2.1 Genç Depo Alanı Sızıntı Suyunun Tipik Kimyasal Konsantrasyonları (McBean ve diğ., 1995).

Parametre	Sızıntı Suyu Konsantrasyonu (mg/L)	Tipik Evsel Atıksu Konsantrasyonu (mg/L)	Tipik Yeraltı Suyu Konsantrasyonu (mg/L)
KOI	20,000-40,000	350	20
BOI ₅	10,000-20,000	250	0
TOK	9,000-15,000	100	5
Uçucu yağ asidi	9,000-25,000	50	0
NH ₃ -N	1,000-2,000	15	0
Org-N	500-1,000	10	0
NO ₃ -N	0	0	5

2.3.2.3 Yaşlı Sızıntı Suları

4-5 yıl geçtikten sonra sızıntı suyunun pH'sı 7-8'e yükselir. Kolayca ayrışabilen organik maddelerin tüketimi ve gazların oluşumu neticesinde değişiklikler meydana gelir. Geriye zayıf ayrışabilen organik maddeler kalır. Tablo 2.2'de yaşlı sızıntı suyunun tipik kimyasal konsantrasyonları verilmiştir (McBean ve diğ., 1995).

Azot seviyeleri sızıntı suyunun yaşını bulmada oldukça iyi göstergedir. Amonyak azotu (NH₃-N) ve organik azot (Org-N) organik maddelerin ayrışması ile üretilir. Bunlar anaerobik ortamda karalıdır. Nitrat Azotu (NO₃-N) anaerobik ortamda tüketilir. Değerler Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Yaşlı Depo Alanı Sızıntı Suyunun Tipik Kimyasal Konsantrasyonları (McBean ve diğ., 1995)

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
KOI	500-3000
BOI ₅	50-100
TOK	100-1000
Asetik Asit gibi Uçucu Yağ Asitleri	50-100

Tablo 2.3 Çeşitli Kaynaklardan Gelen Azot Bileşenlerinin Konsantrasyonları (McBean ve diğ., 1995)

Örnek	Yaş (yıl)	NH ₃ -N (mg/L)	Org-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)
Kanalizasyon	-	15	10	0
Yeraltı suyu	-	0	0	5
Genç sızıntı suyu	1	1000-2000	500-1000	0
Çeşitli bölgeler (Almanya)	12	1100	-	-
Du Page Co. (Illinois)	15	860	-	-
Rainham (UK)	24	17	-	-
Waterloo (Kanada)	35	12	-	-

2.3.3 Sızıntı Suyunun Hareketi

Depo alanından kaza ile veya tasarım hatası sebebiyle kaçan ve yeraltı suyuna ulaşan sızıntı suyu tüm yeraltı suyu hacmi boyunca seyrelmez ama yeraltı suyu boyunca bir kütle oluşturur. Bu kütle esasen yeraltı suyu ile beraber hareket eder (Rhyner ve diğ., 1995).

Sızıntı suyunun yeraltı suyu ile seyrelmesinin dışında başka mekanizmalar da bu kütle içindeki bileşenlerin konsantrasyonunu azaltır. Toprak, askıda katılar ve patojenler için filtre görevi yapar. Bu filtrasyonun verimliliği toprağın tipine ve kalınlığına bağlıdır. Topraktaki mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen mikrobiyal aktivitede bazı organik ve inorganik kirleticiler kullanılabilir. Ağır metal iyonları gibi bazı iyonlar pH şartlarını değiştirerek bu kütle içinde çökebilir. Toprak partiküllerinde anyon ve katyonlar adsorbe edilebilir. Sızıntı suyunda iyonik değişme reaksiyonları gerçekleşebilir. Değişme reaksiyonları killi topraklarda özellikle önemlidirler.

2.3.4 Sızıntı Suyu Oluşmasını Etkileyen Faktörler

Sızıntı suyu oluşması kompleks bir prosesdir ve birçok bağımsız faktöre bağlıdır. Sızıntı suyu hacmi esasen iklimsel, hidrolojik ve hidrodinamik şartlar ile belirlenir (Gendebien ve diğ., 1992).

Sızıntı suyunun miktar ve kalitesi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar çöpün miktar ve bileşimi ve yoğunluğu, depo alanı yaşı, bölgenin hidrojeolojisi, iklim ve yağmurlardır. Depo alanına atıksu çamuru dökülmesi durumunda veya atıklar balya yapıldığında sızıntı suyu artar. Depo alanı işletme şekli sızıntı suyu özelliklerini etkiler.

2.3.5 Sızıntı Suyu Oluşmasının Problemleri

Sızıntı suyu ile yüzeysel ve yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmesi en önemli konudur. Kanalizasyona deşarj edilmesi durumunda sistemin aşırı yüklenmesine ve H₂S problemine sebep olur. Yüzeysel sulara deşarj edildiğinde oksijenin kısa zamanda tüketir ve 1 mg/L kadar düşük değerlerde dahi amonyak zehirliliği yapar. Lagünlerde depolandığında ise H₂S sebebiyle bölgede büyük bir koku problemi oluşturur (Nebioğlu, 1998). Sızıntı suyunun kontrolü dört tip kontrolle yapılabilir: hacim kontrolü, bileşen kontrolü, artıma ve nihai bertaraf. Depo alanlarında geçirimsiz tabaka veya suni astarlama maddesi kullanmak da sızıntı suyunun çevresel zararlarını azaltır (Gendebien ve diğ., 1992).

2.4 Depo Gazının Özellikleri

2.4.1 Depo Gazının Bileşimi ve Özellikleri

Depo gazı, büyük miktarlarda bulunan başlıca gazlarla, az miktarda bulunan eser gazlardan oluşur. Başlıca gazlar evsel katı atıkların organik ayrışması ile oluşur. Eser gazlar az miktarda bulunmalarına rağmen toksik olabilirler ve halk sağlığı için tehlike arz ederler (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

2.4.1.1 Başlıca Depo Gazı Bileşenleri

Depo alanlarında bulunan gazlar amonyak CH₄, CO₂, CO, H₂, H₂S, NH₃, N₂ ve O₂'dir. Bu gazların depo alanında bulunma oranları Tablo 2.4'de belirtilmiştir. Tablo 2.5'de bu gazların moleküler ağırlıkları ve yoğunlukları verilmiştir. Metan ve karbondioksit, ayrışabilen evsel katı atıkların anaerobik ayrışması neticesinde üretilen başlıca gazlardır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Tablo 2.4 Depo Gazında Bulunan Tipik Bileşenler Ve Depo Gazının Özellikleri
(Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Bileşen	Yüzde (Kuru hacim esas alınarak)¹
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0.1-1.0
Sülfür, merkaptan vb	0-1.0
Amonyak	0.1-1.0
Hidrojen	0-0.2
Karbonmonokit	0-0.2
Eser bileşenler	0.01-0.6
Özellik	Değer
Sıcaklık °C	68-88
Özgül ağırlık	1.02-1.06
Nem muhtevası	Doygun
Isı Değeri, (kW/m ³)	14900-20500

¹ Gerçek yüzde dağılımı depo alanı yaşı ile değişmektedir.

Metanın havadaki konsantrasyonu % 5-15 arasında olduğu zaman patlayıcı olur. Metan konsantrasyonu bu kritik seviyeye ulaştığı zaman depo alanında sınırlı miktarda oksijen bulunduğundan dolayı patlama tehlikesi olur. Bununla birlikte, patlama seviyesindeki metan karışımı; depo dışına göç eden metan gazı ve havanın karışmasıyla oluşur. Bu gazların sızıntı suyundaki tahmin edilen konsantrasyonu sızıntı suyu ile temas halinde olan gaz fazındaki konsantrasyonuna bağlıdır. Çünkü karbondioksit sızıntı suyunun pH'ını etkileyecektir.

2.4.1.2 Eser Depo Gazı Bileşenleri

Eser depo gazı bileşenlerinin büyük bir çoğunluğu uçucu organik (VOCs) bileşikler sınıfına girer. Eser gazların sızıntı suyunda mevcut olması sızıntı suyu ile temas halinde bulunan gaz konsantrasyonuna bağlıdır. Eski ve VOCs ihtiva eden evsel ve endüstriyel atık dökülmesini kabul eden depo alanlarında çıkan depo gazında VOCs konsantrasyonu önemli miktardadır. Buna karşılık tehlikeli atık dökülmesinin yasaklandığı daha yeni depo alanlarında VOCs konsantrasyonu oldukça düşüktür (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Tablo 2.5 Standart Koşullar Altında Düzenli Depo Alanında Bulunan Gazların Moleküler Ağırlığı, Yoğunluğu ve Özgül Ağırlığı (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Gaz	Formül	Molekül Ağırlığı	Yoğunluk (g/L)	Özgül Ağırlık kg/m ³
Hava		28,97	1,2928	1,2943
Amonyum	NH ₃	17,03	0,7708	0,7721
Karbondioksit	CO ₂	44,00	1,9768	1,9783
Karbonmonoksit	CO	28,00	1,2501	1,2511
Hidrojen	H ₂	2,016	0,0898	0,0897
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	34,08	1,5392	1,5394
Metan	CH ₄	16,03	0,7167	0,7176
Azot	N ₂	28,02	1,2507	1,2527
Okisjen	O ₂	32,00	1,4289	1,4289

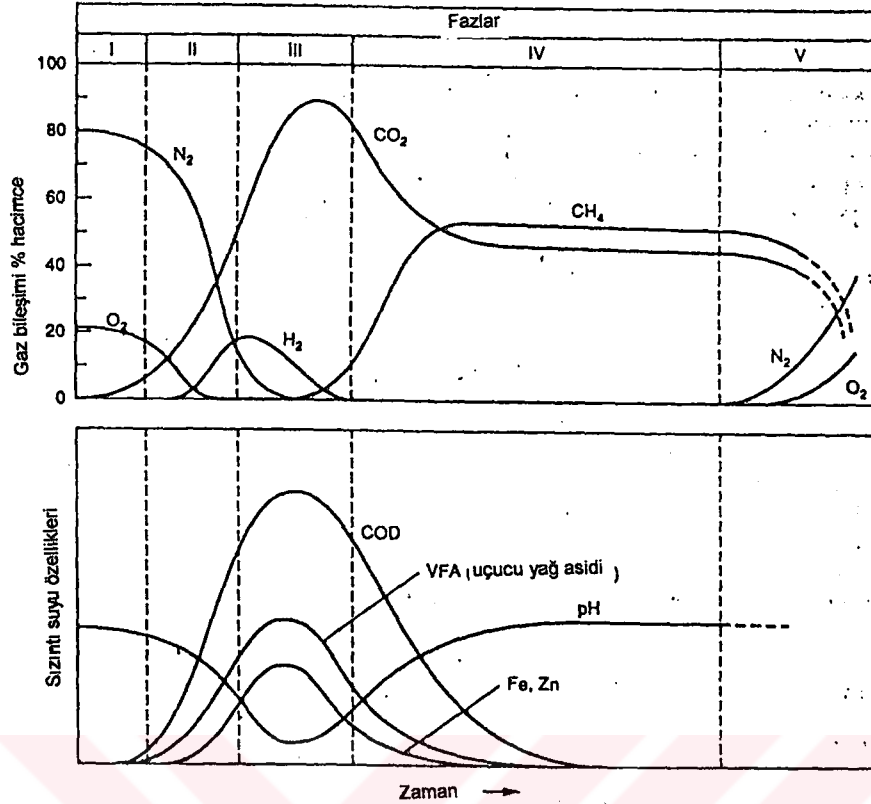
Depo alanlarındaki eser bileşenler iki temel kaynaktan sağlanır. Bu eser bileşenler depo alanına giren atıklarla girer veya saha içinde gerçekleşen biyotik ve abiyotik reaksiyonlarla üretilir. Depo gazının içinde bulunan eser gazlar sıvı formda gelen atıklarla karışıktır ancak bunlar uçucu olmaya meyillidirler. Uçucu olma eğiliminin sıvının buhar basıncıyla yaklaşık olarak doğru orantılı olduğu görülebilir. Tehlikeli atıkların dökülmesinin yasak olduğu yeni depo alanlarında depo gazındaki VOC_s konsantrasyonları önemli miktarda azalır.

Eser bileşenlerin tüketimi veya üretimi için kompleks biyokimyasal reaksiyonlar vardır. Mesela vinil klorid'i ve tri-anti kloroetanin ayrışmasının yan ürünüdür. Bu gazlar organik yapıları sebebiyle depo alanındaki atıklar tarafından tutulurlar. Birçok bileşiğin yarılanma ömrü bir yıldan binlerce yıla kadar değişir.

2.4.2 Depo Gazı Oluşumunun Zamanla Değişmesi

Zaman içinde sızıntı suyu oluşum hızında değişiklikler meydana gelirken, gaz oluşum hızında da değişimler gözlenir. Gaz oluşumunun miktarı ve hızı bir dizi faktörün fonksiyonudur. Bunlar; çöpün yoğunluğu, sızıntı suyu akışı, nem seviyeleri ve çöpün yaşı ve bileşimleridir (McBean ve diğ., 1995).

Şekil 2.5'de gaz oluşumunun 5 kademesi görülmektedir. Başlıca depo gazlarının oluşması bir dizi faz neticesinde gerçekleşir. Bu fazlar aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.5 Depo Gazının Oluşum Eğrileri (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Faz-1 İlk Adaptasyon : İlk adaptasyon fazı olan Faz 1’de evsel katı atıklardaki organik maddeler çöp depo alanına dökülür dökülmez mikrobiyal ayrışmaya maruz kalırlar. Bu fazda biyolojik ayrışma aerobik şartlar altında gerçekleşir. Çünkü belli bir miktar hava depo alanında tutulur. Atıkların ayrışmasını sağlayan aerobik ve anaerobik olan organizmaların esas kaynağı günlük olarak atıkların üzerine dökülen nihai toprak örtüsüdür. Bu organizmaların diğer kaynakları çürütülmüş atık su arıtma tesisi çamurları ve geri devrettirilen sızıntı sularıdır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Faz-2 Geçiş Fazı: Geçiş fazı Faz 2’de oksijen tüketilir ve anaerobik şartlar gelişmeye başlar. Depo alanı anaerobik olduğunda, biyolojik dönüşüm reaksiyonlarında elektron alıcısı olan nitrat ve sülfat, azot gazına ve hidrojen sülfüre’e indirgenir. Anaerobik şartların başlangıcı atıkların oksidasyon/redüksiyon potansiyeli ölçülerek izlenebilir. Nitratın ve sülfatın indirgenmesi için yeterli olan indirgenme şartları 50–100 milivolt civarında gerçekleşir. Oksidasyon redüksiyon potansiyeli 150–300 arasında gerçekleşir. Oksidasyon–redüksiyon potansiyeli azalmaya devam ederken organik maddelerin metan ve karbondioksit dönüşümünü gerçekleştiren mikrobiyal topluluk kompleks organik maddelerin organik asitlere ve

diğer ara kademe ürünlere dönüştürüldüğü üç - kademe prosesine başlar. Faz-2'de oluşan sızıntı suyunun pH'ı organik atıkların mevcudiyeti ve depo alanındaki CO₂'nin artmasının etkisi ile düşer.

Faz – 3 Asit Fazı: Bu fazda, Faz 2'de başlayan mikrobiyal aktivite önemli miktarda organik atıkların ve az miktarda hidrojen gazının oluşması ile hızlanır. Üç – kademe prosesinin birinci kademesi, yüksek moleküler yapıli bileşiklerin (Yağlar, Proteinler, Polisakkaritler, Nükleik asitler vs.) mikroorganizmalarda karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmaya uygun bileşiklere dönüştüğü kademesidir. Prosesteeki ikinci kademe (asit oluşumu), birinci kademedede oluşan bileşenlerin asetik asit ve düşük konsantrasyonlu fulvik asit ve diğer daha karmaşık organik asitlere dönüştüğü mikrobiyal dönüşmeyi ihtiva eder. CO₂ Faz 3'de oluşan başlıca gazdır. Ayrıca daha az miktarlarda H₂ gazı oluşabilir.

Oluşan sızıntı suyunun pH'ı organik asitlerin mevcudiyeti ve CO₂'nin artması sebebiyle 5 ve daha düşük değerlere inecektir. Faz- 3 boyunca organik atıkların sızıntı suyunda çözünmesi nedeniyle sızıntı suyunun BOİ₅, KOİ ve iletkenliği önemli miktarlarda artacaktır. Sızıntı suyunun pH'ının düşük olması sebebiyle bazı inorganik bileşenler, özellikle ağır metaller çözünebilir olacaktır. Faz-3'te bir çok önemli nutrientler sızıntı suyundan çıkar. Eğer sızıntı suyu geri devredilmez ise sistemden gerekli nutrientler kaybedilecektir.

Şu da önemli bir noktadır ki eğer sızıntı suyu oluşmaz ise, Faz 3 boyunca oluşan dönüşüm ürünleri depo alanı içinde kalır ve saha kapasitesi olarak tanımlanarak suda tutulur.

Faz – 4 Metan Fermantasyon Fazı: Bu fazda asit fazında oluşan asetik asit ve hidrojeni CH₄ ve CO₂'ye çeviren ikinci grup mikroorganizmalar çoğunlukta olur. Bazı durumlarda bu organizmalar Faz 3'ün sonuna doğru gelişmeye başlar. Bu dönüşümü gerçekleştiren mikroorganizmalar metanojenler olarak adlandırılan anaeroblar'dır. Faz 4'de metan ve asit oluşumu aynı anda gerçekleşir. Ancak bununla beraber asit oluşum hızı oldukça önemli miktarda.

Asitler ve hidrojen gazının CO₂ ve CH₄' e dönüşmesiyle depo alanı içindeki pH 6,8–8 arasında değişerek daha nötr bir değere yükselir. Sızıntı suyu oluştuğu taktirde pH'ı

yükselir, BOİ₅ ve KOİ konsantrasyonu ve iletkenliği azalır. Ayrıca sızıntı suyunda mevcut bulunan ağır metal konsantrasyonu azalacaktır.

Faz – 5 Olgunluk Fazı: Bu Faz mevcut ayrışabilir maddeler Faz 4'de CH₄ ve CO₂'ye dönüştükten sonra kolayca gerçekleşir. Faz 5'te depo gazı oluşum hızı oldukça azalır. Çünkü önceki Fazlar etrafında mevcut nutrientlerin önemli bir kısmı sızıntı suyu ile giderilir ve depo alanında kalan besin maddeleri yavaş ayrışabilenlerdir. Bu Fazda yavaş yavaş gelişen gazlar CO₂ ve CH₄'dür. Az miktarlarda azot ve oksijen de bulunabilir.

Fazların Süresi: Depo gazının her bir fazın süresi; organik bileşenlerin depo alanındaki dağılımı, nutrientlerin mevcudiyeti, atığın nem muhtevası, nemin depo alanı boyunca hareketi ve ilk sıkışma gibi faktörlere bağlıdır. Örneğin bir çok yığın çalılık bir arada depolanıp sıkıştırılırsa, C/N oranı ve nutrient dengesi gaz oluşumu için uygun seviyede olmayabilir. Keza yeterli miktarda nem olmadığı zaman gaz oluşumu yavaşlar. Sahaya dökülen maddelerin yoğunluğunun artması nemin atık içinde her noktaya ulaşabilmesini azaltır. Böylelikle biodönüşüm hızı ve gaz oluşumu azalır. Tablo 2.6'da yeni tamamlanmış bir depo alanında bulunan başlıca gazların zamana bağlı olarak dağılımının yüzdesi verilmiştir.

Tablo 2.6 Bir Depo Alanının Kapatılmasından Sonraki İlk 48 Ay Boyunca Gözlenen Gazların Yüzde Olarak Dağılımı (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

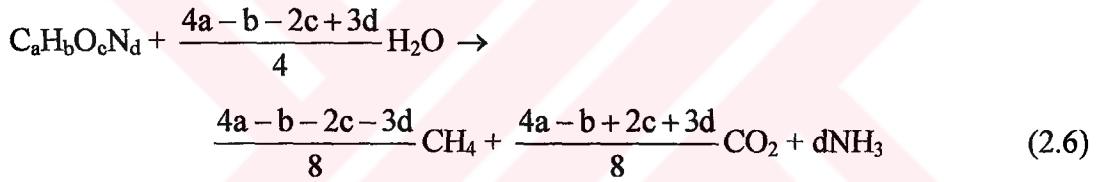
Hücrenin kapatılmasından sonraki zaman aralığı	Ortalama, Hacim olarak yüzde		
	Azot N ₂	Karbondioksit CO ₂	Metan CH ₄
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

Katı atıkların anaerobik ayrışmasının genelleştirilmiş kimyasal reaksiyonu Denklem 2.5'deki gibi yazılabilir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).



Görüldüğü gibi bu reaksiyonun gerçekleşmesi için su gerektir. Katı atıktan elde edilen toplam gaz bu stokiometri reaksiyonuna göre sağlanırken, bölgesel hidrolojik şartlar gaz oluşum hızını ve zaman periyodunu önemli derecede etkiler.

Anareobik ayrışma esnasında açığa çıkan gaz miktarı çeşitli metotlarla hesaplanabilir. Örneğin, evsel katı atıklarla bulunan (plastikler hariç) her bir organik bileşen $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ formülü ile ifade edilirse oluşan toplam gaz miktarı Denklem 2.6 ile hesaplanır. Bu eşitlikte ayrışabilen organik maddelerin tanımının CO_2 ve CH_4 'e dönüştüğü varsayılır.



Genelde katı atıklar içinde bulunan organik maddeler iki sınıfa ayrılır. 1) Çabuk ayrışabilen maddeler (üç aydan beş yıla), 2) yavaş ayrışan maddeler (50 yıl veya daha fazla) Tablo 2.7'de hızlı ve yavaş ayrışabilen evsel katı atık bileşenleri gösterilmektedir. Organik atıkların ayrışma fraksiyonu atığın linyin muhtevasına bağlıdır.

Eklenik (Birleşik) Etki:

Depo alanlarında çöpün içerisinde değişik bölgelerde, bu üç ayrışma prosesi aynı anda gerçekleşir. Ancak depo alanını kapatılmasından sonra geçen ilk birkaç yılda mevcut organik maddeler tükenene kadar anaerobik faz baskın olur. Depo alanı yaşlandıkça zaman içerisinde gaz oluşum hızı kademeli olarak düşer. Bununla birlikte kapatılmadan sonraki on yıllar içerisinde metan oluşumu az miktarda da olsa devam eder (McBean ve diğ., 1995).

Tablo 2.7 Evsel Katı Atıkta Bulunan Hızlı Ve Yavaş Ayırışabilen Organik Bileşenler (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Organik atık bileşeni	Hızlı ayırışabilenler	Yavaş ayırışabilenler
Yiyecek atıkları	-	
Gazete	-	
Kağıt	-	
Karton	-	
Plastikler ^a		
Tekstil atıkları		-
Kauçuk		-
Deri		-
Bahçe atıkları	- ^b	- ^c
Tahta		-
Çeşitli organikler		-

^a Plastikler genel olarak ayırışamayan atıklar olarak kabul edilirler.

^b Yaprak ve ot artıkları. Bahçe atıklarının genel olarak yüzde 60'I hızlı ayırışabilen atıklardır.

^c Bahçe atıklarının ağaç olan kısmı

Anlatılan biyolojik proseslerin bir sonucu olarak, normal şartlar altında depo alanında oksijen bulunduğunda, baskın yan ürünler metan ve karbondioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, azot, hidrojen ve amonyaktır. Yan ürünler Şekil 2.6'de özetlenmiştir.

AYRIŞMA ŞEKİLLERİ

BAŞLICA YAN ÜRÜNLER

AEROBİK AYRIŞMA → CO₂, H₂O, NİTRAT VE NİTRİT

ANAEROBİK AYRIŞMA → CH₄, CO₂, H₂O ORGANİK ASİTLER, AZOT, AMONYAK, DEMİR VE MANGAN TUZLARI VE HİDROJEN SÜLFÜR

Şekil 2.6 Biyolojik ayrışmanın değişik kademelerinde oluşan yan ürünleri şeması (McBean ve diğ., 1995).

2.4.3 Depo Gazının Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Depo gazının oluşum hızı birçok faktöre bağlıdır. Sürekli ayrışma ve gaz üretiminin 30 yıldan 100 yıla kadar olabileceği tahmin edilebilir ancak esasen bu olaylar çok kısa bir zaman periyodu için yüksek seviyelerde gerçekleşir. Depo alanındaki

ayrışmanın hızını tanımlayacak yeterli bir hız sabiti veya basit bir eşitlik yoktur. Bununla birlikte en azından niteliksel bakımdan birçok faktörün önemini karakterize etmek mümkündür (McBean ve diğ., 1995).

En az 1 milyon m³ atık ihtiva eden depo alanları ve açık çöplükler gaz toplama ve kullanma için uygundur. Atık içindeki yüksek seviyelerdeki organik maddeler toplanacak gaz miktarını arttırırlar ve böylelikle emisyonların azalması sağlanır (USEPA, 1996).

Depo alanları heterojen yapıları sebebiyle birbirlerinden çok farklıdırlar. Depo alanlarındaki mikrobiyal popülasyonun özellikleri üzerinde yapılan araştırmalar göstermiştir ki depo alanları arasında önemli farklılıklar vardır.

Su, atıklardan maddelere su fazında geçer. Mikroorganizmalar bu sudan yararlanır. Bu yüzden yeterli miktarda nem muhtevasının bulunması gaz oluşumu için gereklidir. Su fazının besin maddesi muhtevası ise ikinci önemli parametredir. Çünkü gaz oluşumu için bakteri popülasyonunun artması gereklidir. Ayrıca metabolizmaların gelişmesi için de nutrient lazımdır. pH ve sıcaklık gibi çevresel parametreler bakterilerin anaerobik ortamda aktivitesini etkiler. Ayrıca gaz oluşum hızını etkileyen iki ilave parametre de partikül boyutu ve atık yoğunluğudur (McBean ve diğ., 1995).

Anaerobik Ortam: Metan üretmek için, organik madde anaerobik ortamda ayrışmalıdır. Atıkların üzerini çamurla kaplamak anaerobik bir ortam oluşturabilir. Benzer olarak organik maddeler, diğer atıklarla örtüldükleri zaman daha tesirli olurlar ve böylelikle anaerobik ortamın gelişmesiyle metan oluşumu gerçekleşir (USEPA, 1996).

Su Muhtevası: Su muhtevası gaz oluşumunda ve çöpün ayrışmasında en önemli parametre olarak göz önüne alınmalıdır. Bu gaz oluşumu için gerekli olan sıvı ortamın olmasını sağlar ve ayrıca depo alanı boyunca besin maddelerinin ve bakterilerin taşınmasını sağlar. Metan bakterilerinin ihtiyaç duyduğu su seviyesi çok düşüktür ve en kuru depo alanlarında bile olur. Bu sebeple depo gazı her depo alanından çıkar. Su muhtevası saha kapasitesine ulaştığı zaman gaz üretimi orta şiddetle artar. Çünkü nutrientler, alkalinite, pH ve bakteriler depo alanı içinde kolayca transfer edilemezler. Eğer su muhtevası saha kapasitesini aşarsa hareket eden

sıvı nutrientleri, bakterileri ve alkaliniteyi saha içindeki diğer bölgelere taşır. Böylelikle saha içinde gaz oluşumu için uygun çevreler meydana gelir (McBean ve diğ., 1995).

Katı atığın su muhtevası birim kuru veya ıslak madde ağırlığı başına su ağırlığı olarak ifade edilir. Islak-ağırlık su muhtevası $M_{w/w}$ olarak aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$M_{w/w} = \frac{(w - d)}{w} 100 \quad (2.7)$$

w= su dahil numunenin ağırlığı (kg)

d= 105°C’da kurutulduktan sonra numunenin ağırlığı (kg)

Çöpün su muhtevası ıslak ağırlık olarak yüzde 15-20’den 30-40’a kadar değişir. Ortalama %25’dir. Tablo 2.8’de çöpün bileşenlerinin ortalama su muhtevaları verilmiştir. Su muhtevası çöpün içindeki muhtelif bölgelerde farklılıklar gösterir.

Tablo 2.8 Çöpün Su Muhtevası (McBean ve diğ., 1995)

Çöpün Bileşenleri	Su Muhtevası (% Kuru ağırlık)			
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4
Yiyecek atıkları	151	133	118	122
Bahçe atıkları	67	99	102	91
Kağıt	29	28	38	36
Plastik, kauçuk	21	20	15	20
Tekstil	38	28	28	25
Tahta	13	17	22	18
Metaller	6	7	4	4
Cam, seramik	1	1	0	1
Kül	10	26	15	13

Su muhtevasına ilave olarak suyun hareketinin metan gazı üretimini önemli miktarda etkilediği kanıtlanmıştır.

Su muhtevası geniş bir aralıkta değişir. Ama yüksek organik muhteva, yüksek su muhtevasına sebep olur. Bunun açıklaması atığın içinde yağmur sularının aşamalı

olarak girmesi ve organik maddedeki ilk su muhtevasının yüksek olmasıdır (McBean ve diğ., 1995). Su muhtevası, atığın başlangıç su muhtevasına, yüzeyden sızma miktarına ve yeraltı suyu kaynaklarına ve atık ayrışması neticesinde oluşan su miktarına bağlıdır (USEPA, 1996).

Nutrient Muhtevası: Depo alanındaki bakteriler büyümeleri için çeşitli nutrientlere ihtiyaç duyarlar. Öncelikli olarak ihtiyaç duydukları maddeler karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfordur. Bunlardan başka ayrıca az miktarda sodyum, potasyum, sülfür, kalsiyum, magnezyum ve diğer iz metallere ihtiyaç duyarlar. Belirli nutrientler sadece belirli miktarlarda değil, belirli oranlarda gereklidirler. Kolayca sindirilebilen besi maddesi miktarı ne kadar fazla olursa gaz oluşum hızı da o kadar artar. Ağır metaller gibi pek çok zehirli madde bakterilerin büyümesini ve dolayısıyla gaz üretimini geciktirir (McBean ve diğ., 1995).

Bakteri Muhtevası: Aerobik bioayrışmada bulunan bakteriler ve metanojenler çöpte ve toprakta bulunur. Buna karşılık başka kaynaklardan alınan bakterileri çöpe vermek bakteri popülasyonunun artmasını hızlandırır. Çürümüş atıksu çamuru ve çürütücü çıkışları ilave bakteri almak için uygun yerlerdir.

pH Seviyesi: Aerobik ayrışma için uygun pH aralığı 6,7-7,5 veya nötre yakın pH aralıklarıdır. Optimum pH aralığında metanojenler maksimum hızda büyürler. Böylece metan üretimi maksimum olur. Optimum aralığın dışında pH 6'nın altında veya 8'in üstünde olduğunda metan üretimi oldukça sınırlanır. (EPA'ya göre metan oluşumu için optimum pH aralığı 6,8-7,2'dir. pH 6,5'un altına indiğinde metan oluşumu önemli ölçüde azalır.) Sahadaki pH seviyesi endüstriyel atıkların mevcudiyetinden alkalinite, yeraltı suyunun sızması ve organik asit üretimi ile metan oluşumu arasındaki bağıl hızdan etkilenebilir. Genç sızıntı suları genellikle uçucu yağ asitlerinin de mevcudiyetlerine bağlı olarak 6-7'den daha düşük pH değerine sahiptirler. Çöpün ve sızıntı suyunun pH'sı kimyasal ve biyolojik prosesleri önemli miktarda etkiler.

Sıcaklık: Sıcaklık şartları ortama hakim olan bakterilerin tipini ve oluşan gaz seviyesini etkiler. Mezofilik bakteriler 30-35°C, termofilik bakteriler 45-65 °C sıcaklık aralıklarında yaşarlar. Termofilikler gaz oluşum hızını arttırmalarına rağmen çoğu depo alanında sıcaklık mezofilik aralıkta bulunur. Aerobik mikrobiyal

faaliyetlerin bir sonucu olarak depo alanı çöpün dökülmesinden 45 gün sonra maksimum sıcaklığına ulaşır. Anaerobik koşullar oraya çıktığı zaman ortam sıcaklığı azalır. Depo alanının üst tabakalarında atmosferdeki hava değişimlerinden dolayı sıcaklık değişimleri fazla iken orta ve derin tabakalarda bu değişimler daha azdır. 15m ve daha derin katmanlar atmosferdeki hava koşullarından etkilenmezler. Bu katmanlarda sıcaklığın 70°C'a kadar çıktığı da gözlemlenmiştir. Sığ depo alanlarında çöp sıcaklığı ortam sıcaklıklarından etkilenir.

Depo alanı sıcaklıkları tipik olarak 30°C-60°C arasında değişir. Optimum sıcaklıklar 30-40°C arasındadır. Buna karşılık 15°C'in altındaki sıcaklıklar metanojenik faaliyetleri önemli ölçüde sınırlar.

Metan bakterileri sıcaklıktan etkilenir. 50-60°C arasında metan oluşum hızı maksimum seviyededir ama 10-60°C arasında her yerde metan oluşumu gerçekleşebilir. Depo alanlarında ve çöplüklerde, atık ayrışması metanojenleşmenin gerçekleşmesi için uygun sıcaklıkları sağlayacak gerekli ısıyı üretirler (USEPA, 1996)

Sıcaklık ayrıca kimyasal çözünürlüğü de etkiler. Çünkü çözünürlük artan sıcaklıkla artar (McBean ve diğ., 1995).

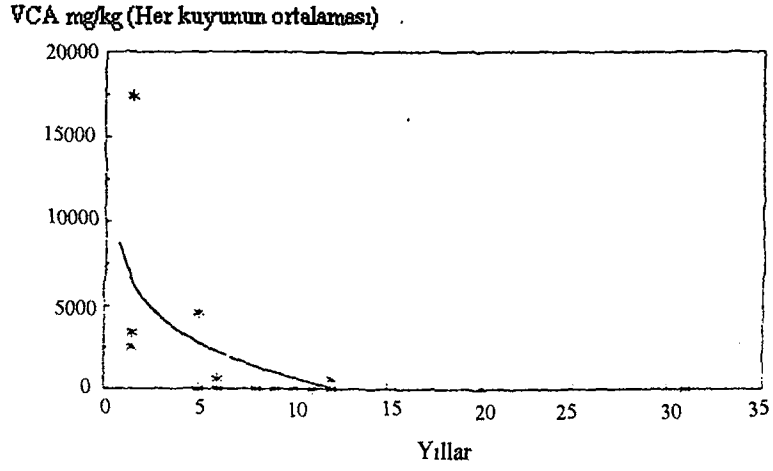
Teorik olarak atık taze ise, sıcak olur, yüksek organik muhtevasına ve yüksek uçucu karboksilik asit konsantrasyonuna sahip olur.

Atık yaşlandığı zaman, soğur, organik madde muhtevası düşer, daha az uçucu yağ asidi olur. Atık ayrışma prosesleri dengeye gelir.

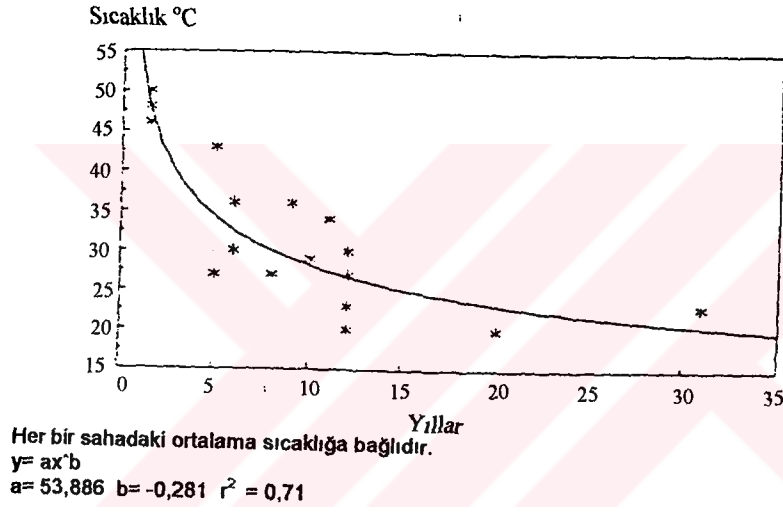
Oksidasyon – Redüksiyon Potansiyeli: Redox potansiyeli çöpün içindeki mikrobiyal faaliyet ve yağmurla ve de difüzyonla oksijenin girişi ile kontrol edilir. Oksijen metan bakterileri için zehirdir. Metan oluşumu için Redox potansiyelinin 330mV'dan daha az olması gerekir.

Yağmurdan dolayı çöpün üst tabakalarında Redox potansiyeli fazladır. Bu sebeple metan oluşumu da azdır.

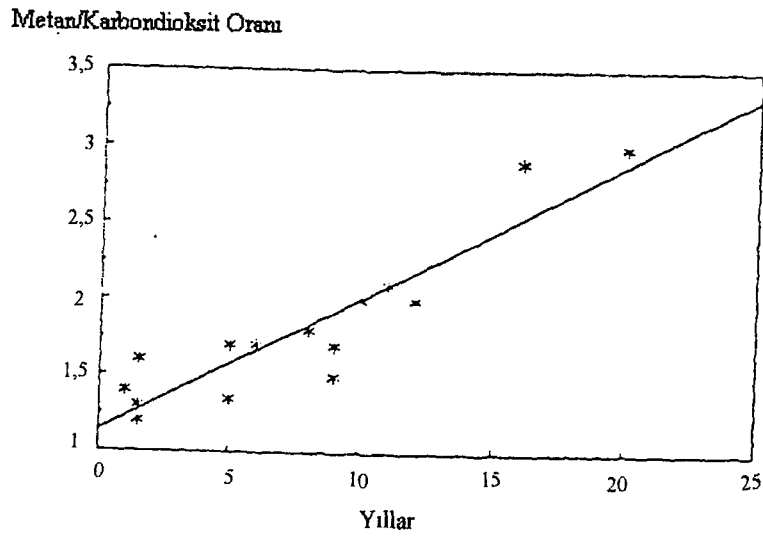
Gaz Oluşumunda Partikül Boyutu: Küçük boyutlara parçalanmış çöpün gaz oluşumuna faydalı etkileri vardır. Küçük parçalara bölünmüş çöp sahada daha çok



Şekil 2.8 Uçucu Karboksilik Asit (Bateman, 1993)

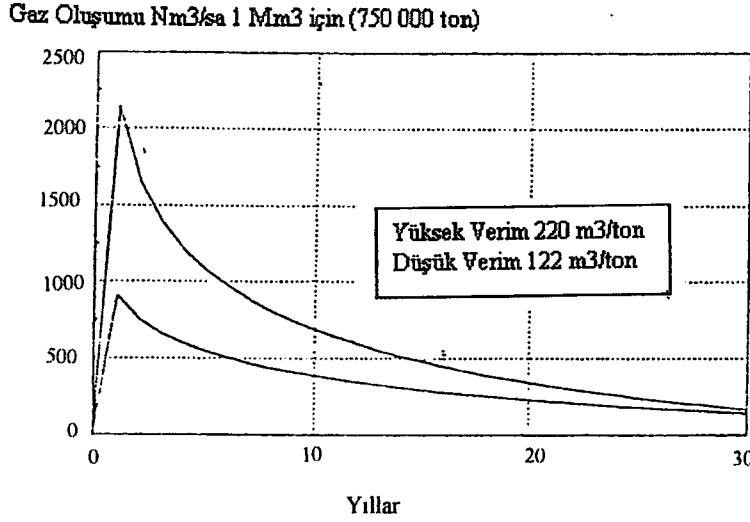


Şekil 2.9 Atığın Sıcaklığı (Bateman, 1993)



Şekil 2.10 Metan/Karbondiyoksit Oranı (Bateman, 1993)

Depo gazının stokiometrik verimi $315 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'dur. Organik karbonun depo gazına dönüşüm verimi $274 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'dur. Yüksek verimli modelde $220 \text{ m}^3/\text{ton}$, düşük verimli modelde $122 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'dur.



Şekil 2.11 Birim Depo Gazı Üretim Modeli (Bateman, 1993)

2.4.4 Depo Gazının Kokusunun Giderilmesi

Biyokimyasal anaerobik ayrışma ürünü olarak açığa çıkan CO_2 ve CH_4 gazlarının yanı sıra kötü kokulu diğer bileşikler de meydana gelmektedir. Depo gazından yararlanmak gayesi ile düzenlenmiş veya tabii olarak depo alanı içinde bulunan gözenekler vardır. Termik veya biokimyasal oksidasyon sonucunda bu boşluklardaki kötü kokuların yayılması tehlikesi mevcuttur. Termik oksidasyonda usulüne uygun olarak meşale şeklinde yakmak örneğin, kötü koku yayan maddelerin kaide olarak imhası için 800°C sıcaklıkta 0.3 sn işlem görmesi gerekmektedir. Biyokimyasal oksidasyon ise bir biyofiltre üzerinden gazları geçirmek suretiyle gerçekleştirilebilir. Bu proses sırasında kötü koku yayan maddeler, biyolojik olarak aktif katı partiküllerin etrafında adsorbe olurlar ve mikroorganizmalar tarafından kokusuz başka maddelere dönüştürülürler. Adsorbsiyon ile solunum oksidasyonu arasında devamlı işletme halinde bir dengenin hakim olması gerekir. Böylece hedef alınan koku giderme randımanına erişilmiş olur (Tabasaran, 1979).

Yapılan çalışmalar depo gazının kokusunun biyofiltrelerle giderilmesinin mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Burada filtre malzemesi %50 civarında rutubete sahip

olmalıdır. Bu biyofiltreye 1 kısım hava 10 kısım depo gazı olmak koşulu ile yaklaşık $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sa}$ 'lık bir yük verilebilir.



3. DEPO GAZININ OLUŞUMU

3.1 Giriş

Depo sahasındaki bileşenler kütlenin korunumu kanununa uyarak dönüşüme uğrarlar. Çöpün içinde çok çeşitli maddeler sınırlı miktarda bulunur. Çeşitli bileşenler zaman boyunca ayrışır. Kalan çöp kütlesi sızıntı suyu oluşturmaya ve gaz üretmeye devam eder (McBean ve diğ., 1995).

Şekil 3.1 basit bir formülle kütlenin korunumu kanununu ifade etmektedir. Bu yaklaşım ayrışmanın tahmin edilmesinde kullanılabilir.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DÖKÜLEN} & = & \text{SIZINTI SUYU OLARAK} & & \text{GAZ OLARAK} & & \text{KALAN} & & \text{DİĞER ÜRÜNLERE} \\ \text{ÇÖP} & & \text{AYRILAN KÜTLE} & + & \text{AYRILAN KÜTLE} & + & \text{ATIK} & + & \text{DÖNÜŞEN KÜTLE} \end{array}$$

Şekil 3.1 Kütlenin korunumu prensibi (McBean ve diğ., 1995)

Basit kütle denge metotlarını temel gaz ve sızıntı suyu oluşum özellikleri ile ilgili bilgileri elde etmek için kullanmak faydalıdır. Veri sağlamak için kullanılan eğri uydurma metotları mantıklı bilgiler elde etmeye oldukça yardımcı olur.

3.2 Düzenli Depo Alanından Üretilen Gazın Miktarı

Evsel çöpler genellikle su miktarı % 25-50 arasında olan mineral, organik ve su karışımından meydana gelmektedir. Bu katı maddeler de yağlar, proteinler, karbonhidratlar gibi biyokimyasal olarak ayrışabilir substratlardır. Çöp depolandıktan bir süre sonra, kapalı kalan hava mikroorganizmalar tarafından tüketilir ve metabolizma olayları anaerobik olarak devam etmeye başlar. Bu ayrışma esnasında önce asitler, aldehydler ve CO₂ teşekkül eder, kısmen suda çözünürler. Tüketim mekanizmasından sonra üretim mekanizmasına geçilir. Yeni hücre maddeleri yapılır. Sıvılaşma kademesinde meydana gelen metabolizma ürünleri özel

mikroorganizma olan metan bakterileri tarafından hücumu uğrar, CO₂, CO, H₂ ve belirli kısa moleküllü organik bileşiklerden metan üretilir.

Metan gazı bahçe ve yiyecek atıkları (karbon kaynağı olarak organik maddeler gibi) ve bol miktarda suyun (metanojenik mikroorganizmaların metabolizması için) ayrışabilmesi ile elde edilir. Birim çöp kütlesinden oluşabilecek toplam gaz miktarı çöpün organik muhtevasına ve çevresel şartlara bağlıdır (McBean ve diğ., 1995).

Metanojenik ayrışma, ayrışmanın 3. Fazıdır. Bu depo gazı yayılması kontrolü ile ilgilidir. Çünkü ayrışmanın ilk iki fazı mevcut organik maddelerin azalmasında rol oynar.

Metanojeniklerin ayrışması için genel bir nitelendirme olarak 2.6'daki eşitliğe bakılır.

Bu denkleme göre kimyasal formülü C_aH_bO_cN_d olan substrat madde anaerobik olarak metan, karbondioksit ve amonyağa ayrışır. Organik atıklar bağıntıya göre tamamen stabilize olur. Biokütle oluşumu hariç tutulmuştur. Bu denklem kullanılan substrat madde miktarı ile ilgili olarak oluşan gaz miktarının üst sınırını hesaplamak için kullanılabilir.

Tablo 3.1'de evsel çöpteki bir çok farklı madde için birim madde başına oluşan gaz miktarı verilmiştir. Mesela selüloz ayrışması sonucunda %50 CO₂, %50 CH₄ oluşur. Bu sonuçlar göstermektedir ki gaz bileşenleri ayrışan maddelerin bir fonksiyonudur.

Bununla birlikte çeşitli şartlar gaz bileşenini etkileyecektir. Depo alanının heterojen bir yapıya sahip olması sebebi ile metanojenik ayrışma ile birlikte asit faz anaerobik ayrışma ve aerobik ayrışma da gerçekleşecektir. Çünkü aerobik ve asit faz anaerobik ayrışma CO₂ meydana getirmektedir. Bu şekilde Denklem 2.6'ya göre tahmin edilen miktardan daha fazla CO₂ meydana gelebilir. Ayrıca mevcut su miktarı ve suyun saha içerisindeki hareketine bağlı olarak CO₂ çözeltisi oluşabilir.

Kuru ortam şartları mikroorganizmaların aktivitesini azaltır. Ama bazı mikroorganizmalar diğerlerine göre daha fazla duyarlılık gösterirler. Metan oluşumu için gerekli dengenin sağlanmaması bozunmaya sebep olur. Ayrıca kuru ortam daha fazla havanın girmesine sebep olarak metan oluşumunu yine azaltır. Metan oluşumu için gerekli şartlar çok sınırlı bir aralıkta sağlanabilir.

Tablo 3.1 Teorik CO₂ ve CH₄ Oluşumu (McBean ve diğ., 1995)

	Oluşan CO ₂ ve CH ₄	
	(Ayrışan L/kg)	Gaz Bileşimi (%CH ₄)
Selüloz ^a	829	50.0
Protein ^b	988	51.5
Yağ ^c	1430	71.4

^a (C₆H₁₀O₆)^b %53 C, %6.9 H, %22 O, % 16.5 N, % 1.25 S olduğu varsayılıyor. (S hesaplama katılmadı)^c C₅₅H₁₀₆O₆ olarak tipik bir yağ varsayılmıştır.

1kg evsel çöpe karşı yaklaşık 300-500 L depo gazı oluştuğu stokiometrik ve bioayrışabilir ilişkilere dayalı teorik gaz verimi ile görülmüştür.

Tablo 3.2 ayrıca maddenin birim kg'mı başına oluşan gaz hacimlerine örnekler vermektedir.

Tablo 3.2 Çeşitli Maddeler İçin Oluşan Depo Gazının Teorik Hacimleri (McBean ve diğ., 1995)

	Aerobik Ayrışma		Anaerobik Ayrışma	
	Kullanılan O ₂ (m ³ /kg)	Üretilen CO ₂ (m ³ /kg)	Kullanılan CO ₂ (m ³ /kg)	Üretilen CH ₄ (m ³ /kg)
Karbonhidrat	0.910	0.908	0.459	0.457
Protein	1.100	1.070	0.520	0.550
Yağ	1.578	1.552	0.450	1.100

Tablo 3.3'de çöpten oluşan gazın tipik olarak miktarını özetlenmektedir. Değerler Denklem 2.6'ya göre hesaplanmıştır.

Çeşitli varsayımlar depo alanında ayrışan maddelerin tamamen CO₂ ve CH₄'e dönüşmediklerini göstermiştir. Organik maddelerin bir kısmı hücre sentezi için kullanılır, bir kısmı da CO₂ ve CH₄ dışındaki son ürünlere dönüştürülür ve bir kısmı da metanojenik şartlar altında ayrışmaya uğramaz. Plastikler, anaerobik şartlar altındaki linyin ve diğer maddeler fiziksel olarak korunabilirler veya depo alanında bulunan koşullar altında biyolojik parçalanmaya uğramazlar.

Tablo 3.3 Evsel Çöpten Üretilen Toplam Gaz (CO₂ + CH₄) (McBean ve diğ., 1995)

Koşullar	Oluşan Depo Gazı
	(L/kg)
Tipik bir ABD evsel çöprü; teorik hesaplama (Şekil 3.1) ^a	520 (%53 CH ₄)
Organik maddelerin Denklem 2.6'ya göre teorik biogaz üretim potansiyeli	100-300
Çöpün atık su çamuru ile anaerobik çürütülmesi	210-260
Kapalı konteynerde; CH ₄ elde etmedeki başarı değişir; yaklaşık 1-3 yıllık periyot	0.5-40
Mevcut kısa dönemin verileri ile tasarlanan tam ölçekli depo alanları	50-400

^a %28 C, %3.5 H, %22.4 O, %0.33 N, %24.9 yanmayanlar, %20.7 H₂O

Su metan bakterileri de dahil olmak üzere bir çok mikroorganizmanın aktivitesi için gereklidir. Mikrobiyal aktivite için optimum su şartları Ham ve diğerleri tarafından (1979) kuru çöp ağırlığının en az %50 ve ideal olarak %100'ü olarak sunulmuştur. Gaz oluşumu mikrobiyal aktivite ile doğrudan ilgilidir.

3.3 Gaz Oluşumunun Hızı Ve Süresi

Oluşan gazın toplam miktarı dökülen çöpün organik muhtevasına bağlıdır ve çeşitli parametreler üzerindeki bazı faktörler depo gazı oluşumunu kontrol eder. Gaz oluşumunun hızı bir çok faktörden etkilenir. Bunlar çöpün bileşimi, yaşı, su muhtevası, pH, mevcut mikrobiyal populasyon, sıcaklık ve nutrientlerin miktar ve kalitesidir. Çöpün içindeki maddelerin ayrışabilirliğinin geniş bir aralığa yayılması depo alanı için gaz oluşum hızını tanımlamada zorluklar oluşturur. Şeker ve nişasta gibi kolay ayrışabilen maddeler selülozla aynı periyot içerisinde ayrılmayacaktır. Bu sebeple tüm bileşenlerin ayrışması toplanarak bulunabilir (McBean ve diğ., 1995).

Depo alanında oluşan gazı karakterize etmek için yapılan teorik yaklaşımlar genellikle birinci-mertebe kinetiği esas alınarak yapılır. Birinci merteye kinetiği:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (3.1)$$

t: zaman

dt: 1. mertebe katsayısı

Denklem 3.1 integre edilerek $c = c_0 e^{-kt}$ bulunur. Burada c_0 başlangıçta oluşan potansiyel metan gazı hacmidir. Metan gazı oluşumunun yarılanma ömrü:

$$\frac{c_0}{2} = c_0 e^{-kt} \quad (3.2)$$

veya

$$t_{1/2} = \frac{0,69}{k} \quad (3.3)$$

Denklem 3.1'e göre ayrışan maddelerin kayıp hızı gaz oluşturacak madde miktarı ile orantılıdır. Alternatif olarak kümülatif gaz oluşumu zamana göre aşağıdaki denklem gibi karakterize edilir.

$$C = c_0(1 - e^{-kt}) \quad (3.4)$$

Birçok biyolojik sistemde Denklem 3.1 ve 3.2 aynı şekilde kullanılır. Eğer Denklem 3.1'deki gibi ayrışabilen madde direkt gaza dönüşürse; Denklem 3.1 metan oluşum hızı ve oluşan toplam metan miktarı açısından tekrar yazılabilir.

1. mertebe kinetiği depo alanlarında gaz hızını bulmak için yapılan modellerde bir şekilde kullanılır. Depo alanında metan gazı oluşumunu sınırlayan faktörün eninde sonunda metana dönüşecek olan depo alanındaki maddelerin olduğunu varsayar.

Ayrışma proseslerini etkileyen diğer değişkenler ve faktörlerin hız katsayısındaki değişimleri yansıtabilmelerinin haricinde metan oluşumunu sınırlandırmadığını varsayar. Bu modeller laboratuvar deneylerini tam olarak modeller. Denklem 3.1-3.4'deki birinci mertebe kinetiği eşitliklerine göre tahmin edilen bazı maddelerin yarılanma ömürleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Birinci Mertebe Modeline Göre Metan Üretimi İçin Yarılanma Ömrü Değerleri (McBean ve diğ., 1995)

Atık Kategorisi	Minimum Yarılanma Ömrü	Maksimum Yarılanma Ömrü
Hızlı ayrışabilenler (yiyecek, bahçe atıkları)	1/2 yıl	1 1/2 yıl
Orta hızda ayrışabilenler (kağıt, yiyecek)	5 yıl	25 yıl
Kolay ayrışamayanlar	sınırsız	sınırsız

Alternatif matematik modeller aşağıdaki gibidir:

$$\text{Sıfır-mertebe modeli : } \frac{dC}{dT} = -k \quad (3.5)$$

$$\text{İkinci-mertebe modeli : } \frac{dC}{dT} = -kC^2 \quad (3.6)$$

Ham ve diğerleri (1979) evsel atıkların organik kısımlarını üç kategoriye ayırarak tanımlamıştır. Bunlar çabuk ayrışabilenler, orta ayrışabilenler ve ayrışamayanlardır.

Yiyecek atıkları kolay ayrışabilenlerdir. Kağıt, tahta, çalı, yeşillikler, yapraklar, yağlar ve boya orta ayrışabilenler kategorisinde düşünülebilir. Diğer organik maddeler; plastikler, deri, kauçuk ve bez parçaları çok zayıf olarak ayrışırlar.

Zaman içinde belirli bir periyot boyunca oluşacak toplam gaz miktar ve gaz oluşum hızı bilindiğinde birinci mertebe modeli kullanılarak gelecekte oluşacak gaz oluşum hızını bulmak mümkün olabilir. Tablo 3.5’de tipik depo gazı bileşenleri görülmektedir.

Metan bakterileri için gerekli nutrientlerin miktar ve kalitesi depo gazı oluşum hızını etkileyen ayrı bir faktördür. Metan bakterileri için gerekli temel nutrientler karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfor ihtiva ederler. Bu gerekli nutrientlere ilave olarak bakteri hücrelerinde sınırlı konsantrasyonlarda sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi elementler bulunur. Çöpe atık su çamuru verilmesi uygulaması ile bu gerekli nutrientler sağlanır.

Tablo 3.5 Tipik Depo Gazı Bileşenleri (McBean ve diğ., 1995)

Bileşen	Kaynak	Tipik Konsantrasyon (% hacimce)	Özellik
Metan (CH ₄)	B ^a	50-70	Patlayıcı
Karbondiyoksit (CO ₂)	B	30-50	Yeraltı suyunda asidik
Hidrojen (H ₂)	B	<5	Patlayıcı
Merkaptanlar (CH ₃ S)	B	.1-1	Koku
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	B	<2	Koku
Solventler			
Toluen	C ^b	.1-1	Tehlikeli
Benzen	C	<1-1	Tehlikeli
Disülfatlar	C	<1-2	Tehlikeli
Diğerleri	B ve C	Eser miktarda	Tehlikeli

3.4 Depo Gazını Hesaplamak İçin Yöntemler

Depo gazı hesaplaması için üç grup veri gereklidir. Bunlardan ilki, atık miktarı ve organik olarak ayrışabilen madde bileşiminin bilinmesidir. İkincisi halen ne kadar atığın döküldüğünün bilinmesi gereklidir. Üçüncü olarak da, atığın organik maddesinin birim kuru ağırlığının ne kadar depo gazı üreteceğinin bilinmesi gerekir (Gendebien ve diğ., 1992).

Oluşan depo gazı miktarı depo alanından depo alanına farklılık gösterir. Çünkü metanojenik mikrobiyal faaliyet birçok çevresel faktöre karşı farklılık gösterir. Teorik olarak 1 ton çöpün ayrışması neticesinde %55 metan ihtiva eden ve 19750 kJoule/m³ düşük kalorifik değere sahip 400 m³ depo gazı oluşur.

Pratikte depo alanındaki şartlar organik madde ayrışması için uygun değildir. Bu nedenle dökülen atıkların organik kısmının sadece dörtte biri ila yarısı kadarı ayrışır. İyi projelendirilmiş ve iyi yönetilen depo alanlarında bile organik maddelerin ayrışması ile elde edilen depo gazının ancak hacimce % 70'i aktarma kuyularında tutulur. Kötü çalıştırılan tesislerde bu değer % 25'lere kadar düşer.

Bir depo alanı depo gazı geri kazanma projesi yapmadan önce mevcut ve gelecekteki potansiyel depo gazının miktarı bilinmelidir. Toplanan gazın miktarı; dökülen atık miktarı, bu atıkların özellikleri ve tesis ve de toplama sisteminin tasarımı gibi faktörler dahil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır (USEPA,1996).

Mevcut ve gelecekte oluşabilecek gaz miktarını belirlemek için üç yol mevcuttur. Mevcut gaz üretimini hesaplamak için en güvenilir metot atık için test kuyuları açmaktır. Diğer metotlar da kabaca tahmin ve model hesaplamalarıdır.

3.4.1 Test Kuyuları Sonuçları ile Hesap

Bir depo alanında oluşacak gaz miktarını hesaplayabilmek için en güvenilir metot atık içerisine test kuyuları açmak ve bu kuyulardan oluşan gazı ölçmektir. Depo alanındaki atık homojenliğine ve saha büyüklüğüne göre temsil edici bölgeler içerisine uygun sayıda test kuyuları açılır. Her bir kuyudan toplanan gazın kalitesini ve debisini ölçmek için ayrı ayrı testler yapılır. Gazın kalitesinin ölçülmesi işletme ve enerji geri kazanımı sisteminin tasarlanmasına yardımcı olur (USEPA,1996).

Gelişmekte olan ve test kuyuları açarak gaz miktarı hesaplayan ülkelerde uygulanan genel bir kural da test kuyularından toplanan gaz miktarının yarısını devre dışı bırakmaktır. Çünkü atıklar sahada gevşek bir biçimde sıkışmış veya homojen olarak dağılmamışlardır. Ayrıca bu bölgelerde gaz toplama sistemiyle elde edilen rakamların artmasına sebep olan gaz göçü de yaygın bir problemdir. Ayrıca elde edilen değerin yarısını kullanmak gaz geri kazanımı sisteminin büyüklüğünü belirlemede daha gerçekçi bir değer elde edilmesini sağlar.

3.4.2 Yaklaşık Tahmin Metodu

Bir depo alanından elde edilebilecek gaz miktarını hesaplamak için kullanılabilecek en basit metot her bir ton atığın yılda 6 m³ gaz üreteceğini varsaymaktır. Bu tahmini değer işletilmekte olan bir çok depo alanından elde edilmiştir. Bu değer bir enerji geri kazanımı projesinin desteklediği ortalama bir depo alanını yansıtır. Depo alanındaki atık ve, iklim ve diğer karakteristik özellikleri tam olarak yansıtmayabilir. Bu yaklaşımdan elde edilen sonuçlar artı eksi %50 oranında değişir. Atıklar ideal olarak 10 yıldan genç olmalıdırlar. Sahaya bağlı olarak gaz oluşumu 5-10 yıl sürebilir (USEPA,1996).

3.4.3 Matematiksel Modeller Yardımıyla Hesap

Test kuyularının belirli bir zamanda sahadaki gaz oluşum miktarını bulmak için doğru değerler vermelerine karşılık model hesapları saha doldurulurken ve kapatıldıktan sonra oluşacak gaz miktarını hesaplamada doğru değerler elde edilmesini sağlarlar. Model hesaplamalarında atık depolama periyodu, yerindeki atık miktarı ve bu atıkların özellikleri gibi minimum veriye ihtiyaç vardır. Emisyon hesaplamak için kullanılan iki temel model "Birinci Mertebe Çürüme Modeli" ve "Depodaki Atık Esaslı Model" dir (USEPA,1996).

Tablo 3.6'da üç hesaplama metodu ile elde edilen gaz geri kazanma tahmini hesapları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma tablosunda da görülebileceği gibi Yaklaşık Tahmin Metodu ile en düşük gaz miktarı elde edilmiştir. Aslında bu metot bir saha değerlendirmesi çalışması için en ılımlı değeri vermektedir. Birinci Mertebe Bozunma Modeli en yüksek değerleri verir ancak bu değerler atık boşaltma ve gaz geri kazanımının zamanlaması ile ilgili kabullere oldukça duyarlıdır.

Tablo 3.6 Depo Gazı Oluşumu Hesaplarında Metotların Karşılaştırılması (USEPA,1996).

Depo Alanı Büyükliği milyon ton atık	Geri Kazanılan Depo Gazı ¹ Milyon m ³ /yıl		
	Yaklaşık Tahmin	Birinci Mertebe Bozunma Modeli ²	Depodaki Atık Esaslı Model
1,0	6	7-11	9-11
1,5	9	10-16	11-13
2,0	12	14-21	12-13
3,0	18	21-32	15-20

¹Geri kazanılan depo gazı hesapları Birinci Mertebe Bozunma ve Depodaki Atık Esaslı Model için %75 toplama verimini kapsamaktadır.

²Birinci Mertebe Bozunma Modeli için yapılan hesaplar ortalama 10 yıllık bir süre içindir.

3.4.3.1 Birinci Mertebe Çürüme Modeli

Birinci Mertebe Çürüme Modeli depo alanının ömrü boyunca gaz oluşma hızındaki değişimleri izah eder. Bu sebeple model gaz oluşumu hızı ve boyutunu etkileyen birçok faktörü hesaba katar. Aşağıdaki 5 değişkenin bilinmesi ve hesaplanması gereklidir (USEPA, 1996).

Ortalama yıllık atık kabul etme miktarı

Depo alanının açık olduğu yıl sayısı

Uygulanabilirse depo alanının kapalı olduğu yıl sayısı

Atığın metan üretme potansiyeli

Atıktan metan oluşma hızı

Temel Birinci Mertebe Çürüme Modeli aşağıdaki gibidir:

$$LFG = 2L_oR(e^{+kc} + e^{-kt}) \quad (3.7)$$

LFG: Şimdiki yılda oluşan toplam gaz miktarı (m³/yıl)

L_o: Atığın toplam metan oluşturma potansiyeli (m³/kg)

R: Aktif ömür boyunca ortalama yıllık atık alma miktarı (kg)

k: Metan oluşum hızı için bozunma sabiti (1/yıl)

t: Depo alanının açık olduğundan itibaren geçen zaman (yıl)

c: Depo alanının kapalı olduğundan itibaren geçen zaman (yıl)

Metan oluşum potansiyeli L_o 1 kg atığın ömrü boyunca oluşturmaya tahmin edilen toplam metan gazı miktarını ifade eder. Çürüme sabit k, her bir kilogram atıktan çıkacak metan hızını ifade eder. Eğer bu birimler kesin olarak biliniyorsa birinci mertebe çürüme modeli gaz miktarını doğru olarak tahmin eder. Buna karşılık L_o ve k için değerler oldukça geniş aralıktadır ve özel bir depo alanı için tam doğru olarak hesaplamak zordur.

Tablo 3.6'da endüstri uzmanları tarafından geliştirilmiş L_o ve k değerleri için aralıklar verilmiştir. Bu değerler kısmen bölgenin iklimsel şartlarına ve atık özelliklerine bağlı olduğundan, aynı bölgedeki gaz toplama sistemi olan benzer depo alanlarındaki potansiyel değerlerin aralığı dar tutularak hesaba katılmalıdır. Farklı iklimsel şartlar için L_o'ın aynı kalacağı ama k değerinin değişeceğine dikkat edilmelidir. Kuru iklimlerde gaz oluşumu daha yavaş olur. K ve L_o'ın hesaplanmasındaki belirsizlik sebebiyle Birinci Mertebe Çürüme Modelinden elde edilen değerlerde artı eksi yüzde elli oynama olabilir.

3.4.3.2 Depodaki Atık Esaslı Model

Depodaki Atık Esaslı model Amerika'da gaz geri kazanma projesinden elde edilen verilerden elde edilmiştir. Bu modelde tesisteki atık miktarıyla gaz oluşumu arasında

bağıntı vardır ancak atık yaşı ve gaz oluşumunun zamanla değişimi dikkate alınmaz. Model aşağıdaki gibidir:

$$LFG = 2 [4,32 + 2,91 W + 1,1 W D] \quad (3.8)$$

LFG: Yılda oluşan toplam gaz (10^6 m^3)

W: 30 yıldan daha az zamanda sahada bulunan toplam atık miktarı (10^6 ton)

D: Kuru koşullar için indikatör (yağış 63,5 mm/yıl'dan az olduğunda 1)

Tablo 3.7 Birinci Mertebe Bozunma Modeli Değişkenleri İçin Önerilen Değerler (USEPA, 1996)

Değişkenler	Aralık	Önerilen Değerler		
		Nemli İklimler	Orta Derece Nemli İklimler	Kuru İklimler
L_o ($\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg}$)	0-0,312	0,14-0,18	0,14-0,18	0,14-0,18
K (1/yıl)	0,003-0,4	0,10-0,35	0,05-0,15	0,02-0,10

Bu model sadece bir milyon tondan fazla atık ihtiva eden tesisler için belirtilmiştir. Eşitlikte de görülebileceği gibi, depo alanı kurak bölgelerde olduğunda emisyon katsayısı azalır (USEPA, 1996).

Depo alanında toplanan tüm gazların toplanamayacağı unutulmamalıdır. Oluşan gazın bir kısmı üst örtü boyunca kaçacaktır. Hatta çok sıkı depo alanlarında ve toplama sistemlerinde bile bu durum gerçekleşir. Günümüzde yeni sistemler ortalama sistemlerden daha etkili olabilirler. Enerji kazanımı için işletilecek olan yeni bir toplama sistemi için geçerli bir varsayım olarak toplama verimi % 70-85'dir. Sahadan toplanabilecek gaz miktarını belirlemek için Birinci Mertebe Bozunma Modeli ve Depodaki Atık Esaslı Modelden elde edilen tahmini hesaplar bu toplama verimi (%70-85) ile çarpılmalıdır.

3.4.3.3 Palos Verdes Kinetik Modeli

Bu model iki aşamalı birinci dereceden bir matematiksel model olup depo alanında gaz oluşumunun kinetiğini ifade eder. İlk aşamada gazın oluşum hızı üretilmiş olan gazın hacmi ile orantılıdır. Yani gaz oluşum hızı zamanla ekspolaransiyel olarak

artar. İkinci aşama boyunca geriye kalan gaz üretim potansiyelindeki azalma hızının kalan gazın hacmi ile orantılı olduğu varsayılmıştır (Nebioğlu, 1998).

3.4.3.4 Sheldon Arleta Kinetik Modeli

Bu model birinci dereceden iki aşamalı bir model olup Palos Verdes modelinin benzeridir. Metan oluşumu ekspolaransiyel bir artış gösterir. Bu model tam üretimden önceki zaman gecikmesini ifade eder (Lamborn, 1997).

3.4.3.5 Pasifik Gaz ve Elektrik Kinetik Modeli

Gaz oluşumu için geliştirilmiş bilgisayar ile kontrol edilen kinetik bir modeldir. Zamana karşı gaz oluşum hızını belirleyerek gaza dönüşen atığın yüzdesini belirlemeye çalışan bir modeldir. Bu modelin başlıca parametreleri; birim zamanda depolanan atık, atığın yoğunluğu ve depo sahasının derinliğidir. Bu parametrelerle birlikte depo alanındaki her element için zamana karşı gaz üretim hızı belirlenir. Bu değerlerin toplamı ile tüm alan için geçerli olan üretim hızı bulunur. Bu modelin geçerliliği matematiksel formuna dayanır. Matematiksel ifadesi ile depo alanındaki elementlerin dönüşüm yüzdesi ve gazın üretim süresi belirlenebilir (Nebioğlu, 1998).

3.4.3.6 Emcon Kinetik Modeli

Emcon'un metan oluşum modeli bilgisayarla kontrol edilen matematiksel bir modeldir. Metan oluşumu açısından depo alanının potansiyelini değerlendirmek için kullanılır. Atığın tonu, kompozisyonu, nem içeriği, dönüşüm süresi ve metan üretim hızı gibi parametrelere dayanarak 3 tip biyolojik olarak ayrışabilen katı atık sınıfı geliştirilmiştir. Bunlar hızlı, orta ve yavaş ayrışabilenlerdir.

3.4.3.7 Clancy Kinetik Modeli

Clancy tarafından geliştirilen bu model bilgisayarla kontrol edilir. Bu model her bir yılda depolanan atığın miktarını göz önüne alarak toplam yıllık gaz üretimini ifade eder.

4. DEPO GAZININ KONTROLÜ VE ENERJİ GERİ KAZANIMI MAKSATLI KULLANIMI

4.1. Giriş

Katı atık bileşenlerinden mikroorganizma aktivitesi sonucu disimilasyon ürünü olarak gazlar meydana gelmekte ve çeşitli yönde yayılmaktadırlar. Yayılma difüzyon ve basınç akımları şeklinde olmaktadır. Difüzyon akımında gaz, yüksek konsantrasyonun bulunduğu yerden alçak konsantrasyonun bulunduğu yere doğru akmaktadır. Bu hareket kısmi basınç farkından ileri gelmektedir. Gazın yüksek basınçlı bir ortamdan düşük basınçlı alanlara hareket etmesine basınç akımı meydana gelmesi denir. Eğer depo yüzeyi eksik veya geçirgen bir örtü ile kaplanmışsa depo bünyesindeki basınç ile yüzeydeki atmosfer basıncı denge halindedir.

Örtülü depo alanlarında normal olarak örtü tabakasının altında belirli bir basınçta gaz birikimi meydana gelmektedir.

Tehlikeli depo gazının zararlı etkilerinin ve yayılmasının sınırlandırılması için düzenli depo alanı yönetimi ve saha uygulamalarında yüksek standartların sağlanması, oluşan depo gazının tam olarak kontrol edilmesi ile mümkündür (Christensen ve diğ., 1994).

Katı atık depo gazı çevredeki arazilere yayılmasının önlenmesi ve enerji kaynağı olarak kullanılması amacıyla toplanarak geri kazanılır. Depo gazı ortalama olarak %55 metan ihtiva etmesi sebebiyle potansiyel olarak bir yakıt kaynağı olarak kullanılabilir. Depo gazının geri kazanılması teknolojisi yeni bir teknolojidir (McBean ve diğ., 1995).

Depo gazının geri kazanılmasının fizibilitesini sahaya faktörler etkiler. Bu faktörler geri kazanılacak gazın miktar ve kalitesi, ekonomik olarak uygun bir transfer mesafesi içinde geri kazanılacak gaz için bir pazarın mevcudiyeti ve üretilen enerji

için birim fiyatın sağlanabilmesidir. Bir geri kazanma sistemi için uygun bir depo alanında atık miktarı minimum 500,000-1,000,000 ton ve minimum derinlik 15 m olmalıdır.

Bir depo alanı geri kazanma için yeterli miktarda gaz üretebilir. Geçmişte sadece büyük depo alanlarında (bir milyon ton atık dökülen depo alanları) gaz geri kazanımının geri kazanılabileceği düşünülmesine rağmen günümüzde küçük depo alanları için de gaz geri kazanımı da ekonomik olmaktadır.

Düzenli depo alanları ve açık çöplüklerden toplanarak geri kazanılan metan gazı bir çok alanda kullanılabilir. Kullanılacak teknolojinin seçimi sahadaki ve civar çevredeki enerji ihtiyaçlarına bağlıdır. Bu ihtiyaçlar belirlenir belirlenmez tesiste üretilen enerjinin miktar ve kalitesine en uygun olan seçenek tercih edilecektir (USEPA, 1996)

4.2 Depo Gazının Hareketi

Normal koşullar altında toprakta oluşan gazlar, moleküler; difüzyon ile atmosfere karışır. Faal depo alanlarında iç basınç atmosfer basıncından daha büyüktür ve depo gazı konvektif akış ve difüzyonla açığa çıkacaktır. Depo gazının hareketini etkileyen diğer faktörler gazların sıvı veya katı bileşenlere sorbsiyonu ve kimyasal reaksiyonlar ve biyolojik aktivite ile gaz oluşması veya tüketilmesidir.

Metanın büyük bir kısmının atmosfere kaçmasına rağmen, depo alanının kenarlarından 120 m'ye kadar uzanan yanal mesafelerde yüzde 40 oranında metan bulunmaktadır. Havalandırılmayan depo alalarında, bu yanal hareketin boyutu bölgedeki toprağa ve üst örtüye göre değişir. Eğer metan kontrolsüz bir şekilde çıkacak olursa binaların altında veya diğer depo alanına yakın bitişik bölgelerde birikebilir. Çünkü metanın spesifik ağırlığı havaninkinden daha azdır. Doğru bir havalandırmada bu tip sorunlar oluşmaz. Diğer taraftan karbondioksit yoğunluğu sebebiyle problem meydana getirir. Karbondioksit yoğunluğunun havaya ve metana göre fazla olması sebebi ile depo alanının altına doğru gitme eğilimindedir. Sonuç olarak depo alanının alçak seviyelerinde uzun yıllar boyunca karbondioksit konsantrasyonu yüksek olabilir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

4.3 Gaz Yayılmasının Sebep Olduğu Potansiyel Problemler

Depo gazının yayılması ile ilgili temel problemler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Christensen ve diğ., 1994).

- 1- Toprakta bitkilerin ölümüne sebep olarak havanın tüketilmesi
- 2- Arazide ve diğer kapalı boşluklarda yanıcı ve patlayıcı metan konsantrasyonlarının oluşması
- 3- Asphyxiation'a (karbonmonoksitten zehirlenme) sebep olan gaz birikiminin oluşması (Yüksek metan konsantrasyonlarını ihtiva etmesi gerekli değil)
- 4- Koku ve/veya diğer sağlık problemleri

Ürünlerde, ağaçlarda ve diğer bitkilerde meydana gelen hasarlar gaz yayılmasının gerçekleştiğinin çok önemli bir ilk göstergesidir. Depo gazı izlemek için uygun tesislerin bulunmaması neticesinde bu şekilde bitkilerdeki hasarla izleme ilk ve tek gösterge olacaktır.

Depo gazı yayılmasının ve emisyonlarının sebep olduğu muhtemel problemler değerlendirildiğinde metanın dışındaki gazların da önemli bileşikler olabileceğini göz önüne almak önemlidir. Bu sebeple metan izlemenin yanında karbondioksit de ölçmek gereklidir. Bazı durumlarda, özellikle depo gazı ihtiva ettiği düşünülen kapalı boşlukların olduğu durumlarda, depo gazı kirlenmesinin - boyutları değerlendirilmeden önce atmosferdeki oksijen eksikliğini ölçmek daha yerinde olabilir.

4.4 Gaz Yayılması Potansiyelini Etkileyen Faktörler

Depo gazı yayılması ve tehlikesini önlemek için uygulanabilecek bazı genel kurallar vardır. Bu kurallar zaten mevcut olan verilerin veya saha ile ilgili edinilebilecek temel verilerin ve depo gazı yayılmasını etkileyen faktörlerin anlaşılmasına bağlıdır (Christensen ve diğ., 1994).

Her biri kendi arasında farklılıklar içeren çeşitli tip dizaynlarda depo alanları mevcuttur. Gaz oluşumunu ve potansiyel yayılmasını etkileyecek olan önemli değişkenler aşağıdaki gibidir:

- 1- Saha küçük, geniş, sıkı veya derin olabilir; genelde yer üstü depo alanları veya taş ocağı, çukurlar ve kanyonlar ihtiva eden alanlar olabilirler.
- 2- Birkaç on yıllık periyot boyunca depo alanına muhtelif tipte atık dökülecektir.
- 3- Saha işletme prosedürleri değişecektir. Bu değişiklikler alanın kullanılması, boşaltma metodunun değişmesi, farklı sıkıştırma metotlarının kullanılması ve günlük veya son olarak kaplanan tabaka yaprağının değişmesi gibi faktörler olabilir.
- 4- Sahada çeşitli su/sızıntı suyu yönetim politikaları uygulanacaktır ve çeşitli mevkilerde iklim şartları (özellikle yağmur) farklılık gösterecektir.

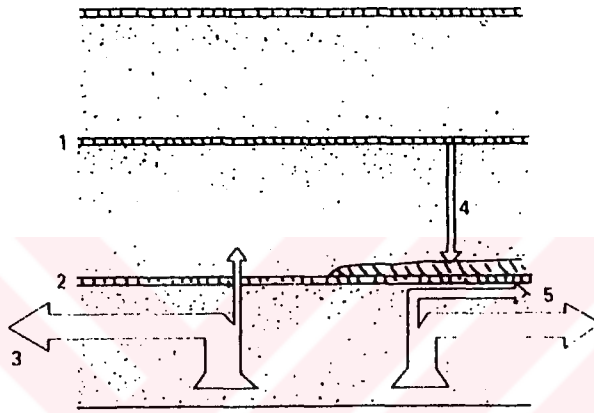
Bu saha değişkenleri saha içindeki şartları etkileyecektir. Bu şartlar sırasıyla, atığın ayrışma prosesleri, gaz oluşum hızları ve verimi ve oluşan gaz basıncıdır. Bu şartların her biri gaz yayılması potansiyelini etkiler.

Sahanın içindeki yüksek atık yoğunluğu ve nem muhtevası gibi benzer şartlar poroziteyi azaltacak ve depo edilmiş atık maddeleri içindeki gaz basıncını arttıracaktır. Atık tabakalarının üstünde geçirimsiz toprak olması veya lokal yığın duvarı oluşturmak için (mesela atık depolamak için işletme hücreleri yapmak) benzer maddeleri kullanmak sahadaki uniform gaz geçirimliliğini engelleyecek ve sahanın farklı bölgelerindeki ve derinliklerindeki gaz basıncının geniş bir aralıkta olmasını sağlayacaktır. Aksi durumda oldukça geçirimli maddelerin kullanılması, geçici yol yapımları, drenaj veya basıncının düşük olduğu yerlerde yüksek gaz geçirimli bölgeler oluşturabilir.

Depo gazı oluşuktan sonra saha içindeki düşük basınçlı bölgelere doğru yanal ve düşey olarak yayılmaya başlayacaktır. Genelde sahadaki yanal yayılmasının gerçekleşme olasılığı, düşey yayılmasının gerçekleşme olasılığından oldukça fazladır. Bu iki sebepten dolayıdır; ilk olarak atık genellikle saha içinde yatay bölgelerin oluşmasını sağlayacak şekilde kat kat dökülür. Her atık tabakasının yüzeyinde yüksek sıkışma ve bu nedenle daha düşük porozite oluşacaktır. Bu

özellikle bir kaç metre derinlikteki tabakaların olduğu yerlerde, ince tabakalama tekniklerinin kullanıldığı yerlerden daha çok belli olacaktır. Günlük kullanımda ara ve son kaplama malzemeleri düşük geçirimli yatay tabakalar oluşturacaktır.

Şekil 4.1'deki diyagramla özetlenen bu yatay tabaka etkilerinin oluşması, gazın yatay olarak yayılmasını daha fazla kontrol altında tutacaktır. Farklı katmanlarda genellikle atıkların günlük serilen üst tabakalarının üzerinde, sızıntı suyu oluşan bölgeler meydana gelir. Bu durum daha fazla düşey gaz yayılması meydana gelmesini engeller.



Şekil 4.1 Depolanmış atık içindeki yatay gaz göçü: (1) Geçirgen günlük orta örtü (2) Atık kütlesinin sıkışma sağlayan üst tabakası (3) oluşan gazın atık tabakaları içinde çoğunlukla yatay olarak göç etmesi (4) yağmurun sızması ile sızıntı suyunun geçirimsiz tabakaya ulaşması (5) dikey olarak göç edebilecek gaz yatay olarak hareket etmeye mecbur kalır (Christensen ve diğ., 1994).

4.5 Depo Gazı Kullanımının Ekonomisi

Depo gazı kullanımının ekonomik olarak değerlendirilmesi için tüm düzenli depolama prosesleri incelenmelidir. İlk proses atıkların toplanması prosesidir. Toplama işlemi bir maliyet oluşturur (Gendebien ve diğ., 1992).

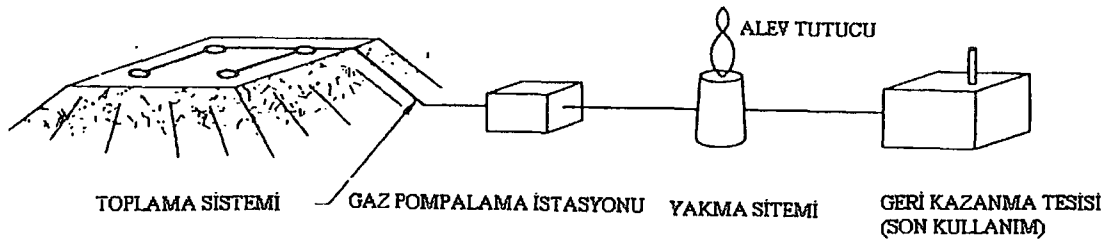
İkinci olarak gaz çıkarma ve toplama şebekesinin ve nihai kullanım ekipmanlarının yerleştirilmesinin bir maliyeti vardır. Genelde gaz çıkarma-toplama şebekesi depo gazı projesinin toplam maliyetinin % 5'i ile 10'u arasında bir maliyet tutar. Geri kalan maliyet inşaa ve nihai kullanım ekipmanlarının maliyetidir.

Üçüncü olarak, depo gazı kullanımı işlerinin bakım ve işletme maliyeti toplam maliyetin yaklaşık %10'unu tutar. Enerji kazanımı arttıkça bakım ve onarım masrafları azalır.

Dördüncü olarak, depo gazı ve ürünlerinin satışından gelir elde edilir.

Uygun bir depo alanı yönetiminde depo alanı arazisi ve komşu arazilerde yangınları ve patlama tehlikelerini minimuma indirecek metan izleme ve kontrolü olmalıdır. Depo gazını enerji kaynağı olarak kullanmak üzere yapılan saha enstrümantasyonu gaz yayılmasının kontrolü için yapılması gerekli olandan oldukça farklıdır. Gaz geri kazanım tesisi Şekil 4.2'de görülmektedir. Şekil 4.2 aşağıdakileri kapsar (McBean ve diğ., 1995).

1. Çöplüğün içine yerleştirilen bir veya daha fazla sayıda kuyu.
2. Gaz pompalama binasını kuyulara bağlayan bir toplama sistemi
3. Gaza ihtiyaç duyulmayacak durumlarda depo gazını yakmaya yarayan bir yakma tesisi
4. Gazın son kullanıcısı. Bu son kullanıcı birçok farklı tipte olabilir. Örneğin elektrik üretmek için bir motor kullanılır veya CH_4 konsantrasyonu artırılarak depo gazını doğal gaz olarak kullanmak için CO_2 ve CH_4 'ü ayıracak bir sistem yapılır.



Şekil 4.2 Gaz Geri Kazanma Sisteminin Şeması (McBean ve diğ., 1995).

Proje değerlendirmeleri esnasında güvenilirlik ve performans kriterleri göz önünde tutulmalıdır. Sistemin uygulanabilirliği geri kazanılacak gazın kullanılması

durumundaki değerine doğrudan bağlıdır. Örneğin eğer depo gazı elektrik üretmek için kullanılacaksa depo alanı tesisinin kendi ihtiyacından daha fazla elektrik üretmek mümkündür. Böylelikle depo gazı enerji kaynağı olarak kullanıcılara pazarlanabilir.

Ancak elde edilecek enerji bedeli depo gazının enerji kaynağı olarak kullanılmasında en büyük engeldir. Çünkü elde edilecek enerjinin oluşacak sıkıntılara değmeyeceği düşünülür. Bir çok durumda pazara ulaşmak etkili politik baskılar sonucunda mümkün olur. Bazı ülkeler depo gazı kullanımını cazip hale getirmek için depo gazından üretilen elektriğin fiyatını daha düşük tutmaktadırlar.

Elektrik fiyatı ile ilgili düşünülen başka sıkıntılardan biri de enerjinin saha dışına taşınmasıdır. Saha dışına taşımak oldukça önemli miktarlarda masrafları gerektirebilir.

En azından bir milyon ton atık ihtiva eden, çöp derinliği 10m'den fazla ve alanı 10 ha'dan büyük olan depo alanlarından çıkan depo gazını kullanmak kazançlı olmaktadır. Bununla birlikte bir milyon tondan daha az çöp ihtiva eden depo alanlarında karlı olabilmektedir. Bu tip küçük depo alanları Danimarka'da mevcuttur (Gendebien ve diğ., 1992).

Küçük depo alanlarına gaz kullanım ekipmanlarını yerleştirmek için pahalı büyük binalar yapmak yerine konteynırlar da kullanılabilir. Bu konteynırlar ileride başka depo alanlarına da taşınabilir.

4.6 Metan Emisyonlarını Azaltmak İçin Elverişli Durumların Tanımlanması

Bir depo gazı geri kazanma projesinin uygun olduğunun değerlendirilmesi için gerekli kriterlerin incelenmesi gerekir. Projenin ön değerlendirilmesi dört kısımda yapılır. 1) Gaz geri kazanımı yapılacak uygun depo alanı veya çöplüğün olup olmadığının değerlendirilmesi, 2) Geri kazanılacak enerjiyi kullanacak potansiyel bir pazarın olup olmadığının değerlendirilmesi, 3) Depo alanı veya çöplüğün gaz geri kazanma projesinin devam etmesini sağlayacak yeterli atığa sahip olup olmayacağının belirlenmesi, 4) Depo alanının yeterli organik atık ihtiva edip

etmeyeceğinin belirlenmesi. Bu durumların sıra ile incelenmesi gerekir (USEPA, 1996).

4.6.1 Atık Yönetimi Uygulamaları

Atık yönetimi uygulamalarında uygulanan iki ana bertaraf metodu düzenli depolama ve açık çöplüklere boşaltmadır. Bunların dışında, atıkların yakılması, hayvanların beslenmesi, nehir veya diğer su kaynaklarına boşaltma gibi metotlar da vardır. Gelişmiş ülkelerde ve gelişmekte olan ülkelerin kentsel bölgelerinde düzenli depolama yöntemi uygulanırken gelişmekte olan bölgelerin kırsal kesimlerinde açık depolama işlemi uygulanmaktadır. Her iki depolama metodunda da metan gazı açığa çıkmaktadır.

Düzenli depo alanlarında atıklar kontrollü olarak dökülürler. Bu depo alanlarında anaerobik şartların gelişmesi neticesinde metan gazı oluşumu gerçekleşir.

Açık çöplükler ise atık bertarafı için uygun sayılabilecek sahalardır. Buralarda atıklar aerobik olarak ayrışır ve metan oluşmaz. Ancak miktarı hesaplanamamakla birlikte az miktarda metan oluştuğunu göstermektedir.

4.6.2 Enerji Olarak Kullanımı

Depo gazının enerji olarak kullanılabildiği ve satılabildiği emisyon azaltma projeleri en cazibeli projelerdir. Bu adımın amacı geri kazanılan gazı uygun bir kullanımı olasılığının olup olmadığının değerlendirilmesidir. Ancak unutulmamalıdır ki geri kazanılacak enerjinin kullanımı kesinlikle gerekli bir kriter değildir. Metan emisyonları yakma işlemi neticesinde de azaltılabilir.

4.6.3 Büyük Depo Alanları ve Açık Çöplükler

Bir milyon tondan fazla atık ihtiva eden büyük depo alanları ve açık çöplükler kullanmak en cazibeli emisyon azaltma metodudur. Bu büyüklükteki tesislerin gaz geri kazanımı sisteminin sürekliliğini sağlamaya yetecek kadar gaz üreteceği tahmin edilir. Ayrıca atıkların büyük bir kısmı 10 yaşından küçük olmalıdır.

Bir depo alanı veya çöplüğün bir gaz geri kazanma sisteminin sürekliliğini sağlamaya yetecek kadar atık ihtiva edip etmeyeceğini belirleyebilecek tek bir basit

yöntem yoktur. Genellikle boşaltım yerlerindeki kayıtlar ya tutulmamış veya eksiktir. Ancak gaz geri kazanma sisteminin tasarlanmasından önce mutlaka depo alanı veya çöplüğün yeterli miktarda atık ihtiva edip etmeyeceğinin belirlenmesi gereklidir.

4.6.4 Atık Özellikleri

Atık özellikleri depo alanında gaz oluşumunun miktarını ve boyutunu etkiler. Farklı ülkelerde ve bölgelerde atıklar farklı karakterdedirler. Gelişmekte olan ülkelerdeki atıklar genellikle bahçe ve yiyecek atıkları iken gelişmiş ülkelerde atıklar daha çok karton ve kağıttan oluşmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde metan oluşum çabuk tamamlanır (10-15 yıl içinde). Fazla miktarda kağıt ve karton ihtiva eden çöplüklerde metan oluşum daha uzun süre devam eder (20 yıldan fazla).

Evsel katı atık ihtiva eden depo alanları gaz geri kazanımını gerçekleştirmek için uygun tesislerdir. Eğer depo alanı tehlikeli kimyasal maddeler içeriyorsa bu durumda depo gazı eser miktarda tehlikeli kimyasallar ihtiva edeceğinden geri kazanılan gazın kullanılmadan önce arıtılması gerekmektedir. Bu durum da maliyeti artırır.

Eğer depo alanları enkaz ve bina yıkıntıları ihtiva ediyorsa depo alanından tahmin edilen miktarda gaz çıkarımı elde edilmez.

4.7 Depo Gazı Geri Kazanma Sistemleri

Düzenli depolamadaki en önemli hususlardan biri depo gazının yanal göçünü ve atmosfere kaçmasını önlemektir. Eskiden sadece yanal göçü önlemek üzere hendek kazma ve havalandırma yapılarak kontrol sağlanırdı. Daha sonra gaz çıkarma, toplama ve yakma işlemi yapılmaya başlandı. Günümüzde, geri kazanılan depo gazını kar sağlamak üzere işletme eğilimi vardır (Gendebien ve diğ., 1992).

Depo gazı ilk olarak 1950'lerde fark edilmiştir. 1970'lerde yakılmış ve 1980'lerden beri daha çok fayda sağlanacak şekilde geri kazanılmaktadır.

Yanal gaz göçünü engellemek için geçirimsiz bariyerler, havalandırma sistemleri gibi kontrol sistemleri tatbik edilebilir. Geçirimsiz bariyerler; çimento duvarlar veya kil gibi maddelerle doldurulmuş veya plastik madde ile kaplanmış hendeklerden oluşur. Doğal havalandırma için nispeten yüksek gaz permeabiliteli bir bölge

oluşturmak için kaba malzeme kullanılır. Bu amaç için kullanılan en yaygın madde ticari sınıf çakıldır. Ayrıca, kırılmış boruların kullanımı nispeten iyi boşluklar oluşturur. Daha ileri sistemlerde havalandırma boru hatlarında depo gazını pompalama ile yapılır. Delikler sahanın tabanına yakın olarak atık içinde dikey olarak açılır. Hem saha çevresinin içi tarafı boyunca hem de yanal olarak 15 m içinde, ortalama 50 m'lik aralıklarla açılırlar. Bunlar birbirlerine yatay bir boru sistemi ile bağlanırlar.

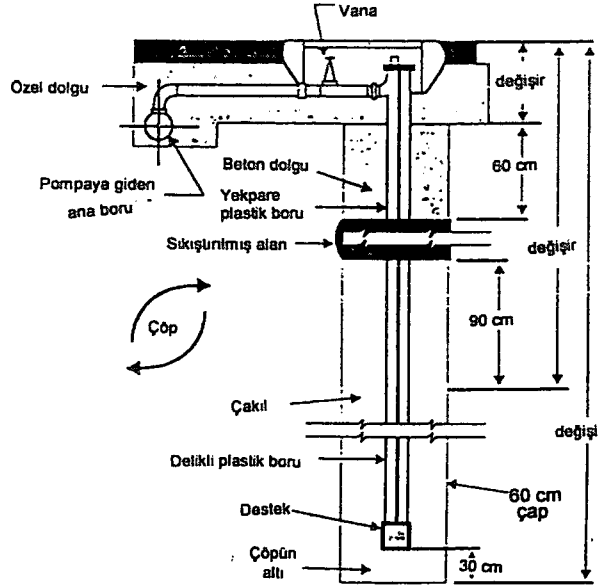
Melez sistemler, hem doğal hem de suni havalandırma sistemlerinin kombinasyonu ve geçirimsiz tabaka ile desteklenmiş hendek menfezlerin kullanılmasından oluşur. Melez sistemler suni havalandırma sistemleri kadar çok masraflı olmalarına rağmen daha az verim sağlarlar. Suni havalandırma sistemi daha yaygın olarak kullanılır.

Şekil 4.2'de her bir kısım gazın davranışına ve ortaya çıkabilecek problemlere cevap verebilecek şekilde dizayn edilmelidir. Depo Gazı birçok probleme sebep olabilen biyolojik ayrışmanın zahmetli bir ürünüdür (McBean ve diğ., 1995).

4.7.1 Depo Gazı Geri Kazanma Teknikleri

Bir depo alanı veya açık çöplükten gaz geri kazanımı yapmak için atık içerisine yatay veya düşey kuyular açılır. Kuyular borularla birbirlerine bir merkez noktasında bağlanır. Burada da bir blover negatif basınç altında gazı çıkarır. Tipik bir gaz geri kazanma sisteminde yedek bir gaz yakıcı bulunur. Tipik bir gaz toplama sistemi üç kısımdan oluşur; toplama kuyuları, bir blover (kompresör) ve gaz üretiminin gaz kullanımını aştığı durumlar için bir gaz yakıcı (USEPA, 1996).

a) Gaz Toplama Kuyuları: Gaz toplanması genellikle tesisin bir kısmı kapatıldıktan sonra başlar. Düşey ve yatay kuyu konfigürasyonları vardır. Şekil 4.3'de de görülen düşey kuyular en yaygın olarak kullanılan tiptir. Yatay kuyular acele olarak gaz çıkarılması gereken durumlarda kullanılırlar. (Örneğin gaz göçü problemi gibi) Her iki tip de de kuyu başları birbirine yanal bir borulama ile bağlanır. Bu borular gazı ana toplama merkezine götürür.



Şekil 4.3 Tipik Bir Gaz Toplama Kuyusu Şeması (USEPA, 1996)

- b) **Blover:** Bir blover veya kompresör gazı toplama kuyusundan gaz toplama merkezine çekecek negatif bir basınç olmasını sağlar. Bloverin tipi, boyutları ve sayısı çekilecek gaz debisine göre belirlenir. Sadece tesisten gaz çekmek için gerekli olan gaz basıncı oldukça düşüktür. Çok az bir negatif basınç gereklidir.

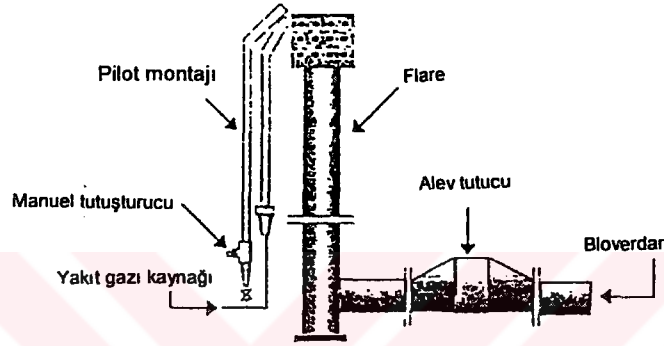
Örneğin iki milyon ton atık ihtiva eden bir tesis yılda 15 milyon m³, dakikada yaklaşık 28,5 m³ gaz üretebilir. Her m³/dakika gaz debisi için 0,3-0,8 beygir gücü gerekli olduğuna göre toplam bloverin beygir gücü ihtiyacı sadece 39-95 hp'dir.

- c) **Flare (Gaz Yakıcı):** Gaz kullanılmadığı durumlarda gaz yakıcıda yakılır. Gazın kullanılmasının uygun olmadığı durumlarda da emisyon kontrolü amacıyla gaz yakılır. Gaz hava ile karıştığında kolayca yanabilen bir yapıdadır ve yanmanın gerçekleşmesi için sadece bir ateşleme gereklidir. Alevlenme açık veya kapalı olabilir.

Açık Alev Gaz Yakıcılar: Bu tip yakıcılar en basit tip alevleme teknolojisine sahiptirler. Bu yakıcılar pompalanan gazın geçtiği bir boru, gazı tutuşturacak bir pilot alevi ve gaz akışını düzenleyecek bir takım cihazlardan oluşur. Oluşabilecek olası problemler dengesiz alev sebebiyle verimsiz yanmanın gerçekleşmesi, estetik şikayetler ve emisyonları test etmenin zorluğudur. Bazı açık alev gaz

yakıcılar etrafı çevrilerek kapatılır. Şekil 4.4'de tipik bir açık gaz yakıcı gösterilmektedir.

Kapalı Gaz Yakıcılar: Bu tip yakıcılar açık alev yakıcılardan ortaya çıkan problemleri çözmek için projelendirilirler. Çünkü bu tiplerde hava akımı ayarlanabilir. Yanma daha güvenli ve daha verimli olur. Sonuçta yanmamış hidrokarbon ve tehlikeli madde emisyonları azdır. Ancak maliyetleri daha fazladır.



Şekil 4.4 Tipik Bir Açık Gaz Yakıcı (USEPA, 1996)

Bu üç bileşen gazı geri kazanmak için kullanılır. Gaz geri kazanma sisteminin verimli çalışması için atıklar kararlı olmalıdır ve suya doymun olmamalıdır. Sızıntı suyunun bir toplama sistemi ile toplanmadığı durumlarda gaz geri kazanma sisteminin verimli çalışması mümkün olmaz.

4.7.2 Depo Gazının Kontrolü

Depo gazının hareketi, atmosferik emisyonları azaltmak, açığa çıkan koku emisyonlarını minimuma indirmek, yüzey altına gaz göçünü minimuma indirmek ve metanı enerji olarak geri kazanmak için kontrol edilir. Kontrol sistemleri aktif ve pasif olarak ayrılır. Pasif gaz kontrol sistemlerinde, depo alanında oluşan gazın basıncı gazın hareketi için hareket ettirici bir kuvvet olur. Aktif gaz kontrol sistemlerinde vakum oluşturacak şekilde enerji gaz akımını kontrol etmek için kullanılır. VOC emisyonlarının kontrolü için, pasif ve aktif gaz kontrol tesislerinin her ikisinin de kullanılması gerekir.

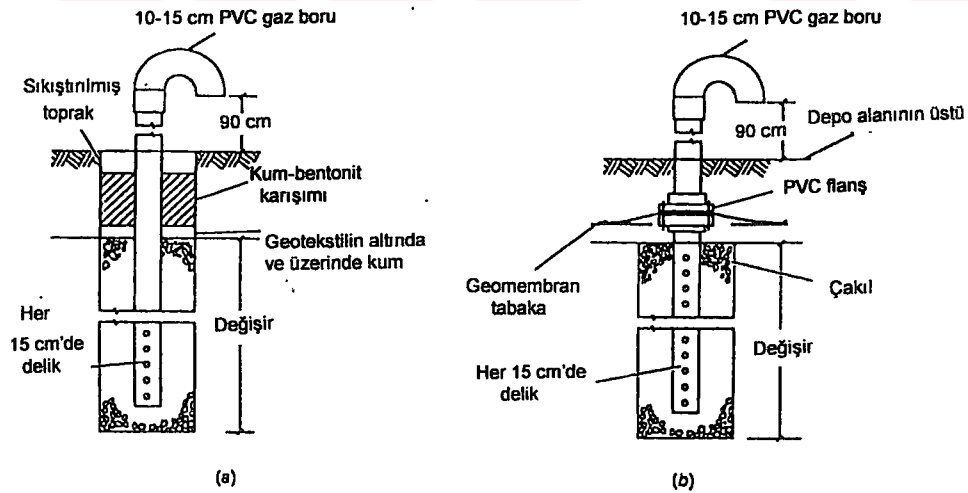
4.7.2.1 Depo Gazının Pasif Kontrolü

a) Depo Sahası Örtüsünde Açılacak Basınç Düşürücü Menfezler/Alevler

Depo gazlarının kontrolü için kullanılan en yaygın pasif kontrol metodu; depo alanı içindeki gaz basıncını çıkararak yanal göçü azaltmak esasına dayanır. Bu amaç için depo alanı örtü tabakasından katı atık kütlelerinin içine doğru hava menfezleri yerleştirilir (Şekil 4.5). Çıkarılan gazdaki metan yeterli konsantrasyondaysa birkaç menfez birbirine bağlanır ve bir gaz yakıcı konulur. Atık gaz yakıcıların kullanıldığı yerlerde kuyu üstteki atık hücrelerinin içine kadar temas etmelidir. Atık yakıcının yüksekliği tamamlanmış dolgu üzerinden itibaren 3-6 m yükseklik arasındadır. Yakıcı ile veya sürekli bir pilot alevi ile tutuşturulur. Atık gaz yakıcı yerleştirilmesinden maksimum fayda sağlamak için pilot alevi kullanılmalıdır (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

b) Çevre Hendekleri;

Yatay delikli plastik borudan meydana gelen çakıl dolgu kesme hendeklerinden oluşan çevre hendek sistemi depo gazının yanal hareketini kesmek için kullanılır. Delikli boru, dikey yükselticiye bağlanarak ile hendekte toplanan depo gazının atmosfere gönderilmesi sağlanır (Şekil 4.6 a). Hendekte gaz toplanmasını kolaylaştırmak için hendek duvarı ile depo alanı arasına membran tabaka kaplanır.



Şekil 4.5 Depo Gazının pasif kontrolü için kullanılan tipik gaz kuyuları. a) Geomembran tabaka ihtiva etmeyen depo alanı için hava menfezi. b) sentetik membran tabaka ihtiva eden depo alanı menfezi (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

c) Çevre Bariyer Hendekler Veya Harç Duvarları;

Bariyer hendekler bentonit ve kil gibi nisbeten geçirimsiz malzemeler ile doldurulur. Bu durumda hendek yer altındaki yanal gaz hareketine karşı bir bariyer olur (Şekil 4.6 b). Depo gazı bariyerin iç tarafından gaz çıkarma kuyuları veya çakıl dolgulu hendekler ile çıkartılır. Bu tip hendeklerin susuz kaldıklarında çatlama riski olduğu için daha çok yeraltı suyu çekme projelerinde uygulamaları vardır. Depo gazı göçünün kontrolü için bariyer hendeklerinin uzun vadedeki verimliliği belirsizdir.

d) Depo Alanı İçindeki Geçirimsiz Bariyerler;

Modern depo alanlarında, depo gazının civar arazilere hareketi topraktan daha fazla geçirimsiz olan maddelerden yapılmış bariyerler ile kontrol edilir (Şekil 4.6 c). Sızıntı suyu kontrolü ile bağlantılı olarak sıkıştırılmış kil ve çeşitli geomembran tiplerinin kullanılması çok yaygındır. Ancak eser gazlar kadar başlıca gazlar da kil tabakasından yayılabileceği için, depo gazı hareketini sınırlamak için geomembran kullanmak daha uygundur.

e) Eser Gazlar İçin Depo Alanı İçinde Sorptiv Bariyerlerin Kullanılması;

Eser gazlar depo alanlarında oldukça değişken konsantrasyonlarda bulunur. Kompost gibi sorptiv maddelerin kullanılması eser gazların yayılmasını yavaşlatabilir.

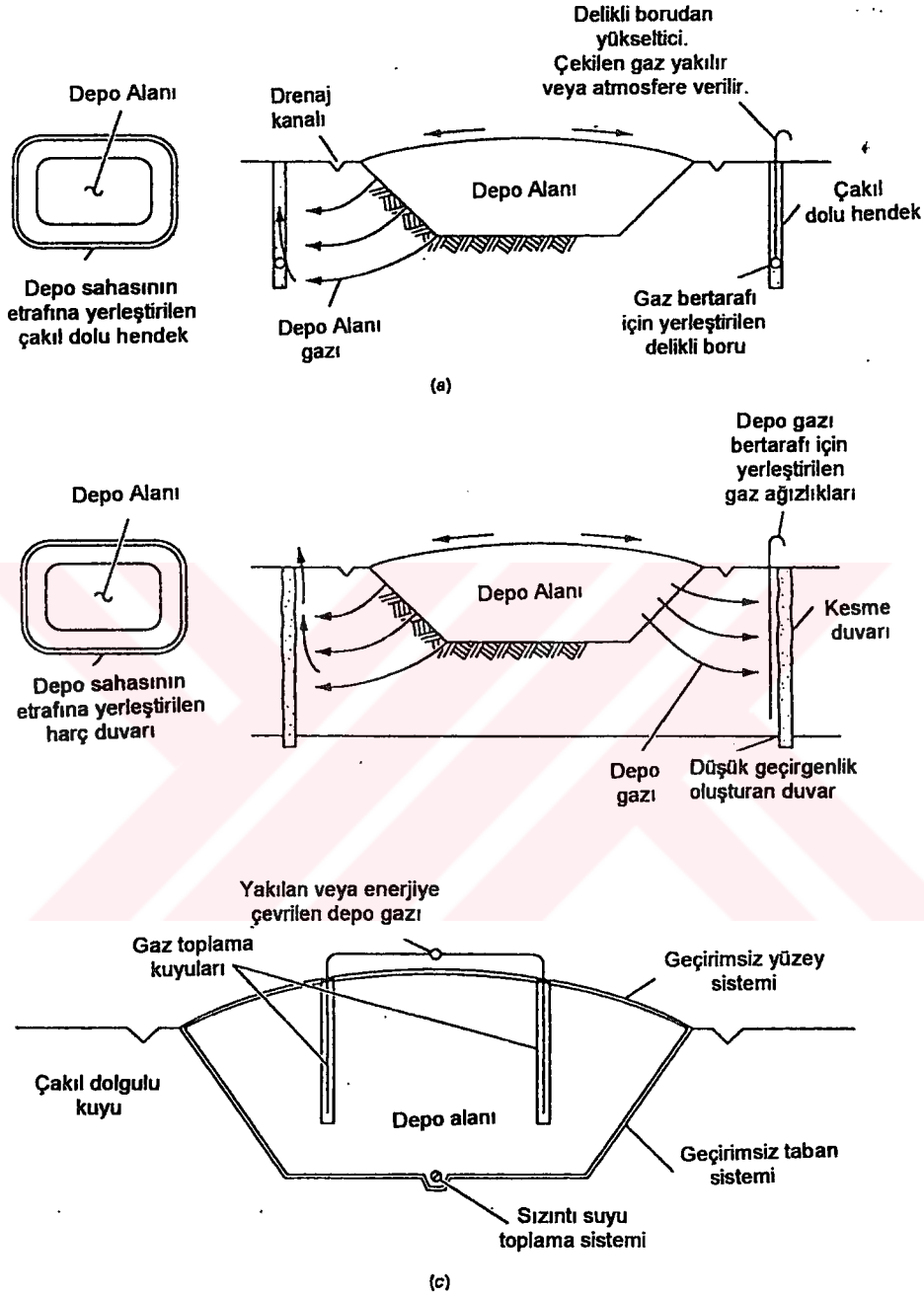
4.7.2.2 Depo Gazının Çevre Tesisleri İle Aktif Kontrollü

Depo gazının yanal hareketi çevresel gaz çıkarma kuyuları ve hendekleri kullanarak ve kısmi vakum uygulayarak kontrol edilebilir. Çıkarılan gaz, metan ve VOCs emisyonlarını kontrol etmek için yakılır veya enerji elde etmek için kullanılır.

a) Saha Çevresi Gaz Çekme Ve Koku Kontrol Kuyuları ;

Saha çevresi gaz çekme kuyuları genellikle katı atık derinliğinin en az 7.5m olduğu depo alanlarında kullanılır. Bu metodun kullanıldığı depo alanları ile sahanın bitimindeki yerleşim bölgesi birbirine oldukça yakındır. Depo alanının kenarı boyunca veya saha sınırı ile depo alanı kenarının arasına düşey kuyular yerleştirilir. Her bir gaz çıkarma kuyusu bir ana toplayıcı boru ile birbirine bağlanır. Bu ana boruda elektriksel olarak çalışan bir santrifüj blowera bağlıdır. Blower her bir çıkarma kuyusunda ve toplama hattında vakum (negatif basınç) oluşmasını sağlar.

Çıkarılan depo gazı genellikle havalandırılır veya blower istasyonunda kontrollü şartlar altında yakılır. Veya çıkarılan gazın kalitesi ve miktarı yeterli ise enerji kaynağı olarak kullanılır.



Şekil 4.6 Depo Gazının Pasif Kontrolünde Kullanılan Tesisler (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Şekil 4.7'de tipik bir gaz çıkarma kuyusu gösterilmektedir. Kuyunun tabanından üçte ikisi veya yarısı kadar bir uzunluğu deliklidir ve çakıl tabakasının içindedir. Diğer kısım delikli değildir ve toprağın veya katı atığın içine yerleştirilmiştir. Gaz çıkarma

hızının fazla olduğu durumlarda bitişikteki topraklardan katı atık kütlesine hava sızar. Havanın karışmasını önlemek için, her kuyudaki gaz akış hızı çok dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Bu amaçla gaz çıkarma kuyuları gaz örnekleme cihazları ve akış kontrol valfleri ile donatılır. Depo alanı derinliği ve lokal şartlara göre gaz çıkarma kuyuları için kuyu yerleştirilmesi 7,5-15 m'ye kadar değişir. Bununla birlikte daha büyük mesafeler de kullanılır.

Çevresel düşey kuyular depo alanından dışarıya gaz göçünü kontrol etmek için kullanılır. Çevresel kuyuların koku emisyonlarını kontrol etmek amacıyla kullanıldığı yerlerde depo alanının yüzeyi hafif bir vakumda tutulur.

b) Saha Çevresi Gaz Çekme Hendekleri ;

Saha çevresi gaz çekme hendekleri depo alanı çevresine açılır. Bunlar genellikle derinliği 7,5 m'den daha az olan sık depo alanlarına tatbik edilir. Hendekler çakıl doludur ve gazı toplayıp ana boruya ve oradan da santrifüj blower'a götüren delikli plastik boru ihtiva ederler. Gaz çıkarma hendekleri depo alanı yüzeyinden aşağı doğru depo derinliği boyunca veya yeraltı suyu seviyesine kadar iner. Hendek yüzeyi membran tabaka ile kaplanabilir. Blower her bir hendekte bir negatif basınç bölgesi oluşturur. Depo gazı bu bölgeden delikli boruya oradan da toplayıcıya geçer. Daha sonra da blower istasyonunda havalandırılır veya yakılır. Akış ayarlamaları her bir hendekte kontrol vanaları ile yapılır.

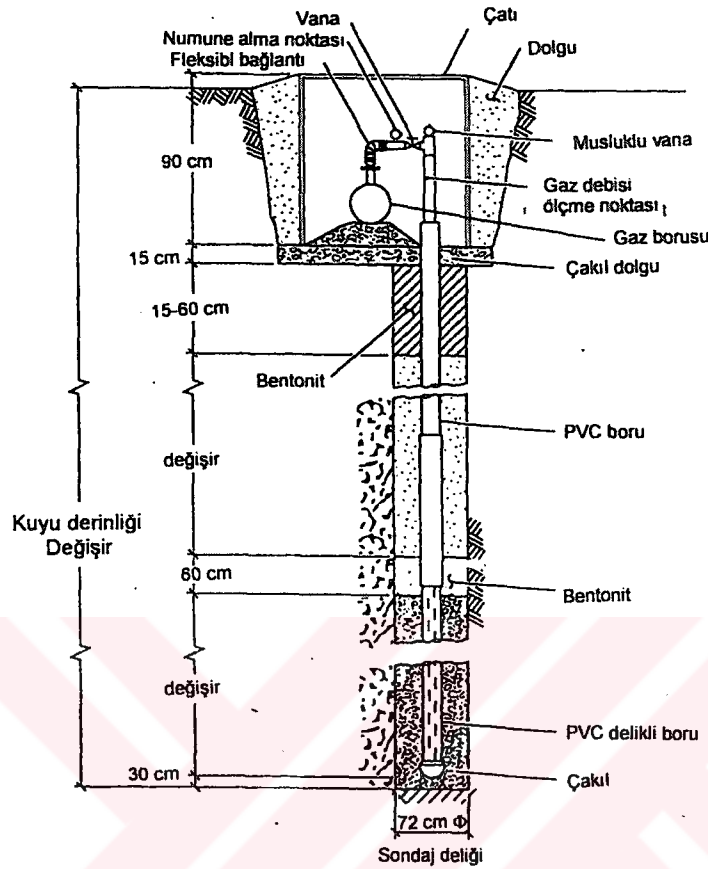
c) Saha Çevresi Hava Enjeksiyon Kuyuları (Hava Perde Sistemi)

Saha çevresi hava enjeksiyon kuyuları depo alanı sınırı ile depo gazı karışmasına karşı korunacak olan tesislerin arasındaki doğal toprağa yerleştirilmiş bir dizi düşey kuyulardan oluşur. Bu sistem genellikle 7 m derinliğindeki depo alanlarına kurulur.

4.7.2.3 Depo Gazını Düşey Ve Yatay Gaz Çıkarma Kuyuları İle Aktif Kontrolü;

Tüm düşey ve yatay kuyular depo alanlarında gaz çıkarmak için kullanılırlar. Bazı sistemlerde iki tip kuyu da beraber kullanılır. Gaz çıkarıldığında oluşan kondensatın işletimi de ayrıca gaz çıkarma sistemlerinin tasarımında önemlidir (Tchobanoglous ve diğ., 1993). Yatay ve düşey gaz çıkarma kuyuları mevcuttur. Fiziksel yapıları çok farklı olmakla birlikte işlevleri aynıdır. Gaz depo alanından etrafı çakıl kaplı ve

delikli boru boyunca düşey/yatay borulara gaz pompalanarak emme basıncı sağlanır (McBean ve diğ., 1995).



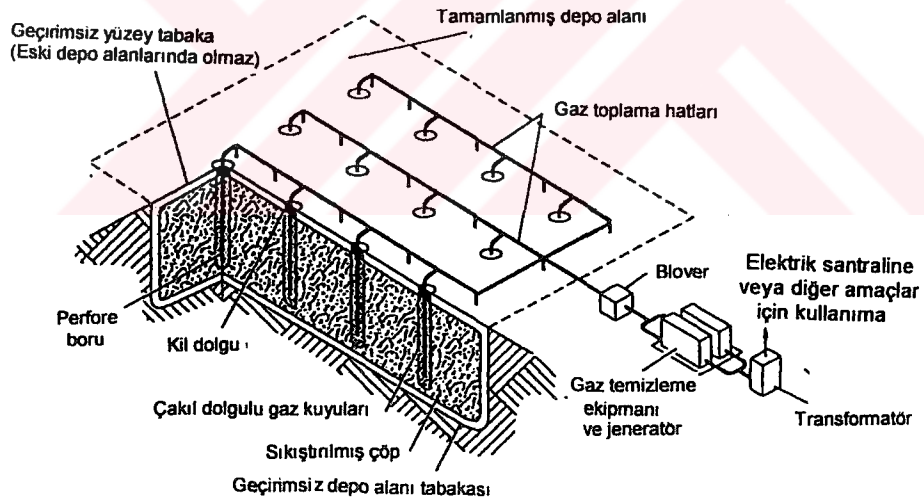
Şekil 4.7 Bir Gaz Çekme Kuyusunun Detaylı Bir Gösterimi (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

a) Düşey Gaz Çekme Kuyuları;

Şekil 4.8'de düşey gaz çıkarma kuyuları kullanılan tipik bir gaz geri kazanma sistemi gösterilmiştir. Kuyular etki yarı çapları kesişecek şekilde dizilirler. Gaz geri kazanma tesisleri olmayan tamamlanmış depo alanlarında gaz kuyuları için etki yarıçapı bazen sahada gaz hareketi ile belirlenir. Tipik olarak bir çıkarma kuyusu, kuyudan düzenli mesafelerdeki problemlerle beraber yerleştirilmekte ve böylelikle depo alanındaki gaz çıkarma kuyusuna uygulanan vakum ölçülmektedir. Tüm kısa periyotlu ve uzun periyotlu testler yol gösterici olur. Çünkü oluşan gazın hacmi zamanla azalacaktır, bazı tasarımcılar kuyuları üniform olarak yerleştirmeyi ve kuyunun etki yarıçapı kuyu başındaki vakumu ayarlayarak kontrol etmeyi tercih ederler. Çünkü düşey gaz çıkarma kuyularının etki yarıçapı esasen yuvarlaktır. Ayrıca etki yarıçapı depo

alanının derinliğine ve depo alanı örtüsünün tasarımına bağlı olacaktır. Geomembran ihtiva eden karma örtülü derin depo alanlarında 45-60 m mesafe ile gaz çıkarma kuyuları yerleştirilir. Kil ve toprak tabakası ihtiva eden depo alanlarında atmosferik gazların gaz geri kazanma sistemine karışmasını önlemek için daha yakın olarak kuyuları yerleştirmek gerekebilir (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Düşey gaz çıkarma kuyuları genellikle bitmiş depo alanlarına veya depo alanlarının tamamlanmış kısımlarına yerleştirilir. Eski depo alanlarında düşey kuyular hem gaz geri kazanımı hem de gazın bitişik arazilere hareketini kontrol altında tutmak için yerleştirilir. Tipik bir gaz çıkarma kuyusu tasarımı 10-15 cm'lik borunun (genellikle pvc veya pe) yerleştirildiği 45-90 cm'lik bir sondajdan oluşur. Borunun alt kısmının üçte biri deliklidir ve çakıl dolgu tabakasına oturmuştur. Kalan kısım delikli değildir ve toprak içindedir. Kil tabakası ile kaplıdır. Depo gazı geri kazanma kuyuları tipik olarak depo alanındaki atık derinliğinin %80'ne nüfuz edecek şekilde tasarlanır. Çünkü etki yarı çapları sahanın tabanına kadar uzanır. Bununla birlikte bazı tasarımcılar gaz kaçıışı ile ilgili olarak halkın korkusunu hafifletmek için bu kuyuları tamamen depo alanının altında yerleştirilir.



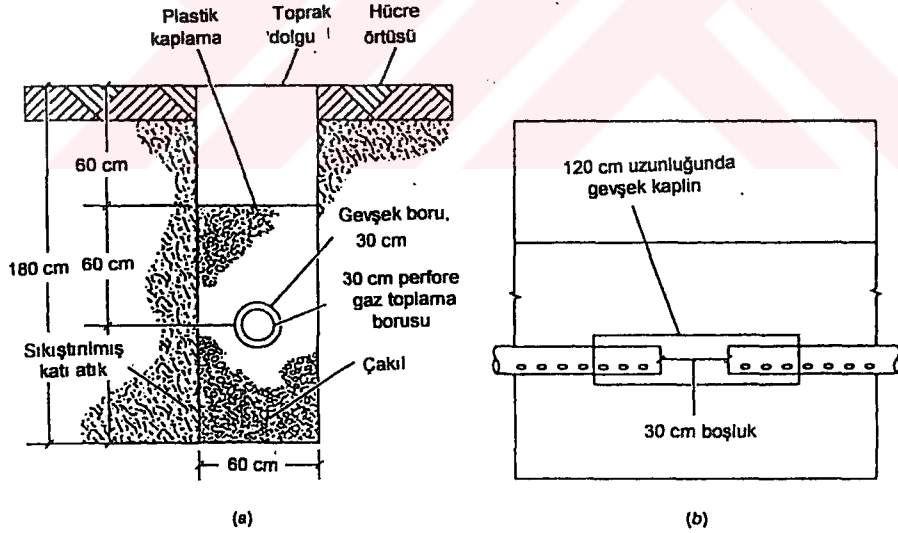
Şekil 4.8 Depo Alanı Geri Kazanma Tesisinde Kullanılan Düşey Kuyular (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Her kuyunun başı ortak gaz toplama hattına bağlıdır. Kuyu başında kör tapa bağlantısı, kelebek vana, basınç ve numune kontrol vanaları bulunur. Kuyu başlarının düzenlenmesi bölgesel duruma göre farklılık gösterir.

b) Yatay Gaz Çekme Kuyuları;

Dikey gaz çıkarma kuyularına alternatif olarak yatay gaz çıkarma kuyuları kullanılır. Katı atık içinde yatay gaz çıkarma hendeği kazılır. Hendeğin yarısına kadar çakılla doldurulur ve içine uçları açık bir delikli boru yerleştirilir. Daha sonra tamamen çakıl doldurulur ve üzeri katı atıkla kapanır. Çakıl dolgululu hendeğin ve uçları açık delikli boru kullanılması, zaman içinde depo alanında oturmalar gerçekleşse bile yine de gaz çekme hendeğini fonksiyonel yapar. Yatay hendeğin yaklaşık 25 m dikey aralıklar ve 60 m yatay aralıklarla yerleştirilirler.

Yatay gaz toplama hatları depo alanındaki gazın kontrolü amacıyla kullanılan sistemlerdir. Kademeli yatay sistemler depolama işlemi devam ederken gazın çıkarılmasını sağlayan ideal bir sistemdir. Depolama işlemi tamamlandığında toplama borularında ortaya çıkan büyük basınçlar en büyük problemdir. Bir diğer yatay gaz toplama sistemi ise yatay sıkı hendeğlerdir. Bu sistemler çakıl ile doldurulmuş yatay hendeğin içindeki delikli borulardan teçhiz edilirler. Şekil 4.9'da yatay gaz tahliye hattına bir örnek verilmiştir.



Şekil 4.9 Yatay Gaz Toplama Kuyuları (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

4.7.3 Gaz Çıkarma Sistemin Uygulanabilirliğini Etkileyen Faktörler

Depo gazı oluşum hızını bilmek depo alanından çıkacak gaz miktarını belirleyebilmek için gereklidir (McBean ve diğ., 1995).

Gaz çıkarma sisteminin performansı aşağıdakilerden etkilenir:

- 1- Depo gazının serbest hareketini engelleyen günlük örtü
- 2- Depo gazının kolay hareket edebilmesini etkileyen çamur ve sıvı atıklar
- 3- Gazın kolay hareket edebilmesini etkileyen terfi sıvı artışları
- 4- Gazın çıkarılmasını zorlaştıran sığ derinlik. Çünkü pompalama esnasında atmosferik hava çekilmiş olacaktır. Derin depo alanı gaz geri kazanımı tesislerinde daha çok tercih edilir. Çünkü giren havadaki oksijen üst kısımlarda tüketilir. Alt kısımlarda anaerobik ayrışma yapılabilir.
- 5- Üst tabakanın permeabilitesi. Üst tabakanın geçirimsiz olması durumunda atmosferik havanın içeri girmesine karşı daha çok direnç oluşur (McBean ve diğ., 1995).

4.8 Gaz Geri Kazanma Sistemlerinde Karşılaşılan Potansiyel Problemler

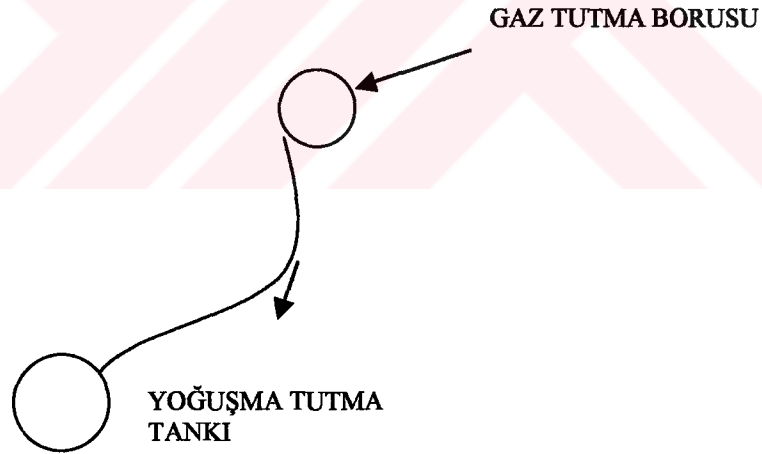
Depo alanı geri kazanma sisteminin tasarımında aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır (McBean ve diğ., 1995).

1. Gaz çekme zor şartlarında tamamlanmalıdır. Zaman boyunca atıkların basınç oluşturacakları göz önünde tutularak planlamada oturmalar da birimleri de hesaba katılmalıdır.
2. Toplayıcı borulardaki kondensat tıkanması da önemli bir problemdir. Depo alanından çıkan gaz boruların içinde birikerek neme yol açar. Gaz toplama hatları genellikle %3 eğimle sistemdeki çökmelere müsaade edecek şekilde yapılırlar. Çünkü toplayıcılar depo alanı boyunca aşağı ve yukarı eğimlerle yerleştirildiklerinden kondensat tutucular da hattın alt kısımlarına yerleştirilir. Yoğuşmanın depo alanına geri döndürülmesine müsaade edilmez. Yoğuşmayı tutucular toplama tanklarına Şekil 4.10'daki gibi bağlanmışlardır. Yoğuşma toplama tanklarından periyodik olarak dışarı pompalanır ve müsaade edilen bertaraf tesislerine götürülür veya sahada bir ön arıtma yapılarak kanalizasyona boşaltılır

3. Gaz oluşum hızındaki değişkenlikten dolayı gazın pompalandığı yerlerde çıkarma sistemleri dengede olmalıdır.
4. Gaz kuyularında su olması gaz çıkarmasını mümkün kılrsa da çok zorlaştırır.
5. Hava depo alanı yüzeyi boyunca emme basıncından dolayı içeri girer. Bu durumda depo gazı artan oksijen ve azot konsantrasyonları izlenerek saptanabilir.
6. Toplama hatlarındaki kırıklar havanın hatta girmesine müsaade eder. Bu durum gaz kalitesinin bozulmasına sebep olur.

Problemleri azaltmak için alınan önlemler:

- Mümkün olan yerlerde yüksek boru eğimleri kullanmak (%2 veya daha çok)
- Birçok yoğuşma tutucu kullanmak (örneğin 300 m’de bir)
- Partikülleri ve çamuru filtrelemek için toplama sisteminde elek kullanmak.



Şekil 4.10 Gaz tutma borularından toplama tankına yoğuşma drenajının şeması (McBean ve diğ., 1995)

4.9 Depo Gazının Kullanılmasını Etkileyen Temel Faktörler

Depo alanının nasıl kullanılacağını etkileyen altı temel faktör vardır. Bunlar depo alanının fiziksel özellikleri, çeşitli atıkların depo alanında nereye ve ne zaman

döküldüğü, atığın bileşimi, metan oluşumunu mikrobiyolojik bakımdan etkileyen faktörler, bölgesel hava şartları ve sahadan metan elde etme modelleridir.

Metan ve diğer gazlar atık maddelerin depo alanında çürümesi ile oluşan doğal prosesler sonucunda oluşur. Depo alanındaki atıkların organik bileşenlerinin indirgenmesi bir dizi mikrobiyal populasyon tarafından yapılan bir prosestir. Bu proses dinamik bir sistemdir. Bu sistemde her önceki kademenin doğru mikrobiyal çevre oluşturma başarısı esastır. Depo alanlarında oksijen tüketilerek kademeli olarak anaerobik hale dönüştürülür. Bundan sonra metan oluşur.

Bölgesel iklim şartlarının depo gazı konsantrasyonuna etkileri ile ilgili çok az yayınlanmış bilgi vardır. Bu ilişki daha iyi anlaşıldığında elektrik santrallerini daha fazla verimli çalıştırmak ve oluşan gazın maksimum kullanımını sağlamak mümkün olur. Lamborn (1997), Avustralya'nın Narre Warren Depo Alanında 1995 ve 1996 yılları arasındaki 12 ay boyunca topladığı verilerle aşağıdaki noktaları gözlemlemiştir:

- Çıkarılan depo gazı hacmi soğuk günlerde azalmaktadır. Sıcaklıkta yaklaşık %3 azalma olduğunda gaz akışında %1 civarında azalma gözlemlenmiştir.
- Barometrik basınç yükselmeleri elektrik santrallerine depo gazı akışının artmasına sebep olmuştur. Basınçta yaklaşık %1'lik bir artışa karşılık gaz akışında %10 civarında bir artış gözlemlenmiştir.
- Metan konsantrasyonu nemli günlerde %5 kadar azalır.

4.10 Depo Gazının Kullanılması

Depo gazının kullanılması durumu direkt olarak depo gazının temizlenme derecesine, kısmen de uygulamalarının ekonomik fonksiyonlarına bağlıdır. Gaz arıtma alternatifleri basit nem giderme işleminden, doğal gaz hatlarına gaz vermek için yapılan kompleks temizleme işlemlerine kadar değişir. Bu iki uç alternatif arasında birçok arıtma imkanları vardır. Doğal gazı işletmenin boyutu pazar durumları ile belirlenir. İşletme sisteminin yapısı ve boyutları yoğunlaşma ve partikül giderimi, gazın susuzlaştırılması, karbondioksit giderimi, hidrojen sülfür ve azot giderimini içerir. Mekanik ve işletmede oluşan problemler korozyon, ekipmanlara

sıvı girmesi ve gaz kalitesindeki dalgalanmalardır. Eser miktardaki gazların yapısı ve depo gazının değişken bileşimi sebebi ile işletme ve kullanma için sonradan değişiklik yapılmasına müsaade edecek şekilde tasarım yapılması gerekir (McBean ve diğ., 1995).

4.10.1 Depo Gazının Arıtılması

Depo gazı suya doygunudur. Bu sebeple sıfırın altında sıcaklıklarda soğutarak ve yoğunlaşmış suyu tutarak kurutmak gerekir. Depo gazı yoğunlaşma suları korozif özelliklere sahiptirler. Susuzlaştırma ve toz partiküllerin giderimi için yapılan filtrasyondan sonra elde edilen ham depo gazı hala karbondioksit ve eser bileşenler, özellikle bazı hidrojen sülfürler gibi halojenli hidrokarbonlar ihtiva eder (Gendebien ve diğ., 1992).

Depo gazında mevcut bulunan hidrojen sülfür çeşitli metotlarla giderilir. İlk olarak basınçla dönen suyla temizleyerek giderilir. Bu metot esasen karbondioksitle beraber giderim yapılacağı zaman kullanılır. İkinci olarak hidrojen sülfür basınçla dönme ve/veya aktif karbonda sıcaklık/dönme ile giderilebilir. Alternatif olarak hidrojen sülfür aktif karbonda sülfür ve su oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona sokulabilir. Üçüncü olarak hidrojen sülfür demir oksitlerle kimyasal reaksiyona sokularak giderilebilir. Oksijenle rejenerasyon gerçekleşir. Ayrıca, bakır esaslı bileşenlerin gazla temas etmesini önlemek için nihai kullanım ekipmanları geliştirilir.

Depo gazındaki CO₂'nin kullanıldığı yerlerde, depo gazındaki CO₂ ve CH₄ birbirinden ayrılabilir. CO₂'nin CH₄'den ayrılması fiziksel adsorbsiyon, kimyasal adsorbsiyon ve membran ayırma yöntemleri ile yapılır. Fiziksel ve kimyasal adsorbsiyonda uygun bir solvent kullanılarak bir bileşen adsorbe edilir. Membran ayırma yönteminde bir yarı geçirgen membran kullanılarak CH₄'den CO₂ giderilir. Yarı geçirgen membran CH₄'ü tutarken CO₂, H₂S ve H₂O'nun geçmesine müsaade eder. Membranlar düz bir tabaka olarak veya içi boş fiberler olarak mevcuttur (Tchobanoglous ve diğ., 1993).

Depo gazı karbondioksiti azaltılarak, örneğin hacimce %3'ün altında, nemi giderilerek, hidrojen sülfür muhtevası 3,5mg/m³'ün altına getirilerek doğal gaz kalitesine getirilebilir. Bu arıtma prosesleri sıvı içine gaz absorbsiyonu, katı üstüne

kimyasal veya fiziksel adsorbsiyon, membranla ayırma veya biyolojik ayırma prosesleridir (Gendebien ve diğ., 1992).

4.10.2 Bölgesel Gaz Kullanımı

Geri kazanılan gazın en basit kullanıma yöntemi yerel gaz kullanımıdır. Bunun için gaz bir boru hattı ile toplama noktasından kullanma noktasına taşınır (USEPA, 1996)

Gaz kullanıcıya taşınmadan önce temizlenmelidir. Gaz filtre ve kurutuculardan geçirilerek kondensatlar ve partiküller giderilir. Bu minimum seviyedeki gaz temizlenmesini takiben yüzde 35 - 50'ye kadar metan ihtiva eden gaz üretilir. Bu kalitedeki bir gaz bir çok ekipman için kullanılmaya uygundur. Gaz kullanma ekipmanları %100 metan içeren doğal gaz için tasarlanmış olsalar da, düşük metan ihtiva eden gaz kullanımına uyum sağlayacak şekilde kolayca ayarlanabilirler.

Bu seçeneğin uygunluğunun değerlendirilmesi için gazı potansiyel kullanıcıya taşıyacak boru hattının uzunluğunun hesaplanması gerekir. 3 km'den daha uzun mesafeler maliyet açısından uygun değildir. Nehirler ve aşırı tepelik araziler gibi engeller boru hattı yerleştirme maliyetini çok fazla artırırlar.

4.10.3 Elektrik Üretimi

Saha içinde veya yerel enerji santralinde kullanılmak üzere elektrik üretilir. Elektrik üretmek için bir çok teknoloji mevcuttur. İçten yanmalı motorlar ve gaz türbinleri enerji geri kazanma projelerinde en sık kullanılan sistemlerdir.

Elektrik üretmek için doğru sistemin seçiminde depo gazı debisini tahmin etmek özellikle önemlidir. Gaz türbinleri genellikle içten yanmalı motorlardan daha yüksek gaz debisinde çalışırlar. Bu sebeple gaz türbinleri genellikle sadece büyük depo alanları için uygundur. Gaz türbinleri sürekli olarak çalıştırılır. Gün içindeki elektrik yüklemelerindeki değişiklikleri karşılamak için açılıp kapanmazlar. Bu sebeple gaz türbinleri elektrik santraline sürekli olarak elektrik üretmek için kullanılır. İçten yanmalı motorlar ise daha kolayca açılıp kapanabilirler ve bu şekilde enerji santralindeki kesikli ihtiyaçları karşılamaya uygundur.

Elektrik üretiminin ekonomik bakımdan uygunluğunun değerlendirilmesi için ne kadar elektriğin sahada kullanılacağı veya elektrik santraline verileceğinin bilinmesi gerekir. Enerji kWh olarak hesaplanır. Eğer elektrik santrale verilecekse enerji hatlarının mesafesi de çok önemlidir. Kısa mesafeler daha uygundur. Coğrafi engeller maliyetlerin önemli miktarda artmasına sebep olurlar.

4.10.3.1 İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motorlar depo gazı uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan teknolojidir. Bu tip motorlar elektrik üretmek için orta kalite gaz kullanabilirler. İçten yanmalı motorlar maliyet açısından da uygundur. Esnek olmaları sebebiyle küçük depo alanlarında çok rahat kullanılabilirler. Gaz geri kazanma projesinin başlangıcında bir kaç tane içten yanmalı motor yerleştirilir. Gaz oluşumu azaldığı zaman bazı motorlar devre dışı bırakılabilir veya başka sahalara nakledilebilir.

İçten yanmalı motorlar güvenli ve verimli elektrik üretme ekipmanlarıdır. Ancak depo gazının içindeki kirlilikler sebebiyle bu motorlarda korozyona sebebiyet verebilir. Bu kirliliklerin içinde aşırı yüksek sıcaklık ve basınçta içten yanmalı motorlarla kimyasal olarak reaksiyona giren klorlu hidrokarbonlar da bulunabilir. Bazı içten yanmalı motorlar önemli miktarda NO_x emisyonları üretirler. Bu emisyonları azaltacak projeler mevcuttur.

4.10.3.2 Gaz Türbinleri

Gaz türbinleri civar bölgedeki kullanıcılara ve elektrik temin eden firmalara veya saha içinde kullanılmak üzere enerji üretmek için orta kalitede gaz kullanırlar. Gaz türbinlerinin içten yanmalı motorlardan daha faydalı olabilmesi için daha fazla gaz debisi olmalıdır. Bu sebepten dolayı gaz türbinleri daha büyük depo alanlarında kullanılır. 500 kW'dan 10 MW'a kadar boyutlarda bulunurlar. Ancak depo alanlarında en çok kullanılanları 2-4 MW'dur.

4.10.3.3 Boyler/Buhar Türbini

Bu konfigürasyon en az kullanılan elektrik üretme metodudur. Genelde gaz debisinin 8-9 MW'lık sistemleri desteklediği çok büyük depo alanlarında uygulanabilir. Boyler/buhar türbin sistemleri içten yanmalı motorlardan veya gaz türbinlerinden

daha yüksek oranda kW başına maliyete sahiptirler. Genelde paketlenmiş bir birim olan konvansiyonel gaz/sıvı yakıt boyleri ve elektrik üreten buhar türbin jeneratörü içerir. Bu teknoloji genelde tam bir su arıtma ve soğutma döngüsü ve yeterli proses kaynağını ve soğutma suyunu gerektirir. (Salihoğlu, 2000)

4.10.3.4 Yakıt Hücresi

Depo gazında çalışan yakıt hücreleri modülerite, düşük kapasite, yüksek verim, sessiz işletim, düşük çevresel etki nedeniyle elektrik üretimi için yüksek verim gösterirler. Bu sebeplerden dolayı yakıt hücreleri bir kere tam olarak uygulandıktan sonra depo gazından elektrik elde etmek için ideal bir teknoloji olabilir.

Yakıt hücreleri depo gazından kazanılan hidrojeni ve havadan elde edilen oksijeni bir elektrokimyasal reaksiyonda birleştirerek enerji oluşturur. Yüksek verimlerde (örn. %50 veya daha fazla), yakıt ve hava eldesi olduğu sürece elektrik sürekli üretilir. Güç üretimi için uygun üç tip yakıt hücresi vardır: fosforik asit yakıt hücreleri, molten karbonat yakıt hücreleri ve katı oksit yakıt hücreleri. Yakıt kaynakları olarak Hidrojen gazı veya yeniden formlandırılmış metanol kullanan fosforik asit yakıt hücreleri (PAFC) bir depo gazı uygulamasının ticarileştirilmesine en yakın olanıdır.

4.10.3.5 Kojenerasyon

Kojenerasyon; ısı ve elektrik üretiminin aynı tesiste ve genellikle tek çeşit yakıt kullanılarak, birlikte gerçekleştirildiği ve atıl ısıdan veya buhardan yeniden yararlanmayı hedefleyen sistemlere verilen genel bir isimdir. Ülkemizde tercüme edilmiş şekliyle "birleşik ısı-güç üretim sistemleri" olarak anılmakla birlikte kojenerasyon tabirinin de kullanımı yaygınlaşmaktadır. Kojenerasyon çok önemli bir enerji tasarruf yöntemidir. Endüstriyel tesislerin ısı ve elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için bu yöntemi kullanarak birlikte ısı ve elektrik enerjisi üretmesi ayrı ayrı üretilmelerine kıyasla daha az yakıt kullanımı ile gerçekleşmektedir. Kojenerasyonun avantajları:

- 1- Yaygın olarak kullanıldığı her ülkede önemli yakıt tasarrufu sağlar

- 2- Birim faydalı enerji üretimine düşen yanma ürünü emisyon miktarı, diğer yöntemlerin emisyon miktarına göre oldukça düşüktür. Dünya çapında düşünüldüğünde global kirlenmeye karşı en etkin yöntemlerden biridir.
- 3- Elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan tüketim merkezleri yakınında kurulacağından, sistem stabilizasyonu açısından tercih edilir ve ekonomi sağlar.
- 4- Ekonomi sağladığı için dikkatli çalıştırılır ve bu nedenle daha güvenlidir.
- 5- Avantajları nedeniyle tüm dünyada yaygınlaşması için çaba gösterilen ve desteklenen bir sistemdir.

Kojenerasyon sistemlerini başlıca iki grupta toplamak mümkündür. Birincisi; elektrik enerjisinin ısı enerjisinden önce üretildiği sistemler olup bunlar karşı-basınç türbinli, ara buhar çekmeli, türbin öncesi buhar çekmeli, gaz türbini ve atık ısı kazanlı, yüksek kondensasyon sıcaklıklı, dizel jeneratör ve gaz motorlu uygulamalar olarak ayrıca gruplandırılabilirler. Bu sistemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

İkincisi ise; önce proses buharının üretilip iş yapan buharın da daha alt basınç ve sıcaklık parametrelerinde buhar türbininde mekanik ve elektrik enerjisine çevrildiği veya endüstriyel tesislerde egzotermik proses reaksiyonlarından, yüksek fırınlardan ısı kazanımıyla yapılan elektrik enerjisi üretimini kapsar.

4.10.4 Doğal Gaz Şebekesine Enjeksiyon

Bölgede gaz kullanıcılarının olmaması durumunda doğal gaz şebekesine enjeksiyon yapmak uygundur. Eğer orta kalitede gaz taşıyan bir boru hattı yakınsa sadece minimum düzeyde gazı işleyerek gazı enjeksiyona hazırlamak gerekebilir. Doğal gaz hattına enjeksiyonda gaz boru hattı basıncına basınçlandırılır (USEPA, 1996).

Orta Kalite Gaz: Bu kalitede gaz yüzde 50 konsantrasyonda metan gazı ihtiva eder. Enjeksiyondan önce gaz kurutularak ve korozyif kirliliklerinden arındırılarak işlenmelidir. Gaz basınçlandırma ve boru hattına ulaşma mesafesi bu metodun cazibesini etkileyen en önemli faktörlerdir.

Yüksek Kalite Gaz: Bu kalitede bir gaz için depo gazındaki karbondioksitin büyük bir kısmı ve eser kirleticiler giderilmelidir. Bu oldukça zor ve bu nedenle diğer kirleticileri gidermeye göre oldukça pahalı bir prosestir.

Bu metodun değerlendirilmesi için mevcut boru hatlarının yerleri ve gaz kalitelerinin özellikleri belirlenmelidir. Ayrıca enjeksiyon yapılacak boru hatlarının ilave gazı taşıyıp taşımayacağı da değerlendirilmelidir.

Gaz zenginleştirecek teknolojiler piyasada mevcuttur. Ancak bunların depo alanlarında kullanılması pratik ve ekonomik değildir.

4.10.5 Diğer Alternatif Kullanma Yöntemleri

Diğer alternatif depo gazı kullanma yöntemleri; küçük depo alanları için gazın alanda kullanılması, sera gazlarının ısıtılması, CO₂ ve diğer uygun sanayi uygulamalarının üretilmesi veya basınçlı doğal gaz veya metanol gibi araç yakıtı olarak kullanılmasıdır (Salihoğlu, 2000).

Los Angeles Eyaleti Çevre Bölgesi'nin Puente Tepeleri Depo Alanı depo gazını temiz bir yakıtı dönüştürmeyi başarmıştır. Alanda sıkıştırılmış bir depo gazı yakıt istasyonu kurulmuş ve çöp kamyonunun sıkıştırılmış gazla çalıştırılmasını sağlanmıştır.

Kaliforniya Güney Yakası Hava Kalitesi Yönetimi İlçesinden TeraMEth Endüstrisi Inc. depo gazından A sınıfı metanol üretmek için kendi patentli teknolojisini modifiye etmiştir.

Depo gazının alternatif kullanım uygulamaları çok azdır. Bu uygulamaların başarısı depo alanının gereksinimleri, boyutu, gazın kalitesi gibi alana özel faktörlere bağlıdır.

5. TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA KATI ATIK DEPO ALANLARINDA METAN GAZI TOPLANMASI VE ENERJİ OLARAK GERİ KAZANILMASI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

5.1 Giriş

1996 Devlet İstatistik Enstitüsü Belediye Çevre Envanteri Geçici Sonuçlarına Türkiye’de 1996 yılında 2157 belediyeden 22.8 milyon ton katı atık toplanıp bertaraf edildiği tespit edilmiştir. Yılda toplanan katı atığın % 42.83’ü (9.8 milyon ton) belediye çöplüğünde, % 31.75’i (7.2 milyon ton) büyükşehir belediyesi çöplüğünde, % 12.76’sı (2.9 milyon ton) düzenli depolanarak, %3.75’i (857 bin ton) gömülerek, % 1.96’sı (447 bin ton) açıkta yakılarak, %1.69’u (387 bin ton) dereye dökülerek ve % 0.45’i (103 bin ton) kompost tesislerinde bertaraf edilmiştir.

Bugün sadece 6 ilde düzenli depolama yapılmakta olup henüz bu tesislerden çıkan metan gazı enerji olarak kullanılmamaktadır. Metan gazının elektrik enerjisi olarak geri kazanıldığı tek tesis rehabilite edilmiş Bursa Demirtaş Açık Depo Sahası’dır. İstanbul Kemerburgaz Açık Depo Sahası ise hem elektrik hem de ısı üreten bir kojenerasyon tesisi olması sebebiyle önemli olup önümüzdeki aylar içerisinde devreye alınacaktır.

Yakacık Açık Depo Sahası’nda ve Harmandalı Düzenli Depolama Alanı’nda kuyularda toplanan gazlar gaz yakıcıda yakılarak metanın zararlı etkileri kontrol altına alınmış olmaktadır.

Türkiye’de öncelikli olarak katı atık bertaraf teknolojilerinin iyileştirilmesine ve yaygın olarak kullanılmasına ihtiyaç vardır. Katı atık bertaraf teknolojisi tatbikatları yaygınlaştıkça beraberinde depo gazı geri kazanma tesisleri de kurulmaya başlayacaktır. Bugün enerji kaynağı sıkıntısı çekilen Türkiye’de metan gazının geri kazanılarak değerlendirilmesi iyi bir alternatif enerji kaynağı olacaktır.

5.2 Bursa Demirtaş Açık Depo Sahası

5.2.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi

Bursa şehri Osmanlı döneminden itibaren dokuma sektöründe gelişmiş bir merkezdir. 1960'lardan sonra gıda ve otomotiv endüstrisi gibi diğer endüstriler de gelişme göstermiş ve dolayısıyla nüfus da hızla artmıştır. 1927'lerde nüfus 114.370 iken 1990'da 1.157.805 olmuştur (Salihoğlu, 2000). Artan nüfus beraberinde büyüyen bir katı atık problemini de getirmiştir.

Bursa şehrinin katı atıkları 1960 yılında itibaren 6 Mayıs 1996'ya kadar 36 yıl boyunca şehrin kuzeyinde yer alan Demirtaş'taki vahşi döküm sahasına depolanmıştır. Saha, çirkin görüntüsünün yanı sıra kötü kokular, yangınlar nedeni ile hava kalitesini, çöp süzüntü suyuyla da yeraltı suyunu ve kaçak sulanan meyve-sebze ürünlerini etkileyerek, çevre ve insan sağlığına zararlı etkiler meydana getirmiştir (Kargı ve Seyrek, 1997).

Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması ve katı atık yönetimi konularında nasıl bir yol izlenmesi gerektiği konularına açıklık getirmesi amacıyla 1991 yılında Büyükşehir Belediyesi tarafından Proje Hazırlık Kredisi ve Japon Hibesi alınarak Evsel ve Endüstriyel Katı Atık Yönetimi Hazırlık Etüdü yaptırılmıştır. Bu etüt kapsamında belirlenen 23 milyon dolarlık işler için Dünya Bankası ile 12,5 milyon dolarlık kredi anlaşması imzalanarak 25.03.1993 tarihinde 3566 TU no'lu kredi devreye girmiştir. Bu etüt kapsamında belirlenen işler; Mevcut Demirtaş Açık Depo Sahası Rehabilitasyon İnşaatı, Yeni Çöp Depolama Sahası inşaatı, Transfer İstasyonu inşaatı, Yeni Sıhhi Çöp Sahası işletimi için gereken iş makinelerinin alımı, atık toplama kamyonlarının alımı, klinik atık yakma fırınının yapımı, teknik müşavirlik, kurumsal gelişmedir.

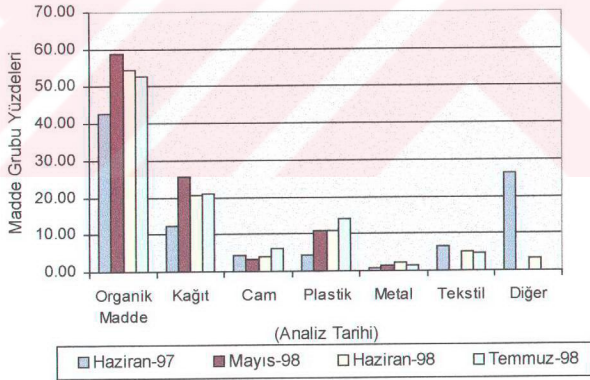
Bu işlerin içinde yer alan Demirtaş Açık Depo Sahası'nın Rehabilitasyonu Projesi yaptırılarak rehabilitasyon inşaatı 1994 yılı Aralık ayında başlamıştır. Saha 06.05.1996 tarihinde çöp kabulüne kapatılmıştır. İnşaatı 1996 yılı Aralık ayında Sahanın rehabilitasyon maliyetleri ise Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Demirtaş Açık Depo Alanı Rehabilitasyon Maliyetleri Tablosu (Kargı ve Seyrek, 1997)

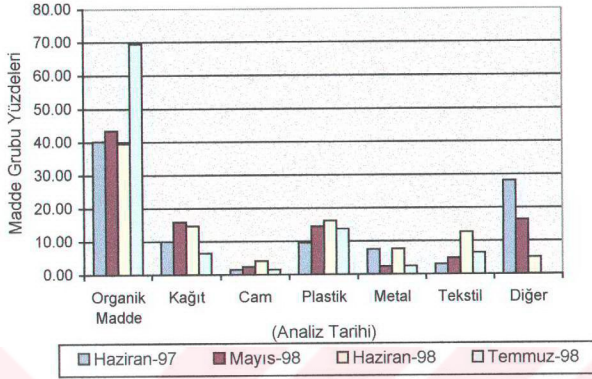
Proje ve şartname maliyeti	222.000 Dolar
Kamulaştırma maliyeti	105.000 Dolar
İnşaat, erozyonla mücadele ve bitkilendirme maliyeti (yaklaşık)	2.000.000 Dolar
Toplam	2.327.000 Dolar

5.2.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi

Demirtaş Açık Depo Sahası'nda depolanan atıkların miktarı 2.000.000 m³'dür. Depolanan katı atıkların bileşimi ile ilgili net bir veri yoktur. Saha vahşi döküm sahası olduğu için bu kayıtlar tutulmamıştır. Ayrıca Demirtaş Açık Depo Sahası'nda fazla miktarda inşaat atığı bulunduğu bildirilmiştir. Bursa şehrinin genel katı atık bileşimi Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1 Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı Katı Atık Yönetim Şube Müdürlüğü Katı Atık Kompozisyon Araştırması Atık Kompozisyonları (Yüksek Gelir Grubu % olarak) (Yolcu, 1999)



Şekil 5.2 Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı Katı Atık Yönetim Şube Müdürlüğü Katı Atık Kompozisyon Araştırması Atık Kompozisyonları (Düşük Gelir Grubu % olarak) (Yolcu,1999)

5.2.3 Demirtaş Açık Depo Sahası Enerji Geri Kazanım Tesisinin Tanıtımı

1992 yılında yaptırılan fizibilite raporu doğrultusunda yaptırılmasına karar verilen Demirtaş Açık Depo Sahası Rehabilitasyonu Projesi kapsamında öncelikle şevlerine göre 1/2.5 - 1/3 eğime getirilmiş ve gövdenin tesviyesi yapılmıştır. Sahanın durum haritası Şekil A.10'da görülmektedir. Gövdede eğim %1 ile %5 arasında değişken hale getirilmiştir. Oluşan depo gazının tehlike yaratmaması için sondaj yapılarak derinliği 10-20 m arasında değişen 51 adet gaz kuyusu açılmış, yeraltı suyu kirliliğini kontrol etmek amacıyla çöp sahası çevresinde muhtelif noktalarda 15 m derinliğinde 11 adet yeraltı suyu gözlem kuyusu açılmıştır (Kargı ve Seyrek, 1997). Tablo 5.2'de Ocak ve Mart 2001 aylarına ait 3, 4 ve 5 No'lu yeraltı suyu gözlem kuyularından alınan numunelerin analiz sonuçları görülmektedir.

Şev eteklerinde sızıntı suyunu toplamak için yaklaşık 2 km'lik süzöntü suyu drenaj kanalları açılmış ve bu borulara 250 mm'lik drenaj borusu döşenmiştir. Sızıntı sularını toplamak amacıyla sızıntı suyu ön çökeltim havuzu imal edilmiştir. Toplanan bu sular Şehir Doğu Atıksu Arıtma Tesisine verilmektedir.

Tablo 5.2 Ocak ve Mart Aylarına Ait Yeraltı Suyu Gözlem Kuyusu Analiz Sonuçları
(Değerler Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı yetkililerinden alınmıştır.)

	Kuyu No	KOI	BOI ₅	pH
OCAK	3	37,6	5,9	6,58
	4	32,0	3,6	6,71
	5	38,6	3,8	6,95
MART	3	8,7	4,6	6,57
	4	9,9	4,7	6,68
	5	38,7	9,8	7,03

8 hektar şev ve 8 hektar gövdede olmak üzere toplam 16 hektar alanda şevlerde şev başına 30 cm ve şev dibine 1-10 m, gövde üzerinde 30 cm drenaj malzemesi (16/32) serilmiştir. Drenaj malzemesi örtü tabakasına yataklık ederek, muhtemel çökmelerin vereceği hasarı minimuma indirmektedir. Ayrıca çakıl tabakası, gaz borularına gidemeyerek yüzeye çıkan gazın üniform bir şekilde yayılmasını sağlamaktadır.

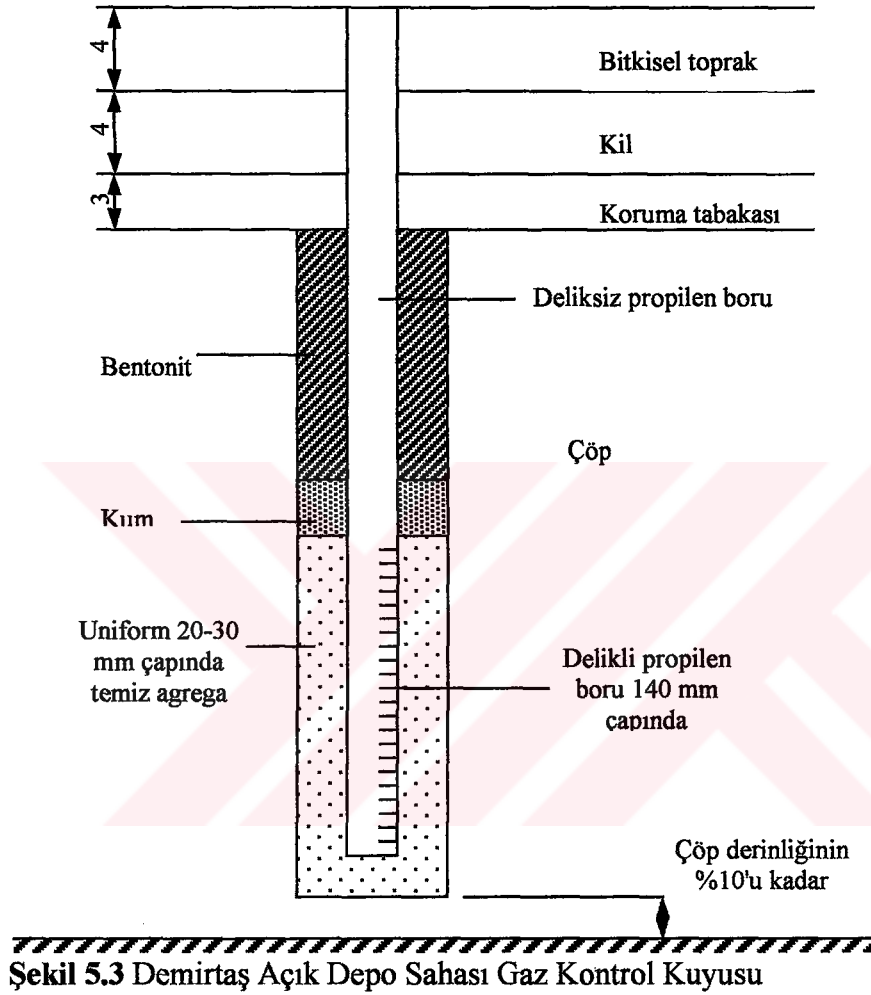
Drenaj malzemesi üzerine 40 cm kalınlığında geçirimsiz kil tabakası teşkil edilerek geçirimsiz tabaka oluşturulmuştur. Bu tabaka 20'şer cm'lik iki tabaka halinde kompaktör yardımıyla sıkıştırılarak dökülmüştür. Kil tabakası üzerine 40 cm kalınlığında tohum yeşermesine ve bitki büyümesine uygun bitkisel toprak serilmiştir.

Düzenlenen şevlerde toprak kaymasını önlemek amacıyla erozyon önleme çalışmaları yapılmış ve yapılan çitlerin önüne 3 m ara ile fidan dikilmiştir. Dikilen fidanların sulanması için bütün fidanların önüne damlama boruları geçirilmiş ve fidanların sulanması sağlanmıştır. Ayrıca çöp sahası çevresine saha üzerinden gelen suların uzaklaştırılması için kuşaklama kanalları, saha dışından gelen suların sahaya zarar vermesini önlemek amacıyla da derivasyon kanalları tertiplenmiştir. Çöp sahası çıkış, geliş ve bağlı bulunduğu cadde üzerinde bordür-tretuvar düzenleme çalışmaları yapılmıştır.

5.2.4 Gaz Kontrolü

Çöp depolama sahasında oluşan depo gazının kontrol edilebilmesi için gaz kontrolü yoluna gidilmiş bu amaçla sahada 51 tane gaz kuyusu açılmıştır. Gaz bacaları 40-60m aralıklarla açılmıştır.

Gaz kuyuları Rotary ve Darbeli Yöntem olmak üzere iki farklı yöntemle açılmıştır. Rotary yöntemi ile açılan gaz kuyularının çapı 350 mm, darbeli yöntemle açılan gaz kuyularının çapı ise 450 mm'dir. Yapılan çalışmalar esnasında depo gazı kuyularının açılmasında darbeli yöntemin diğer yöntemle göre daha uygun ve verimli olduğu gözlenmiştir.



Kuyunun tabanı zeminden çöp kütlesi yüksekliğinin % 10'u kadar yukarıda olmasına, sondajın burada bitirilmesine dikkat edilerek açılmıştır. Açılan sondaj kuyuları, çöpteki sıcaklık ve yüksek yoğunluklu sızıntı suyu konsantrasyonuna dayanıklı 140mm anma çapında delikli HDPE filtre borular ile teçhiz edilmiştir. Oluşturulan borular, gövde çöp kotundan 3 m yükseğe çıkarılarak gazlar atmosfere deşarj edilmiştir. Şekil 5.3'de gaz kuyusu kesiti görülmektedir. Bu kuyulardan çıkan gazlar belli periyotlarla ölçüme tabi tutulmuş olup, gaz kuyularının ölçümleri sonuçları Tablo 5.3'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre gaz geri kazanım sistemi tasarlanmıştır.

5.2.5 Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi

Saha 10 yıl süre ile kiralanarak, yap-işlet modeli ile çıkan metan gazlarının toplanıp, değerlendirilerek elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacıyla Ocak 1997'de ihale edilmiştir. Yapılan anlaşma gereği enerji satış net tutarının 1. Ve 2. Yıllar için % 3'ü diğer yıllar için % 6'sı oranında kira bedeli müteahhit firma AKSA Enerji AŞ tarafından belediyeye ödenmektedir. Enerji geri kazanma sisteminin (HDPE gaz toplama boruları, gaz toplama merkezleri, sızıntı suyu rögarları, yakma bacası, emme ünitesi, 5 adet otto içten yanmalı gaz motoru ve otomatik kontrol sistemi) toplam maliyeti 1.5 milyon Dolardır. Tesisin binası Bursa Büyükşehir Belediyesince sağlanmıştır. Tesisin üretim kapasitesi 1,4 MW olup gaz emiş kapasitesi 900m³/sa'dır. Tesis Kasım 1998'de elektrik üretimine başlamış olup 1 Şubat 2001 tarihi itibarıyla TEDAŞ'tan elde edilen bedel 180.000 Dolardır. Tesisin yaklaşık olarak 8-12 yıl hizmet verebileceği tahmin edilmektedir. Tesiste kullanılan ekipmanlar ve borulama ile ilgili teknik veriler Tablo 5.4'de tesisteki ekipmanlara ait fotoğraflar ise Şekil A.1-Şekil A.9 arasında verilmiştir. Sahanın rehabilitasyon durum haritası ise Şekil A.10'da görüldüğü gibidir.

Gazın jeneratör yakıtı olarak kullanılabilmesi için CH₄ miktarının % 40'dan fazla, O₂ miktarının % 6'dan az olması gerekir. Oksijen miktarının % 6'dan fazla olması verimli yanmayı gerçekleştirmez. Tesis tamamen otomatik kontrollü olarak çalıştığından metanın % 40'ın altına oksijenin de % 6'nın üzerine çıktığı durumlarda çekilen gaz motorlara girmeden yakma bacasında 1200°C'da yakılmaktadır (Salihoğlu, 2000).

Depo gazının enerji yakıtı olarak kullanılması sonucu elde edilen 380 V'luk elektrik, trafo ile 34,5 kVA'ya yükseltilmektedir. 1.4 MW/saat ve 34,5 kVA olarak elde edilen elektriğin enterkonnekte hattına bağlanması 28 Kasım 1998'de gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki elektrik üretimi bölgedeki elektrik kesintilerinde (genel arıza, bakım kesintileri) otomatik olarak kesilmektedir. Tesiste Nisan 2001 tarihine kadar üretilen elektrik miktarı Tablo 5.5'de ve aylara göre elektrik üretimi grafiği Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

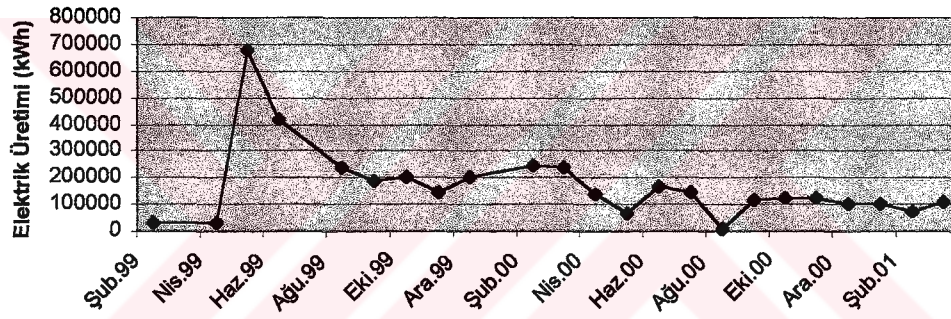
Tablo 5.3 Demirtaş Eski Çöp Döküm Sahasında Açılan Gaz Kuyularında Yapılan Ortalama Gaz Ölçüm Sonuçları (Kargı ve Seyrek, 1997)

Baca No	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	T (°C)
1	45	55	31,8
2	45	55	48,1
3	44	56	45,0
4	43	57	55,8
5	48	52	44,4
6	47	53	45,5
7	43	58	41,3
8	42	59	32,2
9	44	57	34,1
10	44	57	36,0
11	43	58	30,2
12	40	60	32,5
13	44	56	40,8
14	42	58	41,8
15	41	59	33,0
16	41	59	33,4
17	42	58	38,2
18	42	58	35,7
19	42	58	33,5
20	44	56	46,6
21	42	58	35,7
22	43	57	35,3
23	43	57	37,3
24	46	54	33,7
25	33	67	32,8
26	42	58	33,4
27	37	63	33,4
28	45	56	30,8
29	45	56	35,8
30	47	53	42,1
31	45	56	36,8
32	44	57	36,9
33	45	56	38,7
34	44	57	35,6
35	43	57	32,6
36	46	58	34,8
37	47	55	33,0
38	46	53	41,7
39	44	54	36,3
40	46	54	31,2
41	46	56	37,8
42	46	54	38,4
43	46	54	38,1
44	50	54	35,4
45	45	50	41,7
46	46	56	35,8
47	47	53	30,2
48	48	52	36,9
49	50	50	32,8
50	55	45	36,6
51	60	45	38,1

Tablo 5.4 Demirtaş Açık Depo Sahası Ekipman ve Borulama Teknik Verileri

Üretim Kapasitesi	1,4 MW
Gaz Emiş Kapasitesi	900 m ³ /saat
Gaz Kuyusu Sayısı	51 adet
Gaz Toplama Borusu Çapı	110 mm
Kollektör Merkezi Sayısı	12 adet
Kollektör Merkezinden Çıkan Boruların Çapı	160 mm
Ana Toplayıcı Borunun Çapı	220 mm
Blover sayısı	2 adet
Otto İçten Yanmalı Jeneratör Sayısı ve Kapasitesi	5 adet / 250 kW
Yakma Bacası Sıcaklığı	1200 ° C

Şebekedeki elektriğin frekans oynaması, voltaj düşüklüğü ve elektrik kesintileri az elektrik üretilmesine sebep olmuştur.



Şekil 5.4 Aylara Göre Elektrik Üretimi

Metan ve oksijen yüzdelerinin sürekli olarak değişmesi tesisin çalışması açısından istenmeyen bir durumdur. Bu düzensizlik hali motorlarda hasara sebep olmakta ve dolayısıyla bakım masrafları arttırmakta ve tesisin sürekli üretim yapabilmesini engellemekte ve bu durum da verimi düşürmektedir.

5.3 İstanbul Kemberburgaz Açık Depo Sahası

İstanbul'da 1953 yılına kadar çöpler denize dökülmüştür. Daha sonra ise Levent-Sanayi Mahallesi, Seyrantepe, Ümraniye-Mustafa Kemal Mahallesi gibi şehre yakın yerlere çöpler vahşi döküm şeklinde dökülmüştür. Bu bölgelerin gecekonduyla dolması üzerine çöp döküm alanı olarak Ümraniye-Hekimbaşı, Yakacık, Aydınli,

Halkalı, Habibler, Şişli-Feriköy ve son olarak da Kemerburgaz-Hasdal kullanılmıştır. (İSTAÇ, 2001)

Tablo 5.5 Demirtaş Tesisi Elektrik Üretim Değerleri

Tarih	Eklenik Elektrik Üretimi (kWh)
Şubat 1999	27.876
Nisan 1999	555.480
Mayıs 1999	735.667
Haziran 1999	1.156.440
Ağustos 1999	1.394.335
Eylül 1999	1.584.852
Ekim 1999	1.784.729
Kasım 1999	1.931.298
Aralık 1999	2.133.181
Şubat 2000	2.375.540
Mart 2000	2.616.778
Nisan 2000	2.755.917
Mayıs 2000	2.817.692
Haziran 2000	2.983.229
Temmuz 2000	3.126.974
Ağustos 2000	3.132.042
Eylül 2000	3.249.032
Ekim 2000	3.373.491
Kasım 2000	3.497.397
Aralık 2000	3.599.010
Ocak 2001	3.698.620
Şubat 2001	3.772.378
Mart 2001	3.882.579

Kemerburgaz'da 1995 ve 1996'da meydana gelen büyük boyutlu çöp kaymaları yüksek ekonomik maliyetler getirmiştir. Yine 28 Nisan 1993'de Ümraniye-Hekimbaşı çöp sahasında ani bir kayma meydana gelmiş ve yaklaşık 350.000 m³ çürümüş atık, çığ halinde 500 m aşağıdaki vadiye ve oradan da Pınarbaşı mahallesinin sınırlarına yığılmıştır. Birkaç ev çöp yığınının altında kalmış ve 27 kişi hayatını kaybetmiştir.

Tüm bu olumsuzluklar karşısında İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul'da 1995 Ocak ayından itibaren iki adet düzenli depo sahasını işletmeye açmış ve çöpler buralarda hücreleme metoduyla sıhhi bir şekilde depolanmaya başlamıştır. Bu düzenli depo alanlarının biri Odayeri/Göktürk mevkiinde, diğeri de Kömürcüoda/Karakiraz köyü mevkiinde kurulmuştur.

Daha önce vahşi çöp depolama alanı iken 1995 yılında kapatılan Kemerburgaz Açık Depo Sahası'nda, Türkiye'de ilk defa uygulanacak aktif gaz depolama sistemiyle

gazların toplanarak arıtılması ve sonra metan gazı yakılarak elektrik enerjisi elde edilmesi için Çöp Gazından Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi Kurulmuştur. Böylece kontrol dışı oluşan gazların çevreye zarar vermeden, ekonomik şartlarda bertaraf edilmesi ve değerlendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca çöplüğün rehabilitasyonu aşamasında öncelikle çöp kaymasına mani olmak için 2 adet sedde yapımı, çöp yüzeyinin örtülmesi, şev düzenlenmesi gibi tedbirler de müteahhit firma tarafından gerçekleştirilmiştir. Kılıç deresinin 610 m'lik kısmı da bu kapsamda ıslah edilmiştir.

5.3.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi

1998 yılı itibarıyla kullanıma kapatılan Kemerburgaz Açık Depo Sahası 1980 yılı başlangıç kabul edildiğinde 18 yıllık bir tarihe sahiptir ve 577.000 m²'lik bir yüzeye yayılmıştır (BİMTAŞ,2000).

Kojenerasyon tesisleri Kemerburgaz Açık Depo Sahası içinde, dolgu olmayan düzgün bir yerde inşaa edilmiştir. Tesisi denizden yüksekliği yaklaşık 100 m'dir. Bağıl nem %50 civarındadır. Bölgede deniz iklimi görülmektedir ve ortalama hava sıcaklığı 15°C'dır. Civar çevre çok az tahrip olmuş olup ormanlık ve yeşilliktir.

İstanbul ilin nüfusu yaklaşık 10.000.000 kişidir. İstanbul Türkiye'nin sosyal ve ekonomik açıdan çok gelişmiş bir yöresidir. İstanbul'da endüstriyel yatırım olarak enerji, elektrik-elektronik, tekstil, gıda, otomotiv, makine, metal, ağaç, inşaat malzemeleri, kağıt ve basın-yayın gibi değişik sektörlerde faaliyet gösteren çeşitli kuruluşlar bulunmaktadır.

5.3.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi

58 hektarlık bir alana yayılmış olan Kemerburgaz vahşi çöp depolama sahasında, evsel, ticari ve endüstriyel olmak üzere yaklaşık 5,7 milyon m³ (saha sorumlularının verdiği bilgilere göre ise 8,2 milyon m³) atık mevcuttur. İstanbul ilindeki katı atıkların özellikleri çeşitli kaynaklara göre Tablo 5.6'da verilmiştir.

5.3.3 Gaz Oluşum Potansiyeli

Nisan 1999 tarihinden itibaren İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından; katı atık gazları ile ilgili olarak, ilgili kuruluşlara yaptırılan araştırma aşamasında bir gaz

pompalama deneyi gerçekleştirilmiştir. Katı atık gövdesinde açılan kuyularda yapılan deney sonuçlarına göre; ortalama debi: 23,1 m³/sa ve hacimce CH₄: %56,8 ve O₂: %1,2 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.6 İstanbul İli Atık Özellikleri (% Yaş ağırlık olarak) (Toröz ve Arıkan, 1999)

	Baştürk (1979)	WHO/UNDP (1981)	CH2Mhill (1992)	Öztürk Vd (1996)
Kül	29	14,6	15	13,2
Organik Madde	46,5	60,6	45	48
Kağıt	19	18,8	14,5	8,4
Plastik	3,5	3,1	9,5	11
Cam	3	0,7	3,8	4,6
Tekstil	3	3,1	5,6	2,9
Metal	1,5	1,5	2,2	2,3
Diğerleri	1,5	6,9	4,4	6,3
Çocuk Bezi				3,2

Değerlendirme amacıyla, gazın perfore kısımdan 1,5 m yukarıdan ve 8,5 m aşağıdan çekildiği kabul edilmiş, aynı zamanda akış etki yarıçapı 20 m ve etki derinliği 10 m alınarak hesaplanan gaz üretimi Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7 Kemerburgaz Açık Depo Sahası Gaz Üretimi Tahmini (BİMTAŞ, 2000)

Atık Miktarı	2000	2005
5.7 milyon m ³	6.312 m ³ /sa	4.418 m ³ /sa
8,2 milyon m ³	9.080 m ³ /sa	6.556 m ³ /sa

5.3.4 Kemerburgaz Açık Depo Sahası Enerji Geri Kazanım Tesisinin Tanıtımı

Toplam çöp hacmi ve derinliklerinin teyidine bağlı olarak ve gaz üretim potansiyeli çöp gazı pompalama denemesinin sonuçlarına göre Kemerburgaz Açık Depo Sahası metan gazından 6 MW elektrik enerjisi üretmek için elverişli olduğu anlaşılmıştır. Çıkan bu gazlar, elektrik üretme tesisinde bulunan direkt olarak çöp gazı ile start alabilen, enerji verimi % 38,8 olan 20 silindirli özel gaz motorlarında yakıt olarak kullanılarak; bu motorların çalıştıracağı alternatörler vasıtasıyla yaklaşık 6 MW elektrik elde edilecektir. Egzost ısısının da kullanılmasıyla motorların enerji verimi %80'e çıkabilmektedir. Şekil B.1-Şekil B.10 arasında gaz geri kazanım tesisinde

kullanılan ekipmanların fotoğrafları görülmektedir. Jeneratör binasının yerleşim planı ise Şekil B.11'de verilmiştir.

Elde edilecek olan, toplam çöp gazının içinde olabilecek yaklaşık %50 metan gazıyla toplam 6 MW motor için gerekli olan çöp gazı miktarı 3.900 m³/sa olup; zamanla metan gazının kalitesinin düşmesiyle, motorun ihtiyacı olan kalorifik miktarı karşılamak amacıyla çöp gazı miktarının artırılması düşünülerek %20 toleransla 4.680 m³/sa çöp gazı temin edilmesi gerekebilecektir. Bu durumda elektrik enerjisi üretim grupları 3 x 1 MW ve akabinde + 3 x 1 MW olmak üzere toplam: 6 MW olarak düzenlenmiştir.

Tablo 5.8 Kemerburgaz Açık Depo Sahası Ekipman ve Borulama Teknik Verileri

Üretim Kapasitesi	6 MW
Gaz Emiş Kapasitesi (%20 toleransla)	4680 m ³ /saat
Gaz Kuyusu Sayısı	180 adet
Gaz Toplama Borusu Çapı	110mm
Kollektör Merkezi Sayısı	15 adet
Kollektör Merkezinden Çıkan Boruların Çapı	250 mm
Ana Toplayıcı Borunun Çapı	400 mm
Blover sayısı	3 adet
Jeneratör Sayısı ve Kapasitesi	6 adet / 1 MW
Jeneratörün enerji verimi	% 38,8

6 MW elektrik üretimi için gerekli yakıtı sağlayacak gaz hacmini temin edecek 180 adet çöp gazı çıkarma kuyusu yapılmıştır. Kuyulardan ortalama 26 m³/sa çöp gazı çıkartılacaktır. Çıkarılan gaz 15 manifoldda toplandıktan sonra 3 ana kollektörle gaz santraline taşınmaktadır. Sahada kullanılan tüm ekipman HDPE malzemeden imal edilmiştir. Kuyu yerleşim planı Şekil B.12'de, kuyu detay resmi ise Şekil B.12'de verilmiştir.

Kuyulardan çıkarılan gaz istasyondaki düşük basınçlı blowerlar ile çekilir. Gaz içindeki su buharı ve zararlı gazlar filtrelerle tutulur. Saflaştırılmış gaz soğutuculardan geçtikten sonra gaz motorlarına gönderilir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kurmuş olduğu bu tesis yılda yaklaşık 50.400.000kWh elektrik enerjisi üreterek enerji üretimine katkıda bulunacak, aynı

zamanda çevreye zarar verecek olan çöp gazlarını da değerlendirerek çevre koruması sağlamış olacaktır.

Çıkan baca gazları (içindeki CO₂) ve termal enerji, bu proje dahilinde ve aynı mahalde kurulacak seralarda; doğrudan ve öncelikle İstanbul Büyükşehir Belediyesi bünyesindeki Park ve Bahçeler Müdürlüğü tarafından değerlendirilecek ve ayrıca ısınma amacıyla kullanılacaktır. Isı üretim ve enerji tesislerinin şeması Şekil B.14'de verilmiştir.

Elde edilecek olan elektrik enerjisi İstanbul Büyükşehir Belediyesi kuruluşlarından aynı 34,5 kV Enerji İletim Hattı güzergahında bulunan 1.600 kVA+400 kVA kurulu gücü olan çöp işleme kompost tesislerinde ve 1.400 kVA kurulu gücü olan Odayeri çöp toplama merkezi tesislerinde kullanılacak olup, kalan miktar ilgili kuruluş olan BEDAŞ ile ESA (Elektrik Satış Anlaşması) çerçevesinde, mahsuplaşma metoduyla değerlendirilecektir.

Kullanılmayan gazın yakılarak bertaraf edilmesi gerekli olduğundan dolayı istasyonun yanında 1 adet yakma bacası bulunmaktadır.

5.3.5 Projenin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Ekonomik değerlendirme; elektrik birim fiyatı 0,07 Dolar/kWh ve yağ birim fiyatı 3,00 Dolar/lt olarak kabul edilerek yapılmıştır. Metan gazının tesiste elde edileceğinden dolayı fiyatı yoktur.

Toplam yatırım maliyeti Tablo 5.9 'da da ayrıntılı olarak görüldüğü gibi 5.433.000 Dolar'dır. Yıllık toplam işletme geliri Tablo 5.10'da görüldüğü gibi 4.284.000 Dolar'dır. Yıllık toplam işletme giderleri ise Tablo 5.11'de verildiği gibi 1.248.767 Dolar/yıl'dır.

Tesis tam kapasite çalıştığı durumda gelir ve gider arasındaki fark yani yıllık kar 3.035.233 Dolar/yıl olur. %65 verimlilik sağlandığı durumda ise elde edilecek kar 1.972.901 Dolar/yıl'dır. Aynı şekilde %65 verimlilik sağlandığı durumda üretilen elektrik miktarı da 32.760.000 kWh/yıl olacaktır. Tesisin yatırım maliyetinin 5.433.000 Dolar olduğu ve ekonomik ömrünün 15-20 yıl olarak hesaplandığı göz önüne alındığında sistem kendisini 2-3 yıl içinde geri ödeyebilecektir.

Tablo 5.9 Toplam Yatırım Tablosu (BİMTAŞ, 2000)

1 Arsa bedeli	0
2 Şantiye giderleri	20.000
3 Etüt proje giderleri	270.000
4 Mühendislik giderleri	245.000
5 Bina inşaat giderleri	300.000
6 Makine teçhizat giderleri	4.491.000
7 Yardımcı işletme makine ve teçhizat giderleri (6. Madde kapsamındadır)	0
8 Taşıma ve sigorta giderleri	32.000
9 Montaj giderleri	30.000
10 Genel giderler	10.000
11 Diğer giderler (seralar, vb)	35.000
TOPLAM YATIRIM	5.433.000

Tablo 5.10 Yıllık Toplam İşletme Gelirleri (BİMTAŞ, 2000)

	Üretilen Enerji	Birim Fiyat	
Toplam Elektrik Enerjisi Geliri	50.400.000 kWh/yıl	0,07 Dolar/kWh	3.528.000 Dolar/yıl
Toplam Termal Enerji Geliri	6.000 MCalh	0,015 Dolar/MCalh	756.000 Dolar/yıl
YILLIK TOPLAM GELİR			4.284.000 Dolar/yıl

Tablo 5.11 Yıllık Toplam İşletme Giderleri (BİMTAŞ, 2000)

	Yıllık Toplam Tüketim	Birim Fiyatı	
Gaz	128.326.800 kWh/yıl	0,001 Dolar/kWh	128.327 Dolar/yıl
Yağ	5.040 L/yıl	3,00 Dolar/L	15.120 Dolar/yıl
Elektrik	840.000 kWh/yıl	0,07 Dolar/kWh	588.000 Dolar/yıl
Personel ¹	18 kişi	1.000 Dolar	288.000 Dolar/yıl
Elektrik taşıma gideri ²			229.320 Dolar/yıl
YILLIK TOPLAM GİDER			1.248.767 Dolar/yıl

¹ Personele yılda 4 defa ikramiye verileceği düşünülmüştür.

² Elektrik taşıma gideri üretimin % 6.5 'idir.

5.4 İzmir Harmandalı Düzenli Depolama Alanı

5.4.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi

İzmir ve çevresinde yapılan düzenli depolama alanının yer seçiminde bir çok alternatif alan incelenmiş ve en uygun bölgenin kentin kuzey yakasında bulunan Harmandalı Köyü civarı olduğu tespit edilmiştir. Harmandalı Düzenli Depolama

Alanı İzmir il sınırları içerisinde, Karşıyaka ilçesine bağlı Harmandalı köyünün 2.5km doğusunda yer almaktadır. Şehir merkezinden 25 km uzaklıkta olan alana İzmir-Karşıyaka-Menemen devlet karayolunun 12. km'sinde ayrılan Harmandalı köyünden ulaşılmaktadır (TİR, 1997).

İzmir şehrinde üretilen katı atıkların bertaraf edildiği 6 adet düzensiz çöp depolama alanının kapatılmasıyla Harmandalı Düzenli Depolama Tesisi 8 Nisan 1992 yılında hizmete girmiştir.

90 ha'lık (900 000 m²) bir alana sahip olan depo alanı, 15 yıl boyunca İzmir'in ihtiyacını karşılayacak olup, bu alanda sanayi, evsel ve hastane atıkları kendilerine ayrılmış özel bölgelerde depolanmaktadır. Tesisin mevcut kapasitesi gerekli önlemlerin alınmaması halinde 2003-2004 yıllarına kadar yeterlidir (TİR, 1997). Tesisin kapasitesi dolan evsel atık döküm bölgelerinden biri kapatılarak üstü 0.5-1 m kalınlığında killi toprak ile örtülerek gaz drenajına yönelik ekipman montajı yapılmıştır (TİR, 1996).

Alan yeraltı su kaynağının bölgesinde bulunmamaktadır. Alanda yaptırılan jeolojik etüt raporuna göre, alan geçirimsizlik kat sayısı 10^{-7} - 10^{-10} m/sn arasında değişen killi malzeme ile kaplıdır. Alanın etrafı tel çit ile çevrili olup, alan içerisinde 2 katlı idari bina ve araç bakım atölyesi mevcuttur. Ayrıca depolama alanına gelen tüm katı atık miktarının belirlenebilmesi için kantar ve kantar binası bulunmaktadır (TİR, 1997).

Alanda sanayi ve hastane atıkları, geçirimsizliği en az olan bölgede açılan çukurlara konularak üzerleri toprakla örtülmektedir. Evsel atık bölgesine gelen atıklar, iş makineleri ile yayılıp, sıkıştırıldıktan sonra belli aralıklarla üzeri toprak malzeme ile düzenli olarak örtülmektedir.

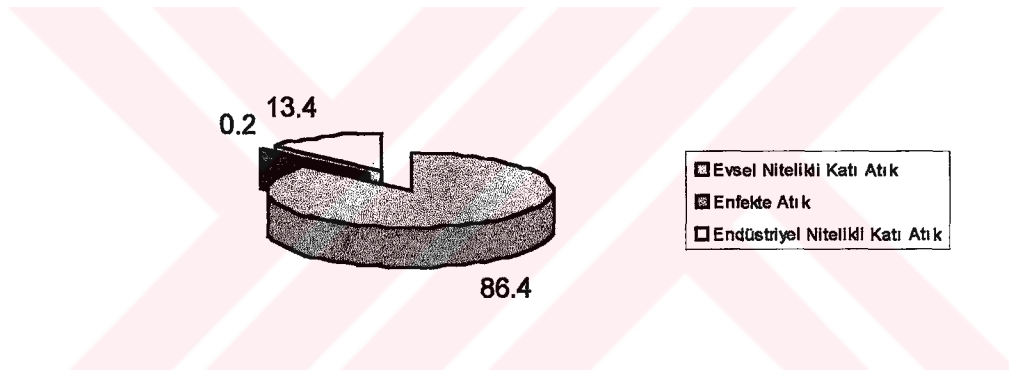
5.4.2 Katı Atık Miktarı ve Bileşimi

Harmandalı Düzenli Depo Alanındaki evsek atık bölgesine 1994 yılı sonuna kadar yaklaşık toplam 950.000 ton evsel atık depolanmıştır. İzmir'in çöp karakteristiğine bakıldığında organik madde içeriğinin çok yüksek olduğu özellikle yaz aylarında bu değerin %60-70'lere çıktığı görülmektedir (TİR, 1997).

İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden alınan veriler doğrultusunda, senelik ortalama çöp miktarı 1.580,8 ton/gün olarak belirlenmiştir.

TÇT-İGA-RUST (TİR) firmalarının oluşturduğu müşavir ve kontrolör firmanın yürütmüş olduğu saha çalışmaları ile İzmir katı atığını nicelik ve nitelik bakımından incelemek üzere yaz ve sonbahar döneminde saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Harmandalı Düzenli Depo Alanı İzmir çöpünün %85'ini kabul etmektedir. Bu depo alanına gelen atıkların dağılımı Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

Saha çalışmaları kapsamında, farklı sosyo-kültürel yapıdaki semtlerde, sanayi ve ticari faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde meydana gelen katı atıklar için elek ve laboratuvar analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ile ilgili örnek raporlar Ek 1'de verilmiştir. İzmir geneli bu bağlamda beş gruba ayrılmış ve neticelerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Elde edilen bulgular Tablo 5.12 'de özetlenmiştir.



Şekil 5.5 Harmandalı Düzenli Depo Alanının Kabul Ettiği Atıkların Miktarının Dağılımı (TİR, 1997)

Tablo 5.12'de organik madde olarak ifade edilen grup içinden alınan numuneler üniversite laboratuvarına götürülerek organik madde muhtevası, su muhtevası ve kalorifik değerlerinin bulunması sağlanmıştır. Farklı sosyo-kültürel yapıdaki semtlerde sanayi ve ticari faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde meydana gelen katı atıkların ortalama kalorifik değerleri Tablo 5.13'de verilmiştir.

Tablo 5.12 Farklı Sosyo-Kültürel Yapıdaki Semtlerde, Sanayi Ve Ticari Faaliyetlerin Yoğun Olduğu Bölgelerde Meydana Gelen Katı Atıkların Bileşimi (TİR, 1997)

Parametre	Düşük Gelir Seviyesi (%)	Orta Gelir Seviyesi (%)	Yüksek Gelir Seviyesi (%)	Ticari Bölgeler (%)	Sanayi Bölgeleri (%)
Organik Madde	74,8	60,9	50,9	18,4	41,5
Kağıt	4,7	10,5	12,5	68,0	12,5
Karton	0,9	0,9	2,1	7,3	4,1
Cam-Şişe	2,7	4,8	6,9	14,8	3,1
Teneke-Metal	1,5	2,2	3,0	9,3	4,8
Plastik	8,1	11,9	15,6	62,3	8,2
Karışık ambalaj	0,9	2,0	2,2	8,4	0,8
Köpük malzemeler	0,0	0,1	0,0	0,3	0,7
Büyük boyutlu plastik	0,2	0,3	0,8	7,0	0,0
Tahta	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
Tekstil	3,7	2,5	1,9	39,5	22,9
Pil	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
Taş, fayans, porselen	1,1	0,6	0,1	2,5	0,7
Çocuk bezi, hijyenik ped	1,1	2,9	3,1	4,8	0,1
Diğer (gıda kutuları vs)	0,2	0,4	0,6	2,6	0,5
Toplam	100	100	100	100	100

5.4.4 Sızıntı Suyu Özellikleri

Evsel atıkların depolandığı bölge vadi şeklinde olup burada oluşan çöp sızıntı suları alan içinde inşa edilmiş toprak lagünlerde biriktirilerek, yaz aylarında alan içerisindeki fiskiyeler yardımıyla buharlaştırılmış kış aylarında ise doğrudan alıcı ortama deşarj edilmiştir. Ancak şu anda sistemde sızıntı suyu toplanması ve çevrimi yapılmamaktadır. Bu sebeple numune alınarak analiz edilememiştir. Yalnız yeni evsel atık depolama sahasından gelen sızıntı suları tesis içerisindeki kimyasal ön

arıtmadan geçirilerek şehrin arıtma tesisine verilmektedir. Şekil C.8'de Harmandalı düzenli depolama alanı sızıntı suyu toplama lagünü, Şekil C.9'da da sızıntı suyu arıtma tesisi görülmektedir.

Tablo 5.13 Farklı Sosyo-Kültürel Yapıdaki Semtlerde Sanayi Ve Ticari Faaliyetlerin Yoğun Olduğu Bölgelerde Meydana Gelen Katı Atıkların Ortalama Kalorifik Değerleri (TİR, 1997)

Atık Grubu	Ortalama Kalorifik Değer (kcal/kg)				
	Düşük Gelir Seviyesi	Orta Gelir Seviyesi	Yüksek Gelir Seviyesi	Ticari Bölgeler	Sanayi Bölgeleri
İnce grup atıklar (<8 mm)	2010	3304	3996	3207	1869
8-40 mm karışık organik atıklar	3480	3884	4214	3249	3908
10-120 mm kaba atıklar	3711	3615	4023	3169	3318
>120 mm	4673	3581	4319	3054	4012

5.4.5 Tesisin Tanıtımı ve Gaz Kontrolü

Tesis 1250 m³/sa depo gazını toplayarak yakılmasını sağlayacak şekilde projelendirilip 05.06.1996 tarihinde devreye alınmıştır. Tesis birimleri genel olarak çöp sahası toplama bacaları, baca borulama ve kollektörleri ile sistemden çıkan gazların yakıldığı gaz blowerleri, gaz yakma bacası ve elektrik enstrüman panosundan oluşmaktadır (TİR, 1997). Tesise ait ekipmanlara ait fotoğraflar Şekil C.1-Şekil C.7 arasında görülmektedir.

Sahadaki mevcut kuyulardan derinlik ve verimliliklerine göre seçilen ve her biri 25m yarıçapında bir alanın gazlarını toplayan kuyulara kuyu başlığı monte edilmiştir. Kuyu başlıkları çelikten imal edilmiştir ve çapları 250mm, boyları takriben 2,5m uzunluğunda ve 6 bar basınca kadar dayanıklı olan bir kapak ile donatılmıştır. Kuyu şekli Şekil C.10 ve Şekil C.11'de görülmektedir. Gaz kuyusunun başı, mevcut olan gaz kuyularının üzerine geçirilerek, hazneye karşı, kil ile tecrit edilmiştir. Gaz sızdırmaz olan ve gaz kuyusunun tepesine vidalanan kapağın merkezinde kör tapa şeklinde bir kapak bulunmaktadır. Bu kapağın nominal çapı 250 mm'dir. Bu kapak sayesinde kuyudaki su seviyesinin kontrolü mümkündür. Ayrıca fazla su kuyuda bulunduğu takdirde bir dalgıç pompayı kuyunun dibine yerleştirerek biriken sızıntı

sularının tahliyesi mümkündür. Kuyu başlıkları toprak altındaki HDPE borulara galvaniz parçalarla bağlanmıştır.

Gaz kuyusunun başının kenarında, ucunda flanş yerleştirilmiş bir bağlantı borusu bulunmaktadır. Bu boruya gaz emme teşkilatının emme borusu bağlanır. Emilen gaz miktarını ayarlamak için gaz kuyu başı ile gaz emme borusu arasına üzerinde bir kapatma ve ayarlama klapesi bulunan bir ölçüm mahali konmuştur. Bu teşkilat sayesinde her bir kuyudan gelen gaz miktarı, gazın basıncı ve gazın ısı derecesi ölçülebilmektedir.

Kuyulardan gelen gaz çöp sahasında toprak altında döşenmiş ve üzeri toprakla takviye edilmiş HDPE esaslı borularla toplanmakta ve bir kollektör vasıtasıyla çöp döküm alanı dışındaki yakma tesisine iletilmektedir. Kollektörün şekli Şekil C.12'de verilmiştir. Gaz boruları bir kum ve mıcır yatağının üzerinde boru çukurlarına döşenmiş ve akabinde etrafları 10 cm kalınlığında bir kum veya mıcır tabakası ile örtüldükten sonra 60 cm kalınlığında bir toprak tabakası ile kaplanarak örtülmüştür. Gaz kuyularından ana nakil hatlarına giden gaz borularının nominal çapı 80 mm'dir. Ana boruların çapları 150-250 mm arasında değişmektedir. Dağıtım hattının en derin noktasından mevcut döküm yerine geçişte bir kondensat toplayıcı bölme mevcuttur.

Tablo 5.14 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Ekipman ve Borulama Teknik Verileri

Mevcut Gaz Kuyusu Sayısı	67 adet
Verimli Olan Kuyu Sayısı	18 adet
Gaz Toplama Borusu Çapı	80 - 150 mm
Kollektör Merkezi Sayısı	1 adet
Ana Toplayıcı Borunun Çapı	250 mm
Blover sayısı ve Kapasitesi	2 adet - 650 m ³ /saat
Yakma Bacası Sıcaklığı ve Kapasitesi	>1000 ° C / 1200 m ³ /sa

Vadi şeklinde olan katı atık depo alanının en derin bölgesi ortalama 25 m olup, toplanan gaz içerisinde %40-60 oranında metan mevcuttur. Metanın % 25'de düşük oksijenin ise %6'dan yüksek olduğu durumlarda sistem otomatik olarak durmaktadır.

5.5 İstanbul Yakacık Açık Depo Sahası

5.5.1 Tesisin Yeri ve Kullanım Süresi

Yakacık Açık Depo Sahası İstanbul ili, Kartal ilçesi sınırları içerisinde, Yakacık Toplu Konut Sahası içerisinde yer almaktadır.

Çöplük 1979 yılında kullanıma açılmıştır. 1979 yılından itibaren Kartal ve Pendik ilçelerinin 100.000 kişilik nüfusunun evsel ve sanayi atıkları bu çöplüğe dökülmüştür. 1984 yılından sonra çöplüğün kapatıldığı 1992 yılına kadar Kartal ve Pendik ilçelerindeki nüfusun tamamının çöpü Yakacık Açık Depo Sahası'nda depolanmıştır (Öztürk ve Arıkan, 1998).

5.5.2 Katı Atık Miktarı ve Özellikleri

Yakacık Açık Depo Sahası'nda 80.000 m² alan üzerinde yaklaşık olarak 600.000 m³ atık depolanmıştır. Her yıl depolanan atık miktarı Tablo 5.15'de verilmiştir. Depolanan atıkların bileşimi Yakacık Açık Depo Sahası Islah Projesine göre Tablo 5.16'deki gibidir.

Tablo 5.15 Yakacık Açık Depo Sahasında depolanan atık miktarı (Öztürk ve diğ., 2000)

Yıl	Katı Atık Miktarı	
	t/yıl	kümülatif (t)
1979	7000	7000
1980	7000	14000
1981	7000	21000
1982	7000	28000
1983	7000	35000
1984	7000	42000
1985	49178	91178
1986	52553	143731
1987	55927	199658
1988	59302	258960
1989	62676	321636
1990	66050	387686
1991	69425	457111

Tablo 5.16 Yakacık Açık Depo Sahasında Depolanan Katı Atık Bileşimi (Öztürk ve Arıkan, 1998).

Kül ve cüruf	% 14.6
Organik madde	% 60.6
Kağıt	% 10.1
Plastik	% 3.1
Cam	% 0.7
Tekstil	% 3.1
Metal	% 1.5
Diğer	% 6.1

5.5.3 Gaz Oluşum Potansiyeli

Yakacık Açık Depo Sahası Islah Projesi Uygulama Raporu'nda tahmin edilen gaz miktarları Tablo 5.17'de verilmiştir (Öztürk ve Arıkan, 1998).

Bu raporda üst yüzey dolgusunun tam olarak yapılması halinde planlanan gaz toplama sistemleri ile oluşan gazın % 60'ının toplanabileceği ve maksimum gaz miktarının 533 m³/sa olduğu belirtilmiştir.

Öztürk ve diğ. (2000) Yakacık Açık Depo Sahasında oluşacak gaz miktarını Tabasaran formülüne göre hesaplamışlardır.

Tablo 5.17 Yakacık Açık Depo Sahası Islah Projesi Uygulama Raporu'nda Tahmin Edilen Gaz Miktarları (Öztürk ve Arıkan, 1998)

Yıllar	Gaz Toplama Verimi, %	Gaz Miktarı, m ³ /sa
1992	40	452
1993	40	418
1994	40	385
1995	60	533
1996	60	492
1997	60	453
1998	60	419
1999	60	386
2000	60	356

$$G_t = 1,898.C_o.(0,014T+0,28)(1-10^{-kt}) \quad (5.1)$$

Bu formülde

C_o : Katı atığın toplam organik karbon muhtevası (kg/t katı atık)

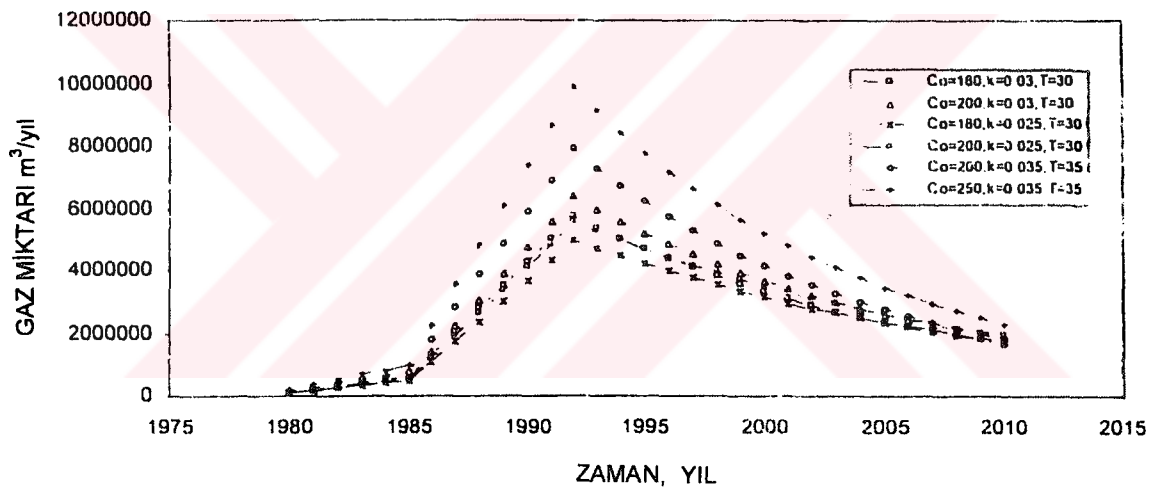
T : Çürümüş atığın sıcaklığı (°C)

t : Depolanan atığın yaşı (yıl)

k : Atık ayrışma hızı (1/yıl)

G_t : t. yıl için depo alanında özgül gaz oluşumu (m³ gaz/t-katı atık)

Tablo 5.15'deki veriler kullanılarak Şekil 5.6'da görüldüğü gibi çeşitli C_o , T ve k değerleri için gaz miktarları hesaplanmıştır. %100 geri kazanımda maksimum gaz miktarı 730 m³/saat olarak bulunmuştur (Öztürk ve diğ., 2000).



Şekil 5.6 Yakacık Açık Depo Sahası İçin Tahmin Edilen Gaz Miktarı (Öztürk ve diğ., 2000)

5.5.4 Yakacık Açık Depo Sahası Gaz Toplama ve Yakma Sisteminin Tanıtımı

Yakacık Açık Depo Sahası rehabilitasyon projesi; sızıntı suyu toplama ve bertaraf sistemi, yüzeysel su kontrol kanalları, düşey gaz toplama kuyuları, başlıklar ve HDPE gaz toplama boruları, düşük geçirimli üst tabaka (yaklaşık 60 cm sıkıştırılmış toprak), gaz kompresörleri ve gaz yakıcı, parklar ve oyun sahaları ve emniyet çitinden oluşmaktadır.

Depo alanında gazı toplamak üzere 11 adet düşey gaz kuyusu inşa edilmiştir. Kuyu yerleşim planı Şekil 5.7'de görülmektedir. Borular HDPE'den imal edilmiş ve aralarına mıcır filtre malzemesi konmuştur. Kuyu başlığının emme hattına bağlantısı esnek bir hortumla yapılmıştır ve kuyudan çekilen gaz debisi başlık üzerindeki vana yardımıyla ayarlanabilmektedir. Gaz kuyuları münferit olarak serilmiş HDPE borularla çöplüğün batı tarafındaki işletme binasında galvaniz borudan bir toplayıcıya ayrı ayrı bağlanmıştır.

Gaz toplayıcıya bağlı bütün hatlar, üzerindeki vanalar yardımıyla tek tek ayarlanabilmekte ve istendiğinde kapatılabilmektedir. Her bir HDPE borunun üzerindeki numune alma noktasında ilgili kuyudaki gaz bileşimi ölçülebildiği gibi ayrıca açık olan kuyulardan gelen toplam gazın kompresöre girmeden önce bileşimini ölçmek için bir gaz ölçüm noktası da mevcuttur.

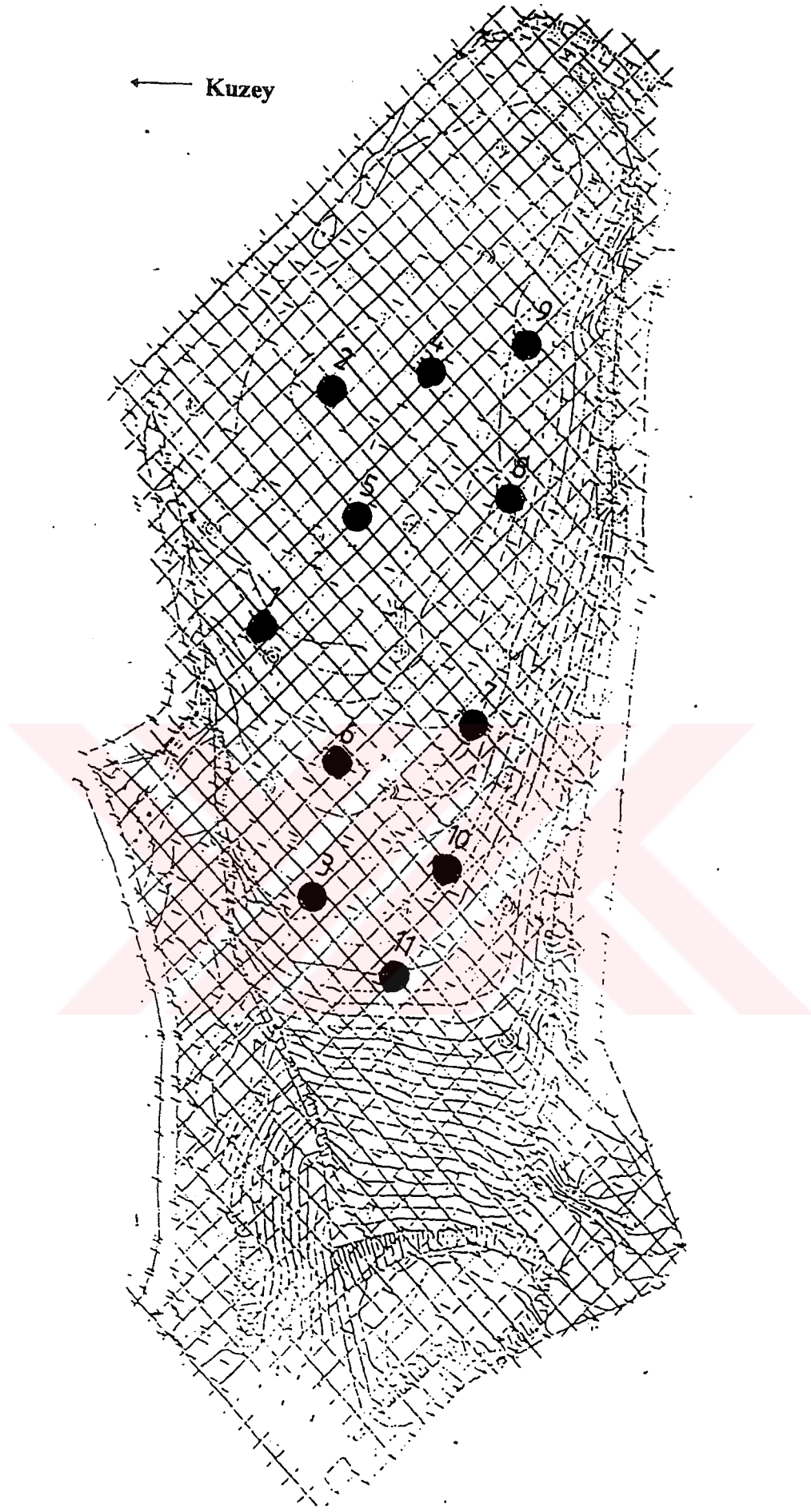
Depo gazı yakma tesisine gelen gazlar bir kondensat tutucudan geçtikten sonra kompresörle çekilerek yakma sıcaklığı 800°C olan yakma bacasına verilmektedir. Tutulan kondensat ise sızıntı suyu toplama deposuna tahliye edilmektedir.

Gaz toplama sisteminde 250 m³/sa ve 750 m³/sa olmak üzere 2 adet kompresör mevcuttur. Ancak işletmede çalışan personelden alınan bilgiye göre 750 m³/sa'lik kompresör sistem devreye alındığından beri sadece 9 saat çalıştırılmıştır. Sistem devreye alındığından beri toplam olarak 354.062 m³ gaz yakılmıştır. Tesis haftanın 7 günü günde 8 saat açıktır. Gaz toplama sistemine ait ekipmanların fotoğrafları Şekil D.1 - Şekil D.7 arasında gösterilmiştir.

Kompresörler, ölçüm sistemleri, emniyet sistemleri ve kumanda odası bir konteynera yerleştirilmiştir. Kompresörlerin bulunduğu bölümde bir havalandırma ve ısıtma tertibatı hava sıcaklığına göre otomatik olarak devreye girmektedir.

Tesisin tamamı kumanda odasında bulunan kontrol panosundan kontrol edilmektedir. CH₄ muhtevası % 30'un altına düştüğünde ve O₂ muhtevası % 3'ü geçtiğinde gaz yakıcıya gaz besleme sistemi otomatik olarak durmaktadır. Seyyar gaz ölçüm cihazı Şekil D.8'de görülmektedir.

Şekil D.10'da ise sızıntı suyu toplama havuzu görülmektedir.



Şekil 5.7 İstanbul Yakacık Açık Depo Sahası Kuyu Yerleşim Planı (Öztürk ve Arıkan,1998)

Rehabilitasyon projesi çerçevesinde Yakacık Açık Depo Sahası çevresine, katı atık sahasından çevreye yayılabilecek gazları tahliye etmek maksadıyla 5 m derinlikli ve 80 cm genişlikli gaz toplama hendeği inşa edilmiştir. Gaz hendeğinin içi toplanan gazın pasif olarak atmosfere verilmesine imkan vermek üzere 16-32 mm kırma taşla doldurulmuş ve üzeri geçirimli iri taşla korumaya alınmıştır. Çevresel gaz hendeği aktif gaz toplama sistemine bir ilave olup çevredeki binalara ve kanalizasyon sistemine gaz sızmasına mani olmaktadır. Çevresel gaz hendeği Şekil D.10'da görülmektedir.

5.6 Türkiye'de Depo Gazı Üretim Potansiyeline Genel Bir Bakış

Katı atıkların miktar ve özellikleri ülkeden ülkeye değiştiği gibi aynı ülkede bölgeden bölgeye hatta aynı şehirde semtten semte değişebilmektedir. Bu değişim insanların sosyo-ekonomik yapısı ile yakinen alakalı olmakla beraber en çok gelir seviyesi ile tüketim ve kullanma alışkanlıklarına bağlıdır. Ülkemizde kişi başına çöp üretimi 0,61 kg/kişi-gün iken bu değer Avrupa ülkelerinde 1,5-2 kg/kişi-gün, ABD'de 3 kg/kişi-gün'dür. Ülkemizde bu değer çok değişken olup bazı kırsal bölgelerde sıfıra yaklaşırken bazı bölgelerde 2-3 kg/kişi-gün'e çıkmaktadır. Örneğin İstanbul ortalaması 0,65 kg/kişi-gün iken Beyoğlu'nda bu değer 2 kg/kişi-gün'e çıkmaktadır (Demir ve diğ, 1999).

21.03.2000 Tarihinde yayımlanan Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı Çevre İstatistikleri Kapsamında 1996 Belediye Çevre Envanteri Anketinin Geçici Sonuçlarına göre; Türkiye genelinde günde kişi başı ortalama katı atık miktarı, yapılan hesaplamalar sonucunda; yaz mevsimi için 1.31 kg/kişi-gün, kış mevsimi için 1.44 kg/kişi-gün ve yıllık ortalama ise 1.39 kg/kişi-gün olarak bulunmuştur.

Depo gazından enerji elde edilmesi amacıyla geri kazanılması, 1.000.000 m³'den daha fazla atık ihtiva eden depo alanlarında ekonomik olmakla beraber daha küçük depo alanlarında da gaz geri kazanımının yapılması uygun olabilmektedir. Türkiye'de 1997 Genel Nüfus Tespiti Kesin sonuçları Ek E'de verilmiştir. Bu tabloya göre merkez nüfusu nüfusu 500.000'den fazla olan illerin depo gazı potansiyelleri Tablo5.18-21'de verilen tablolarda hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kişi başına üretilen katı atık miktarı 1 kg/kişi-gün olarak alınmıştır. Yaklaşık 10 yıl süreyle

karışık evsel katı atık depolanan bir açık depo sahasından % 75 geri kazanım esası ile 5-15 yıl boyunca elde edilebilecek biyogaz miktarı 6-9 m³/t-KA-yıl alınabilmektedir (USEPA, 1996).

Tablo 5.18 Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri
% 75 Gaz geri kazanımı ve 9 m³ metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre

İL	NÜFUS	YILLIK ÇÖP MİKTARI	YILLIK ÇÖP MİKTARI	%75 GERİ KAZANIM İLE YILLIK GAZ POTANSİYELİ	%75 GERİ KAZANIM İLE SAATLİK GAZ POTANSİYELİ	ENERJİ POTANSİYELİ
	kişi	ton	m ³	m ³ /yıl	m ³ /saat	MW
Adana	1179944	430680	538349	3876116	442	2.0
Ankara	3016114	1100882	1376102	9907934	1131	5.0
Antalya	601674	219611	274514	1976499	226	1.0
Bursa	1144899	417888	522360	3760993	429	1.9
Diyarbakır	630165	230010	287513	2070092	236	1.1
Gaziantep	790869	288667	360834	2598005	297	1.3
İçel	649954	237233	296542	2135099	244	1.1
İstanbul	8440541	3080797	3850997	27727177	3165	14.1
İzmir	2093026	763954	954943	6875590	785	3.5
Kayseri	560939	204743	255928	1842685	210	0.9
Konya	691106	252254	315317	2270283	259	1.2
Ş.Urfa	533528	194738	243422	1752639	200	0.9
TOPLAM						33.9

Tablo 5.19 Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri
% 30 Gaz geri kazanımı ve 9 m³metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre

İL	NÜFUS	YILLIK ÇÖP MİKTARI	YILLIK ÇÖP MİKTARI	%75 GERİ KAZANIM İLE YILLIK GAZ POTANSİYELİ	%75 GERİ KAZANIM İLE SAATLİK GAZ POTANSİYELİ	ENERJİ POTANSİYELİ
	kişi	ton	m ³	m ³ /yıl	m ³ /saat	MW
Adana	1179944	430680	538349	1550446	177	0.8
Ankara	3016114	1100882	1376102	3963174	452	2.0
Antalya	601674	219611	274514	790600	90	0.4
Bursa	1144899	417888	522360	1504397	172	0.8
Diyarbakır	630165	230010	287513	828037	95	0.4
Gaziantep	790869	288667	360834	1039202	119	0.5
İçel	649954	237233	296542	854040	97	0.4
İstanbul	8440541	3080797	3850997	11090871	1266	5.6
İzmir	2093026	763954	954943	2750236	314	1.4
Kayseri	560939	204743	255928	737074	84	0.4
Konya	691106	252254	315317	908113	104	0.5
Ş.Urfa	533528	194738	243422	701056	80	0.4
TOPLAM						13.6

Tablo 5.20 Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri
% 75 Gaz geri kazanımı ve 6 m³metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre

İL	NÜFUS	YILLIK ÇÖP MİKTARI	YILLIK ÇÖP MİKTARI	%75 GERİ KAZANIM İLE YILLIK GAZ POTANSİYELİ	%75 GERİ KAZANIM İLE SAATLİK GAZ POTANSİYELİ	ENERJİ POTANSİYELİ
	kişi	ton	m ³	m ³ /yıl	m ³ /saat	MW
Adana	1179944	430680	538349	2584077	295	1.3
Ankara	3016114	1100882	1376102	6605290	754	3.4
Antalya	601674	219611	274514	1317666	150	0.7
Bursa	1144899	417888	522360	2507329	286	1.3
Diyarbakır	630165	230010	287513	1380061	158	0.7
Gaziantep	790869	288667	360834	1732003	198	0.9
İçel	649954	237233	296542	1423399	162	0.7
İstanbul	8440541	3080797	3850997	18484785	2110	9.4
İzmir	2093026	763954	954943	4583727	523	2.3
Kayseri	560939	204743	255928	1228456	140	0.6
Konya	691106	252254	315317	1513522	173	0.8
Ş.Urfa	533528	194738	243422	1168426	133	0.6
TOPLAM						22.6

Tablo 5.21 Merkez Nüfusu 500.000'den Fazla Olan İllerin Depo Gazı Potansiyelleri
% 30 Gaz geri kazanımı ve 6 m³metan gazı/ton Katı Atık-yıl kabulüne göre

İL	NÜFUS	YILLIK ÇÖP MİKTARI	YILLIK ÇÖP MİKTARI	%75 GERİ KAZANIM İLE YILLIK GAZ POTANSİYELİ	%75 GERİ KAZANIM İLE SAATLİK GAZ POTANSİYELİ	ENERJİ POTANSİYELİ
	kişi	ton	m ³	m ³ /yıl	m ³ /saat	MW
Adana	1179944	430680	538349	1033631	118	0.5
Ankara	3016114	1100882	1376102	2642116	302	1.3
Antalya	601674	219611	274514	527066	60	0.3
Bursa	1144899	417888	522360	1002932	114	0.5
Diyarbakır	630165	230010	287513	552025	63	0.3
Gaziantep	790869	288667	360834	692801	79	0.4
İçel	649954	237233	296542	569360	65	0.3
İstanbul	8440541	3080797	3850997	7393914	844	3.8
İzmir	2093026	763954	954943	1833491	209	0.9
Kayseri	560939	204743	255928	491383	56	0.2
Konya	691106	252254	315317	605409	69	0.3
Ş.Urfa	533528	194738	243422	467371	53	0.2
TOPLAM						9.0

5.7 Dünyada Metan Geri Kazanımı İle İlgili Yapılan çalışmalara  rnekler

Depo gazı; öncelikli olarak kontrol edilmesi gerekli bir kirletici olmasına rağmen, metan ihtiva etmesi sebebiyle kıymetli bir enerji kaynağıdır. Dünyada bir çok ülkede enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Dünyada 700'den fazla depo gazı geri kazanma tesisi vardır. (www.lfgint)

Depo gazı ilk defa 1970'lerin sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'nde yakıt olarak kullanılmıştır. Daha sonra Avrupa Birliği  lkeleri de depo gazını kullanmaya başlamışlardır. Depo gazının kullanılmaya başlanması neticesinde, depo gazı toplama ve kullanma teknolojisi de gelişmeye başlamıştır. Endüstriyel gelişme ve h k metlerin desteklediği araştırma programları sayesinde depo gazının enerji olarak geri kazanımı bugün en başarılı yenilenir enerji kaynaklarından biri olmuştur.

Bir depo alanının, bir gaz kullanma tesisini beslemek için yeterli bir gaz miktarına ulaşması birkaç yıl sürer. İyi tasarlanmış ve iyi işletilen depo alanlarında gaz oluşumu 50-100 yıl kadar sürer. Ancak sadece 10-15 yıl boyunca elde edilen gaz kullanılmaya uygundur.

Sadece iyi tasarlanmış ve iyi işletilen depo alanları gaz toplama ve enerji geri kazanımı için uygun olurlar. İyi tasarlanmamış ve kötü yönetilen depo alanları uygun olmaz. Dünya genelinde pek çok ülkede öncelikli olarak atık yönetimi uygulamaları geliştirilmeli ve iyileştirilmelidir. Bu sebeple dünya genelinde sadece 20 kadar ülkede depo gazının enerji olarak geri kazanılması yapılmaktadır. Depo gazını en çok kullanan  lkeler ABD, Kanada ve Avrupa Birliği  lkeleridir.

Avrupa birliği ülkelerinde atık bertarafının depo alanlarına boşaltılmasında ziyade "atık hiyerarşisi" olarak adlandırılan azaltma, tekrar kullanma ve geri kazanma sistemine dönüşme eğilimi olması sebebiyle depo gazı kullanımı gittikçe azalacaktır. Metan emisyonlarının azaltılması için daha fazla kontrol tedbirlerinin alınması depo alanları endüstrisini alternatif bertaraf metotları bulmaya zorlayacaktır. Avrupa Birliği  lkelerinde atık bertarafı için çok farklı metotlar kullanılmaktadır.  ye devletlerden bazıları bertaraf metodu olarak depolamayı kullanmaktadırlar ve atıklarının % 90'dan fazlasını depolamaktadırlar. Diğer  ye devletler ise depo

alanlarını kullanmayı azaltmaktadırlar ve 2010 yılına kadar atıklarının % 10'undan daha azını depolamayı amaçlamaktadırlar.

Depo gazı geri kazanımı ve kullanılması başta Avrupa ülkeleri ve Amerika olmak üzere tüm dünyada hızla yaygınlaşmaktadır.

Atıklarını genel olarak vahşi döküm alanlarında depolayan gelişmekte olan ülkelerde atık bertarafı için düzenli depolama uygulamaları yeterince yaygın değildir. Bununla birlikte, patojen mikroorganizmaların yayılmasını önlemek ve atıklardan çıkan kokuyu elimine etmek için vahşi döküm alanlarını düzenli depo alanlarına çevirmeye doğru bir eğilim vardır.

Depo gazı kullanılması hemen hemen dünya çapında yaygınlaşan bir endüstri haline gelmiştir. Bir çok ülkede atıklardan enerji geri kazanımı üzerine projeler hazırlanmaktadır. Tüm dünyada depo gazını enerji kaynağı olarak kullanmak üzere bir çok Araştırma ve Geliştirme projeleri geliştirilmektedir. Tablo 5.22'de dünya genelindeki ve Tablo 5.23'de Avrupa Birliği ülkelerindeki depo gazı tesislerinin dağılımı verilmiştir.

Tablo 5.22 Dünya Genelinde Depo Gazı Uygulama Projelerinin Dağılımı
(www.lfgpost3)

	Mevcut Kapasite MW	Beklenen Kapasite MW
	1996	2010
DÜNYA GENELİ	1385	4529
EU¹ + EFTA²	573	1577
CEE³	0	25
CIS⁴	0	225
NAFTA⁵	730	2326
OECD Pacific⁶	30	199
AKDENİZ	0	4
AFRİKA	2	23
ORTA DOĞU	0	10
ASYA	30	91
LATİN AMERİKA	20	49

¹ Avrupa Birliği Ülkeleri

² İzlanda, Norveç, İsviçre

³ Arnavutluk, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Polonya, Romanya, Slovakya ve Yugoslavya

⁴ Ermenistan, Azarbaycan, Beyaz Rusya, Gürcistan, Kazakistan, Kırgızistan, Moldova, Rusya, Tacikistan, Türkmenistan, Ukrayna ve Özbekistan

⁵ Kanada, Meksika ve Amerika Birleşik Devletleri

⁶ Avustralya, Japonya ve Yeni Zelanda.

Avrupa'da depo gazı kullanımı diğer ülkelere göre oldukça yaygındır. Avrupa'da geri kazanılan depo gazının % 55'i kazanlarda ve fırınlarda gazı direkt yakılmaktadır. Bu metot en yaygın olan kullanım biçimidir. Gazın % 45'i motorlarda kullanılmaktadır. Ancak depo gazını motorlarda ve türbinlerde kullanarak elektrik üretmek gittikçe doğrudan yakmanın yerini almaktadır (Gendebien ve diğ., 1992).

Tablo 5.24'de dünyada 1990 yılına kadar uygulanmakta olan depo gazı kullanılması işleri ve kullanılan depo gazının yıllık miktarı verilmektedir. Tablo 5.24'den görüldüğü gibi 1990 yılında 481 depo alanında 5 milyar m³'den fazla depo gazı kullanılarak geri kazanımı sağlanmıştır.

Tablo 5.23 Avrupa Birliği Ülkelerinde Depo Gazı Uygulama Projelerinin Dağılımı
(www.lfgpost2)

Pazar Bölgesi	Mevcut Kapasite MW	Beklenen Kapasite MW
	1996	2010
AVUSTURYA	10	2
BELÇİKA	2	27
DANİMARKA	10	23
FİNLANDIYA	0	11
FRANSA	20	69
ALMANYA	170	286
YUNANİSTAN	0	12
İRLANDA	12	11
İTALYA	10	160
LÜKSEMBURG	0	1
HOLLANDA	120	100
PORTEKİZ	0	2
İSPANYA	5	27
İSVEÇ	49	20
İNGİLTERE	145	589
NORVEÇ	20	27
AB	573	1366

Tablo 5.24 Dünyada Uygulanan Depo Gazı Kullanma İşlerinin Listesi (1990 yılına kadar) (Gendebien ve diğ., 1992)

Ülke	Depo gazı kullanan tesis sayısı	Kullanılan depo gazı ($10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$)	Petrol eşdeğeri (10^3 ton/yıl)	Tjoule ($10^3/\text{yıl}$)
Belçika	1	0,127	0,06	0,0025
Danimarka	6	8,5	4	0,167
Almanya	98	400	189	7,9
Fransa	4	50	23	1
Yunanistan	0			
İrlanda	0			
İtalya	13	38	18	0,75
Hollanda	13	70,5	33,5	1,4
Portekiz	0			
İspanya	2			
İngiltere	33	178	84	3,5
Avusturya	1	1,5	0,7	0,03
İsveç	24	60	28	1,2
İsviçre	7	9	4,2	0,178
Brezilya	9			
Kanada	9	26	12	0,5
Şili	1			
Kolombiya	1			
USA	244	4300	2000	85
Güney Afrika	2			
Avustralya	4			
Hong-Kong	1			
Hindistan	3			
TOPLAM	481	5142	2396	102

5.7.1 Danimarka

Danimarka'daki depo alanları genellikle küçüktür. 1981'den beri Danimarka Enerji Bakanlığı küçük depo alanlarından geri kazanılan depo gazının karlı bir şekilde geri kullanılmasının değerlendirilmesi için yapılan programları desteklemektedir. Tablo 5.25'de Danimarka'da depo gazını enerji olarak geri kazanan 5 tesisin özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.25 Danimarka'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri (Gendebien ve diğ., 1992)

	Grindsted	Hedeland	Made	Ostdeponie	Viborg
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	5,0	6,5	12		15
Depo Alanı derinliği (m)	5-12	15-30	18	8	8
Depolanmaya başlandığı tarih	1978	1978	1968	1980	1982
Depo alanının kapatılma tarihi	2020	1979			
Gaz kullanımının başladığı tarih	1985	1986	1989	1989	1985
Kullanılan atığın miktarı (10 ⁶ ton)	0,25	1,0	1,4	0,4	0,37
Gaz çıkarma sisteminin tipi ve sayısı	Kuyu	41 kuyu	48 kuyu	24 kuyu	43 kuyu
Nihai kullanım tipi	ısı	ısı	Isı ve enerji	Isı ve enerji	Isı ve enerji
Gaz üretim hızı (m ³ /sa)	121	100	350	200	150
Metan muhtevası (%)	50	40	40	60	45
Metan oluşum hızı (m ³ /sa)	60	40	140	120	68
Gaz oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)	3,5	0,87	2,18	4,37	3,55
Metan oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)	1,75	0,35	0,87	2,62	1,60
Yıllık enerji üretimi (MW)	0,6	0,4	1,4	1,2	0,67

5.7.2 Almanya

Federal Almanya Cumhuriyeti depo gazı enerji geri kazanma tesislerinin fazlalığı sebebiyle Avrupa ülkeleri içerisinde en ileri durumdadır. 1986'ya kadar Almanya'da 20 depo alanı gaz geri kazanma tesisi kurulmuştur. Bir yıl sonra Almanya'da 50 tane depo gazı kullanma tesisinin devreye alındığı yayınlanmıştır. 1988'in sonlarında Almanya'da depo gazından ısı üreten 28 doğrudan yakma tesisi devreye alınmıştır. Üretilen ısı ısınma amacıyla veya kağıt ve tuğla fabrikası gibi endüstrilerde proses

ısıyı üretmek üzere kullanılmıştır. 1988'in sonlarında 46 depo gazı kullanma tesisinde elektrik üretmek için 116 gaz motoru devreye alınmıştır. Bugün 98 tesiste depo gazı kullanımı yapılmaktadır. Almanya'da hiç gaz türbini kullanılmamıştır. Bugün Almanya ham depo gazını doğrudan kullanarak ısı ve elektrik enerjisi üretme şeklinde depo gazının nihai kullanımını gerçekleştirmesi eğilimindedir. Tablo 5.26 ve 27'de 10 gaz geri kazanım tesisinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.26 Almanya'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri (Gendebien ve diğ., 1992)

	Am Lemberg	Burghof	Hailer ¹	Hencelheim	Hohberg
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	12	14	23	7	10
Depo Alanı derinliği (m)			20	8	60
Depolanmaya başlandığı tarih			1976	1969	1972
Depo alanının kapatılma tarihi			1994	1977	1992
Gaz kullanımının başladığı tarih	1981	1980	1987	1983	1981
Kullanılan atığın miktarı (10 ⁶ ton)		0,6	2,2	0,45	2
Gaz çıkarma sisteminin tipi ve sayısı	Kuyu ve hendek	Kuyu ve hendek	Kuyu	Kuyu ve hendek	Kuyu ve hendek
Nihai kullanım tipi	Isı	Isı ve elektrik	Isı ve elektrik	Isı	Elektrik
Gaz üretim hızı (m ³ /sa)	1300	500	1400	500	320
Metan muhtevası (%)	45	50	48	45	
Metan oluşum hızı (m ³ /sa)	585	250	672	225	
Gaz oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)		7,3	5,46	9,73	1,4
Metan oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)		3,65	2,62	4,38	
Yıllık enerji üretimi (MW)	5,8		6,7		0,5

¹ Hailer depo alanında H₂S, CO₂ ve N₂ arıtımı yapılmaktadır.

Tablo 5.27 Almanya'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri (Gendebien ve diğ., 1992)

	Karlsruhe	Kemna	Lampertheimer Wald ¹	Rastorf	Reinstetten
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	22	70	27	2,7	7
Depo Alanı derinliği (m)		Max 70	40	10	15
Depolanmaya başlandığı tarih	1959	1953	1974	1977	
Depo alanının kapatılma tarihi	1994	1974	2010		
Gaz kullanımının başladığı tarih	1984	1985	1985		1984
Atık miktarı (10 ⁶ ton)	3,5		2,2	0,36	
Gaz çıkarma sisteminin tipi ve sayısı	Kuyu	7 kuyu	Kuyu	29 Hendek	Kuyu ve hendek
Nihai kullanım tipi	Isı	Isı	Isı ve elektrik	Isı ve elektrik	Elektrik
Gaz üretim hızı (m ³ /sa)	1500	110	2400	580	150-180
Metan muhtevası (%)	50	50	48	50	52
Metan oluşum hızı (m ³ /sa)	750	55	1152	290	
Gaz oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)	3,75	0,88	9.56	14.1	
Metan oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)	1,88	0,44	4.59	7.1	
Yıllık enerji üretimi (MW)	7,49	0,55	11,5	2,89	0,24

¹ Lampertheimer -Wald depo alanında H₂S, CO₂ ve N₂ artımı yapılmaktadır.

5.7.3 Fransa

Fransa, depo gazından faydalanma sistemlerini tatbik etmede diğer ülkelere göre daha yavaş davranmaktadır. Fransa'da 9 depo gazı kullanma tesisi mevcuttur. Bunlardan beşinden ısı üretilmekte birinden elektrik birinden de hem ısı hem elektrik üretilmektedir. Dört depo alanında gaz çıkarılması kuyularla sağlanmıştır.

5.7.4 İtalya

İtalya'da 1990 yılı itibarıyla depo gazı kullanılması yapılan 13 tesis mevcuttur. Bir tesiste gaz türbini kullanılmakta ve bir diğerinde depo gazı sera ısıtmak için kullanılmaktadır. 11 motor depo gazı ile çalışmaktadır.

5.7.5 Hollanda

Hollanda'da dört tesiste depo gazı elektrik üretmek üzere yakıt olarak kullanılmaktadır. İki sistemde ise doğal gaz kalitesine getirilerek boru hattına verilmektedir. Bir tesisten çıkan gaz buhar üretmek üzere kazanda yakılmaktadır. Başka bir tesisten elde edilen gaz ise tuğla fabrikasında yakılarak kullanılmaktadır.

5.7.6 İngiltere

İngiltere Almanya ile birlikte depo gazı nihai kullanıcısı olarak dünyada ikinci sırayı paylaşmakta ve Avrupa'da ilk sırada yer almaktadır. Depo gazı geri kazanımı yapılan 33 tesis vardır. 23 depo alanından çıkan gaz ısı ve elektrik enerjisi olarak kullanılmakta, 12 tesisten çıkan gaz ise yakılmaktadır.

5.7.7 Avusturya

Avusturya'da depo gazı kullanımı 1980'lerde başlamıştır. Muster depo alanından çıkarılan depo gazı iki kazanın ocağında yakıt olarak kullanılmaktadır. Üretilen ısı ise civardaki evlerin ve küçük tesislerin ısıtılması için kullanılmaktadır.

5.7.8 İsveç

İsveç'te depo gazı çıkarılması ve nihai kullanımı ile ilgili bir çok makale yayınlanmıştır. 1987'de yılda 80.000 MWh termal enerji sağlayabilen 6 depo alanına sahip olan İsveç'te 1992'de bu rakam 24'e ulaşmıştır. İsveç'te geri kazanılan depo gazının yüzde doksanı ısı, proses ısısı veya bir bölgenin ısınma ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Yüzde onu ise elektrik üretmek veya diğer ihtiyaçlar için kullanılır.

5.7.9 Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri depo gazı endüstrisinin lideridir. Metan gazının kullanımı 1970'lerin sonlarından beri devam etmektedir. Depo gazı kullanma projelerinin % 90'ında ham depo gazı kullanılıyor olmakla birlikte % 10'unda depo gazı boru hattı kalitesine getirilmektedir. En yaygın olarak nihai kullanım elektrik üretme şeklindedir. Tablo 5.28 ve 29'da Amerika'daki gaz kullanım tesislerinden 10 tanesinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.28 Amerika'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri (Gendebien ve diğ., 1992)

	Azusa	Burbank	Industry (Convention center)	Martinez	Mountain View ¹
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	32	40	61	109	162
Depo Alanı derinliği (m)	48	30	12	18	12
Depolanmaya başlandığı tarih	1958	1973		1954	1970
Depo alanının kapatılma tarihi	2009	2080	1977		1988
Gaz kullanımının başladığı tarih	1978	1988	1981	1982	1978
Atık miktarı (10 ⁶ ton)	10	1	1,5	5	3
Gaz çıkarma sisteminin tipi ve sayısı	60 kuyu	26 kuyu	30 kuyu	23 kuyu	73 kuyu
Nihai kullanım tipi	Isı	Elektrik	Isı/yakıt hücresi	Atıksu arıtma	Doğal Gaz
Gaz üretim hızı (m ³ /sa)	5600	425	637	2360	1003
Metan muhtevası (%)	48	41	51	57	62
Metan oluşum hızı (m ³ /sa)	2690	174	325	1346	622
Gaz oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)	4,90	3,70	1,89	4,12	2,92
Metan oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)	2,34	1,52	0,97	2,35	1,81
Yıllık enerji üretimi (MW)	29,8	1,7	3,24	13,4	6,2

¹ Mountain View depo alanında H₂S, CO₂ ve N₂ arıtımı yapılmaktadır.

Tablo 5.29 Amerika'da Depo Gazını Enerji Olarak Geri Kazanan 5 Tesisin Özellikleri (Gendebien ve diğ., 1992)

	Puente Hills Rio Hondo	Atlanta ¹	Blue Island	Manchester	Taylor
Depo Alanı büyüklüğü (ha)	461	24	53	12	
Depo Alanı derinliği (m)	53	24	18	15	
Depolanmaya başlandığı tarih	1957	1970	1966		1973
Depo alanının kapatılma tarihi	1993	1987	1986	1990	
Gaz kullanımının başladığı tarih	1984	1986	1983	1988	1988
Atık miktarı (10 ⁶ ton)		6	5		
Gaz çıkarma sisteminin tipi ve sayısı	Kuyu ve hendekler	90 kuyu	50 kuyu	23 kuyu	25 kuyu
Nihai kullanım tipi	Buhar	Doğal Gaz	Satış	Elektrik	Elektrik + Buhar
Gaz üretim hızı (m ³ /sa)	510	3541	4721	561	826
Metan muhtevası (%)	44	57	57	57	51
Metan oluşum hızı (m ³ /sa)	224	2018	2691	320	421
Gaz oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)		5,15	1,45	4,45	
Metan oluşumu (m ³ gaz/atık ton/yıl)		2,94	0,83	2,54	
Yıllık enerji üretimi (MW)	2,24	20,1	26,9	3,2	4,2

¹ Atlanta depo alanında H₂S, CO₂ ve N₂ arıtımı yapılmaktadır.

5.7.10 Kanada

Kanada'da katı atıkların %90'ı düzenli depolanmakla beraber sadece beş depo alanında gaz geri kazanılması ve kullanılması yapılmaktadır. Atıkların yaklaşık % 8'i de yakılmaktadır. Gaz geri kazanımı yapılmamasının sebepleri depo alanlarının genellikle çok küçük olması ve potansiyel kullanıcılara oldukça uzak mesafelerde bulunmalarıdır. Richmond tesisinde depo gazından ısı enerjisi elde edilmektedir.

5.7.11 Brezilya

Brezilya'da gaz çıkarılması yapılan 9 tesisten 2'sinde gaz doğal gaz kalitesine getirilerek boru hattına verilmekte 3'ünde ise araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır.

5.7.12 Güney Afrika

Güney Afrika'da 2 tesiste gaz geri kazanımı yapılmaktadır. Bunlardan birinde elde edilen gaz civardaki bir üniversiteye elektrik temin etmek üzere kullanılmakta diğerinden çıkan gaz ise tuğla fabrikasında yakıt olarak kullanılmak üzere yakılmaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve daha sonraki araştırmalar için öneriler aşağıda sunulmaktadır.

Depodan gaz çekilmesi depo gazını bir enerji kaynağı haline getirerek değerlendirmek ve gaz emisyonlarını azaltmak amacıyla gerçekleştirilir. Türkiye'deki depo gazı geri kazanma çalışmaları dünyadaki gelişmiş ülkelerdeki depo gazı geri kazanımı uygulamaları ile karşılaştırıldığında, ülkemizin bu endüstriyi çok geriden ve yavaş takip ettiği görülmektedir.

Türkiye'de Bursa Demirtaş ve İstanbul Kemerburgaz'da depo gazından enerji elde etme tesisleri, İzmir Harmandalı ve İstanbul Yakacık'da da depo gazını toplayıp yakarak atmosferik emisyonların azaltılmasını sağlayan yakma tesisleri bulunmaktadır. Bursa Demirtaş Açık Depo Sahası Türkiye'deki ilk uygulama olması bakımından önemlidir. Ancak tesis şu anda % 25-30 verimle çalışmaktadır. Yakacık Açık Depo Sahası'nda 10-11.07.98 tarihlerinde yapılan ölçümler sonucunda üç kuyunun etrafında oldukça fazla metan kaçağı olduğu gözlenmiş olup, daha sonrasında kuyuların etrafı açılarak 15 cm'lik tabakalar halinde toplam dört tabaka sıkıştırılmış kil döşenerek tam sızdırmazlık elde edilmiştir. Yakacık Açık Depo Sahasındaki 11 kuyudan da gaz çekimi yapılabilmektedir. İzmir Harmandalı Tesisi'nde kuyular uygun seçilmediğinden dolayı 67 kuyudan ancak 18 tanesinden gaz çekimi yapılabilmektedir. İstanbul Kemerburgaz Açık Depo Sahası enerji tesisleri sahanın büyüklüğü ve hem ısı hem de elektrik üreten bir kojenerasyon tesisi olması sebebiyle ülkemizde gelecekte kurulacak tesislere iyi bir örnek teşkil edecektir.

Türkiye'de ortalama 33,9 MW gaz enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Ancak bunun sadece 7,5 MW'lık kadarı kullanılmaktadır.

Dünya genelinde yüzlerce alanda depo gazı geri kazanma tesisi mevcuttur. Depo gazının geri kazanımı ve kullanılması başta Avrupa ülkeleri ve Amerika olmak üzere

tüm dünyada hızla yaygınlaşmaktadır. Avrupa'da depo gazı kullanımı diğer ülkelere göre oldukça yaygındır. Avrupa'da geri kazanılan depo gazının % 55'i kazanlarda ve fırınlarda yakılmaktadır. Bu metot depo gazının en yaygın olan kullanım biçimidir. Gazın % 45'i motorlarda kullanılmaktadır. Ancak depo gazını motorlarda ve türbinlerde kullanarak elektrik üretmek gittikçe doğrudan yakmanın yerini almaktadır.

Depolama alanlarında saha geçirimsizliği iyi sağlanarak sisteme oksijen girişi mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır. Kuyu civarında ve özellikle bağlantı borularında kaçakların olmamasına dikkat edilmelidir. Depo alanlarında kullanılacak kilin maliyeti ile depo gazının minimum kaybı ile elde edilecek gelirin fizibilitesi yapılmalıdır. Saha içinde uygun konumlandırılmamış ve teçhiz edilmemiş kuyular belirlenmeli, gerekiyorsa yeni kuyular açılmalıdır. Saha üzerindeki borulamaya ve yoğunlaşma suyu toplayıcılarının yerleştirilmesine özen gösterilmelidir. Mevcut çöpün özellikleri belirlenerek, özellikle organik madde muhtevası doğru tayin edilerek depo gazı tesisi boyutlandırılmalıdır.

Metan gazı geri kazanımında ilk amaç ekonomik olarak karlılık elde etmek olmasa da iyi tasarlanmış ve iyi işletilen tesisler kendilerini 2-3 yıl gibi kısa bir sürede geri ödeyebilirler. Böylece bu tür tesisler idareciler için daha cazip hale gelebilirler. Mevcut tesislerin olumlu yönleri ve verimi düşüren olumsuzlukları incelenerek yeni tesisler kurulması, kurulacak tesislerde üst geçirimsizliğin iyileştirilmesi, gerekirse geomembran kullanılması ve sızıntı suyunun geri devrettirilerek çöplükteki biyolojik aktivitenin artırılması tesislerin daha verimli çalışmalarını sağlayacaktır. Verimli gaz geri kazanımı yapılan depo sahalarında %30-35 ilave çöp hacmi de kazanılabilir.

KAYNAKLAR

- Bateman, C. S.**, 1993, Modelling Landfill Gas Production, *Fourth International Landfill Symposium*, Cagliari, Italy, 11-15 October, pp.581-591.
- BİMTAŞ**, 1999-2000. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kapatılmış Kemerburgaz Katı Atık Depo Alanında Oluşan Gazlardan Elektrik Enerjisi Elde Etme Projesi-Kojenerasyon Tesisi Fizibilite Raporu, İstanbul.
- Christensen, H., Cossu, R. and Segman, R.**, 1994, Sanitary Landfilling, New York.
- Demir İ., Altınbaş, M., Arıkan, O.**, 1999. Katı Atıklar İçin Entegre Yönetim Yaklaşımları, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu'99*, İstanbul, 17-19 Şubat 1999, s.252-262.
- Gendebien, A., Pauwels, M., Constant, M., Ledrut-Damanet, M-J., Nyns, E-J., Willumsen, H-C., Butson, J., Fabry, R., Ferrera, G-L.**, 1992. Landfill Gas From Environment to Energy - Final Report, Commission of the European Communities, Office for Official Publications of the European Communities, Brussels.
- İSTAÇ**, 2001. Tanıtım Broşürü.
- TİR**, 1997. İzmir Katı Atık Yönetimi Durum Değerlendirme Raporu, İzmir Büyükşehir Belediyesi, TİR (TÇT/İGA/RUST) Ortak Girişimi.
- TİR**, 1996. İzmir Katı Atık Yönetimi Projesi Müşavirlik ve Kontrol Hizmetleri Saha Araştırma Raporu 1, İzmir Büyükşehir Belediyesi TİR (TÇT/İGA/RUST) Ortak Girişimi.
- Kargı, İ. D., Seyrek, M.**, 1997. Demirtaş Eski Çöp Döküm Sahası Rehabilitasyon Projesi, Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı, Bursa.

- Lamborn, J. M.**, 1997. Landfill Gaz Generation at the Narre Warren Landfill Site Australia, *Sixth International Landfill Symposium*, Cagliari, Italy, 13-17 October, pp. 507-513
- McBean, E. A., Rovers, F. A. and Farquhar, G. J.**, 1995. Solid Waste Landfill Engineering and Design, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Nebioğlu, P.** 1998. Katı Atık Düzenli Depo Alanlarında Depo Gazının Eldesi İçin Teknik Tedbirler, *Bitirme Tezi*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Öztürk, İ., Arıkan, O.**, 1998. Yakacık Depo Gazı Yakma Tesisi İnceleme ve Tesbit Raporu, İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Öztürk, İ., Arıkan, O., Demir, İ., Baştürk, A.**, 2000. Interactions Between the Rehabilitated Landfill Site and Residential Area, *Proceedings of Wastecon 2000 Biennial Conference*, 5-7 September Somerset West, South Africa.
- Rhyner, C. R., Schwartz, L. J., Wenger, R. B., Kohrell, M. G.**, 1995. Waste Management and Resource Recovery, pp. 307-326, Lewis Publishers.
- Salihoğlu, N. K.**, 2000. Katı Atık Depolama Sahalarında Oluşan Metan Gazının Belirlenmesi ve Metandan Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Tabasaran, O.** 1979. Katı Atık Teknolojisindeki Gelişmeler, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.**, 1993. Integrated Solid Waste Management - Engineering Principles and Management Issues, pp. 381-417, McGraw-Hill International Editions.
- Toröz, İ., Arıkan, O.**, 1999. İstanbul'da Katı Atıkların Geri Kazanılmasının İncelenmesi, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu'99*, İstanbul, 17-19 Şubat 1999, s. 263-272

USEPA, 1996. A Guide for Methane Mitigation Projects - Gas to Energy at Landfills and Open Dumps, Draft Version 2, Eds. Orlic, M., Kerr, T., USEPA Office of Air and Radiation.

Yolcu, İ. D., 1999. Bursa Katı Atık Yönetimi, *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu'99*, İstanbul, 17-19 Şubat 1999, s. 300-309

www.lfgint. <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/atlas/htmlu/lfgint.html>

www.lfgpost3. <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/atlas/htmlu/lfgpost3.html>

www.lfgpost2. <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/atlas/htmlu/lfgpost2.html>





**EK A BURSA DEMİRTAŞ AÇIK DEPO SAHASI FOTOĞRAFLARI VE
ÇİZİMLERİ**



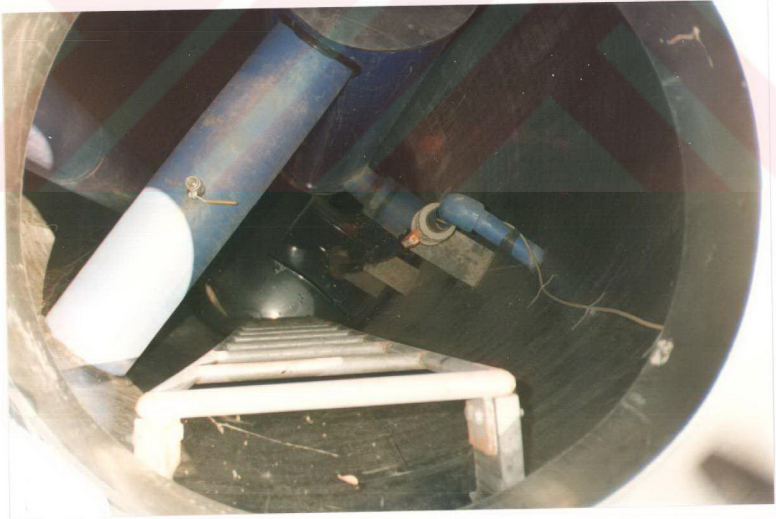
Şekil A.1 Demirtaş Açık Depo Sahası'nın Genel Görünümü



Şekil A.2 Demirtaş Açık Depo Sahası Düşey Gaz Kuyusunun Görünümü



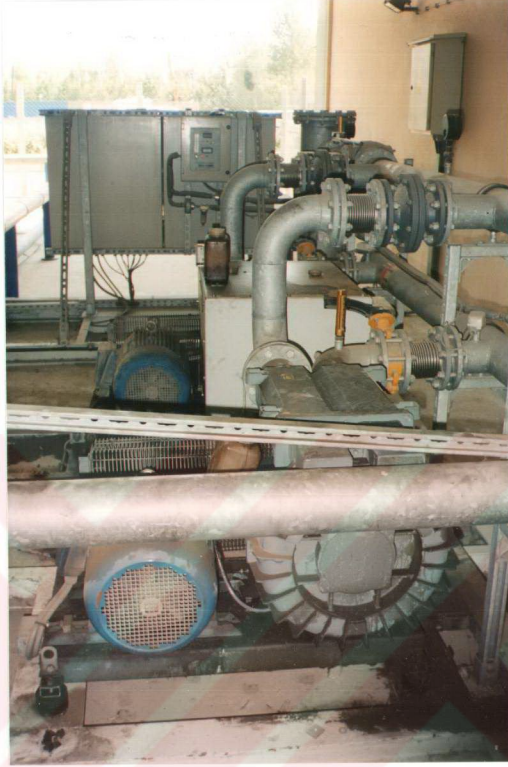
Şekil A.3 Demirtaş Açık Depo Sahası'nın Kollektör Merkezinin Görünümü



Şekil A.4 Demirtaş Açık Depo Sahası Kondensat Tutucunun İçinin Görünümü



Şekil A.5 Demirtaş Açık Depo Sahası Kondensat Tutucunun Genel Görünümü



Şekil A.6 Demirtaş Açık Depo Sahası Blowerlar Ve O₂ Ve CH₄ Ölçüm Cihazının Görünümü



Şekil A.7 Demirtaş Açık Depo Sahası Jeneratörlerinin Görünümü



Şekil A.8 Demirtaş Açık Depo Sahası Jeneratör Kumanda Panosunun Görünümü



Şekil A.9 Demirtaş Açık Depo Sahası Yakma Bacasının Genel Görünümü



Atık Depo Sahası Durum Haritası

**EK B KEMERBURGAZ AÇIK DEPO SAHASI FOTOĞRAFLARI VE
ÇİZİMLERİ**



Şekil B.1 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Düşey Gaz Kuyusunun Görünümü



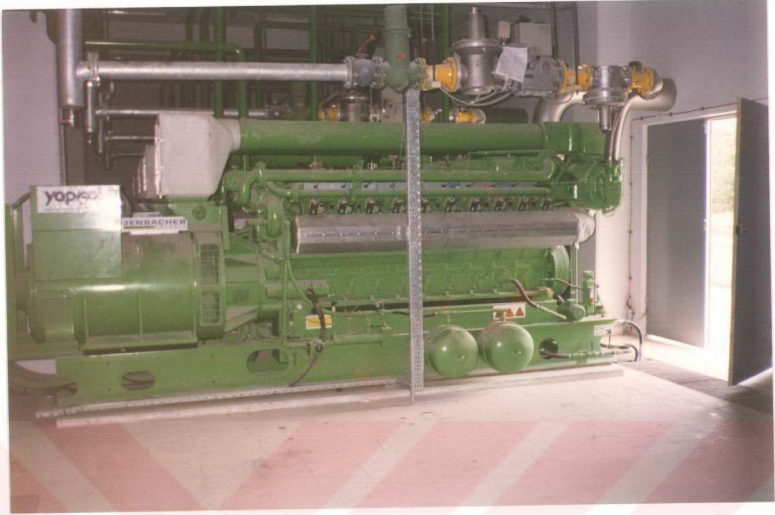
Şekil B.2 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Kollektör Merkezlerinden Birinin Görünümü



Şekil B.3 Kemirburgaz Açık Depo Sahası Bloverlarının Görünümü



Şekil B.4 Kemirburgaz Açık Depo Sahası Gaz Soğutucunun Görünümü



Şekil B.5 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Jeneratörün Görünümü



Şekil B.6 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Yakma Bacası Ve Tesisin Genel Görünümü



Şekil B.7 Kemirburgaz Açık Depo Sahası Blower Ve Gaz Yakıcı Kontrol Panosu



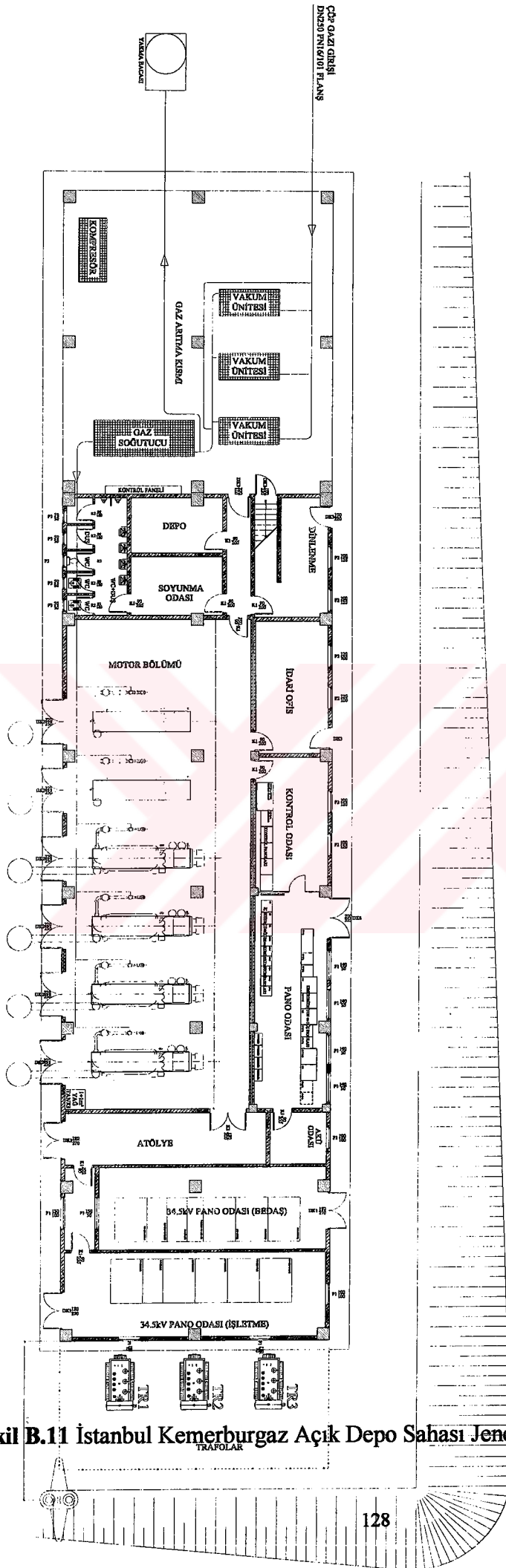
Şekil B.8 Kemirburgaz Açık Depo Sahası Trafoların Görünümü



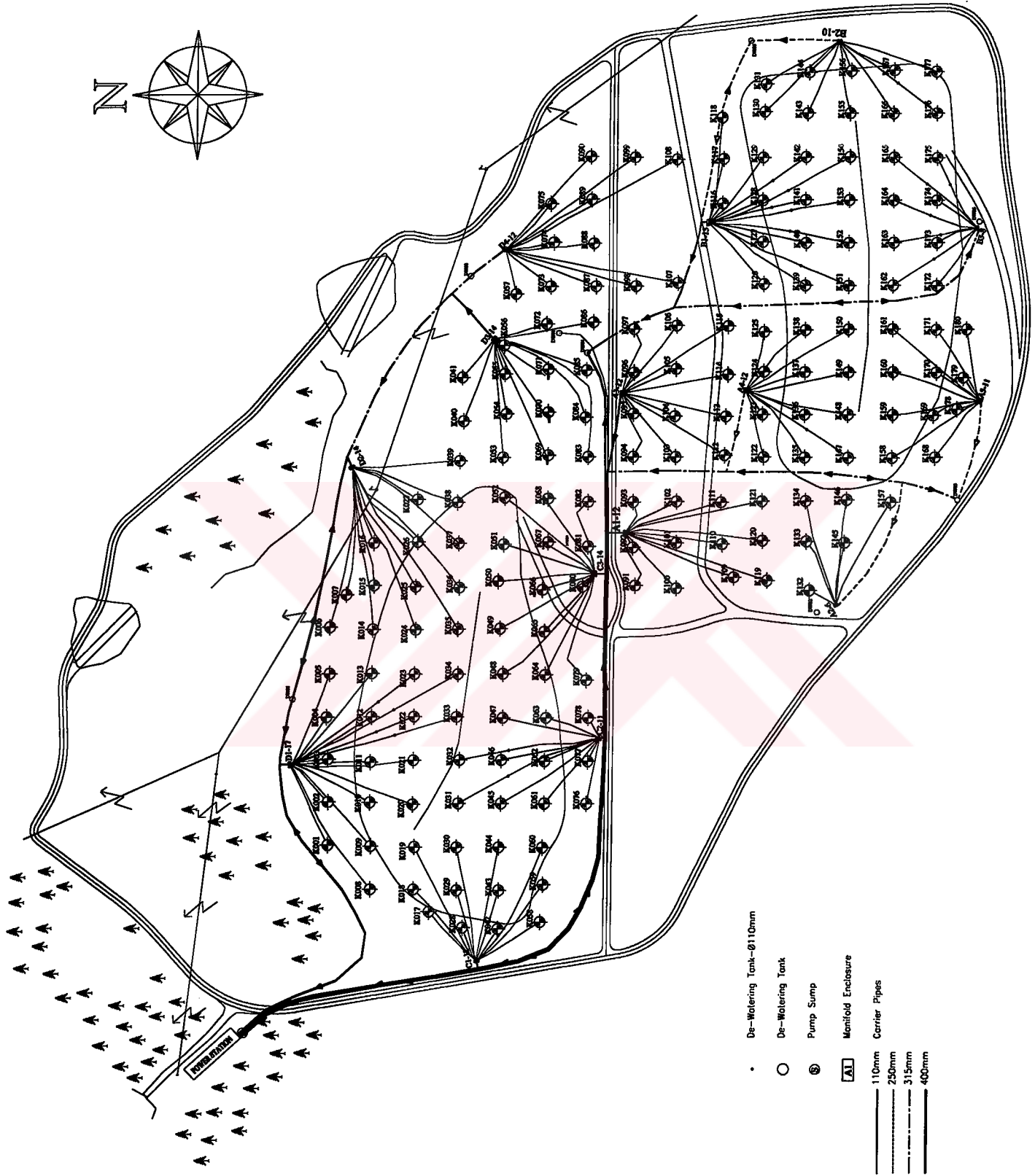
Şekil B.9 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Seddenin Görünümü



Şekil B.10 Kemberburgaz Açık Depo Sahası Sızıntı Suyunun Toplandığı Noktanın Görünümü



Şekil B.11 İstanbul Kemerburgaz Açık Depo Sahası Jeneratör Binasının Planı



Şekil B.12 İstanbul Kemerburgaz Açık Depo Sahası Kuyu Yerleşim Planı

**EK C İZMİR HARMANDALI DÜZENLİ DEPOLAMA ALANI
FOTOĞRAFLARI VE ÇİZİMLERİ**



Şekil C.1 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Gaz Toplama Bacalarının Genel Görünümü



Şekil C.2 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Düşey Gaz Kuyusunun Görünümü



Şekil C.3 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Gaz Toplama Merkezinin Görünümü



Şekil C.4 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Kondensat Tutucunun Görünümü



Şekil C.5 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Blöverlarının Görünümü



Şekil C.6 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Kontrol Panosunun Görünümü



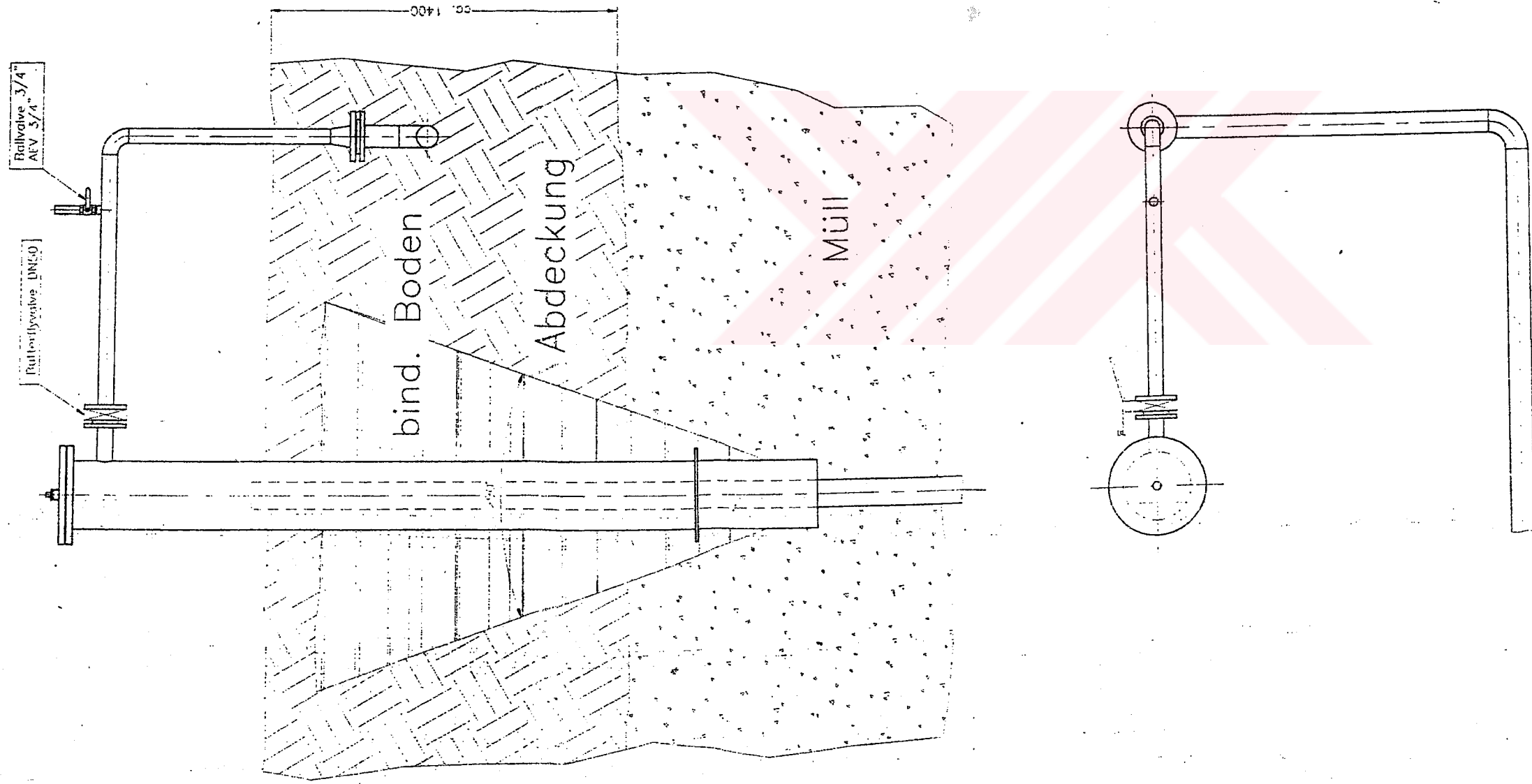
Şekil C.7 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Yakma Bacasının Görünümü



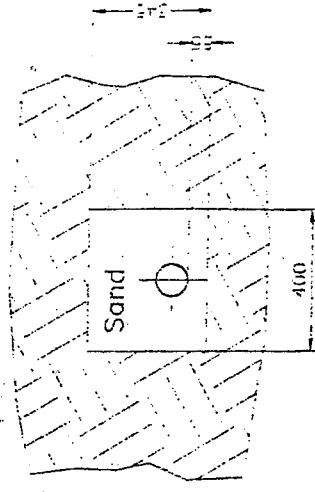
Şekil C.8 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Sızıntı Suyu Toplama Lagününün Görünümü



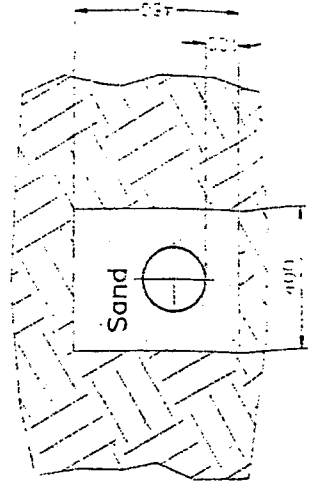
Şekil C.9 Harmandalı Düzenli Depolama Alanı Sızıntı Suyu Kimyasal Arıtma Tesisinin Görünümü



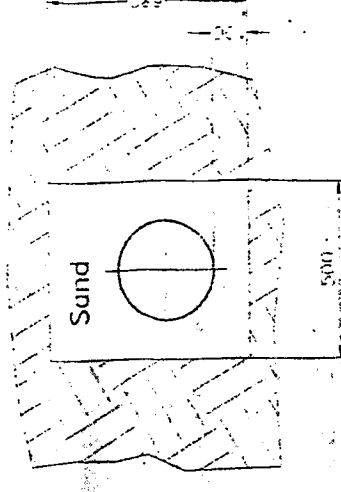
PEHD DA90



PEHD DA180



PEHD DA280



PROFA
 Liegnitzer Straße 2
 D - 42499 Wülfrath
 Telefon 0 20 58 - 7 93 70
 Telefax 0 20 58 - 91 30 18
 Telex 710300000000000000

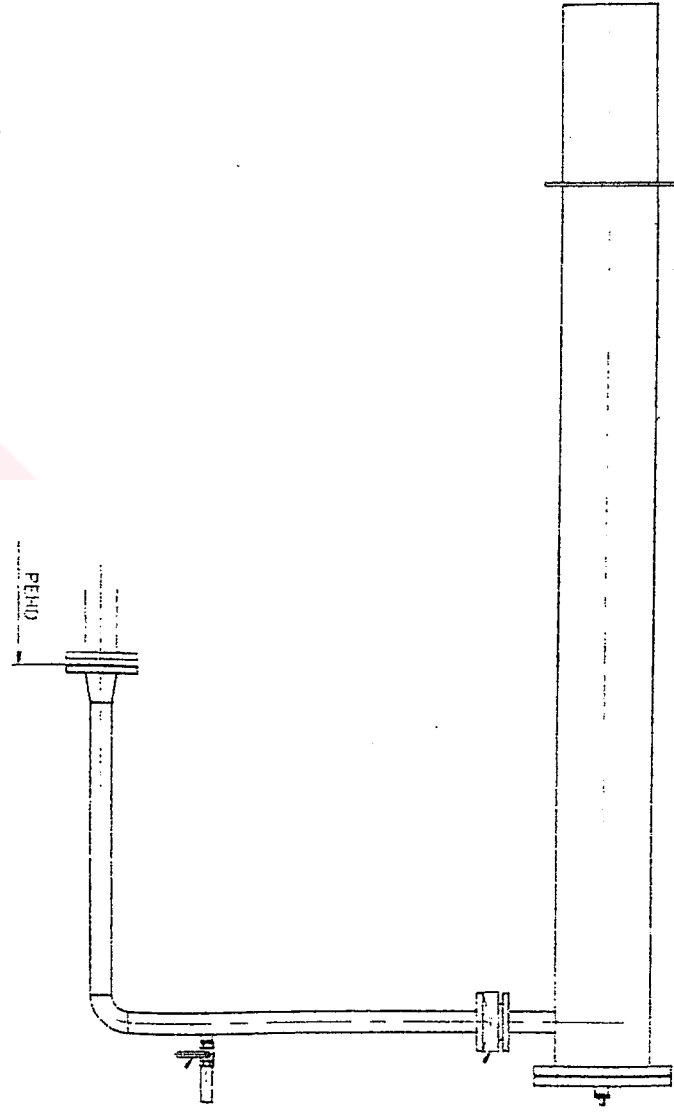
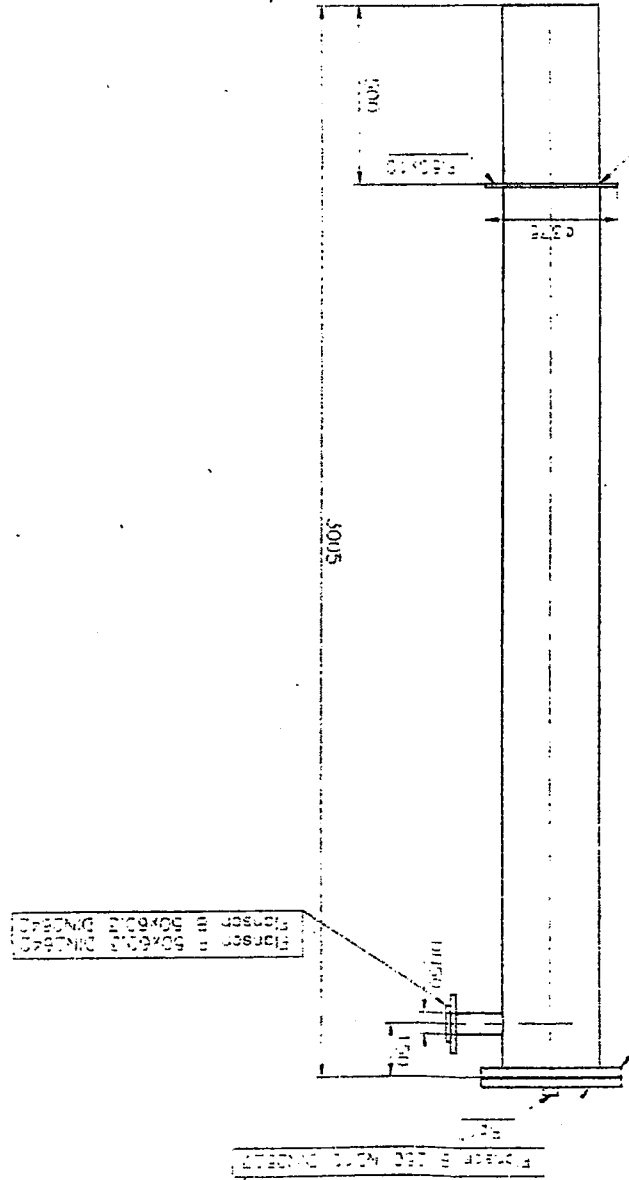
1:10 Brunnenkopf Maßstrecke	1:10 Brunnenkopf Maßstrecke
-----------------------------------	-----------------------------------

Şekil C.10 Harmandalı Düzenli Depo Alanı Kuyu Kesiti

1. Name des Auftraggebers: **Brunnenkopf Webstrecke**
 2. Name des Auftragnehmers: **...**
 3. Adresse des Auftraggebers: **...**
 4. Adresse des Auftragnehmers: **...**
 5. Telefon: **...**
 6. Telefax: **...**
 7. E-Mail: **...**
 8. Datum: **...**
 9. Unterschrift des Auftraggebers: **...**
 10. Unterschrift des Auftragnehmers: **...**

PROZ

Leominster Street 2
D-42699 Witten
Telefon 0 20 58 - 91 30
Telefax 0 20 58 - 74 93
E-Mail: info@proz.de

[illegible]



EK D YAKACIK AÇIK DEPO SAHASI FOTOĞRAFLARI



Şekil D.1 Yakacak Açık Depo Sahası Gaz Yakma Tesisinin Genel Görünümü



Şekil D.2 Yakacak Açık Depo Sahası Gaz Kuyusunun Görünümü



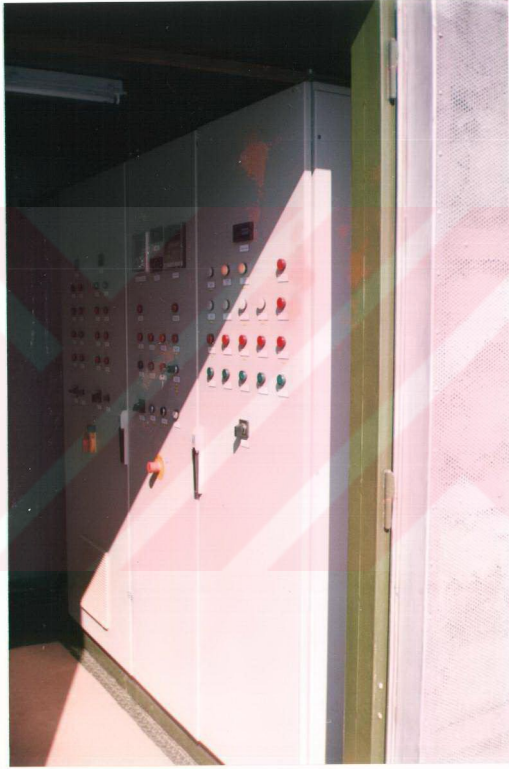
Şekil D.3 Yakacık Açık Depo Sahası Gaz Toplama Merkezinin Görünümü



Şekil D.4 Yakacık Açık Depo Sahası Blöverların Bulunduğu Konteynerin Genel Görünümü



Şekil D.5 Yakacak Açık Depo Sahası Kondensat Tutucunun Görünümü



Şekil D.6 Yakacık Açık Depo Sahası Kumanda Panosunun Görünümü



Şekil D.7 Yakacık Açık Depo Sahası Yakma Bacasının Görünümü



Şekil D.8 Yakacık Açık Depo Sahası Depo Gazı Numune Alma Noktalarının Ve Seyyar Gaz Ölçüm Cihazının Görünümü



Şekil D.9 Yakacık Açık Depo Sahası Sızıntı Suyu Toplama Havuzunun Görünümü



Şekil D.10 Yakacık Açık Depo Sahası Çevresel Gaz Hendeğinin Görünümü

EK E DİE 1997 GENEL NÜFUSU KESİN SONUÇLARI

2. İllerin nüfusu ve yıllık nüfus artış hızı

İller	1997 Genel Nüfus Tespiti Kesin Sonuçları		1990 Genel Nüfus Sayımı Kesin Sonuçları	Sayım gününde bulunulan yere göre nüfus artış hızı (1990-97) ‰
	Sayım gününde bulunulan yere göre nüfus (De facto)	İkamet edilen yere göre nüfus (De jure)	Sayım gününde bulunulan yere göre nüfus (De facto) (1)	
Toplam	62 865 574	62 810 111	56 473 035	15,08
Adana	1 682 483	1 689 155	1 549 233	11,61
Adıyaman	678 999	690 386	513 131	39,40
Afyon	797 589	801 829	738 979	10,74
Ağrı	466 058	470 796	437 093	9,03
Amasya	346 191	344 048	359 194	-5,19
Ankara	3 693 390	3 631 612	3 236 378	18,58
Antalya	1 509 616	1 477 347	1 132 211	40,46
Artvin	184 070	187 174	212 833	-20,42
Aydın	899 980	897 821	824 816	12,27
Balıkesir.....	1 030 978	1 033 468	974 274	7,96
Bilecik	192 060	188 693	175 526	12,66
Bingöl	234 790	232 267	249 074	-8,31
Bitlis	339 645	340 338	330 115	4,00
Bolu	553 022	553 841	536 869	4,17
Burdur	252 791	251 475	254 899	-1,17
Bursa	1 958 529	1 946 327	1 596 161	28,78
Çanakkale	448 815	439 626	432 263	5,29
Çankırı	248 599	252 424	249 344	-0,42
Çorum	578 187	593 053	608 660	-7,22
Denizli	816 250	816 572	750 882	11,74
Diyarbakır.....	1 282 678	1 285 382	1 096 447	22,07
Edirne	398 125	387 993	404 599	-2,27
Elazığ	518 360	520 543	498 225	5,57
Erzincan	280 118	279 835	299 251	-9,29
Erzurum	873 289	890 094	848 201	4,10
Eskişehir	660 843	658 991	641 301	4,22
Gaziantep	1 127 686	1 129 096	1 010 396	15,45
Giresun	460 805	471 875	499 617	-11,37
Gümüşhane	153 990	157 797	168 845	-12,95
Hakkari	219 345	212 486	172 479	33,81
Hatay	1 197 139	1 205 735	1 109 754	10,66
İsparta	461 571	456 421	434 771	8,41
İçel	1 508 232	1 515 302	1 267 253	24,49
İstanbul	9 198 809	9 057 747	7 195 773	34,54
İzmir	3 114 859	3 066 902	2 694 770	20,38

Kars	322 973	321 041	349 834	-11,24
Kastamonu	363 700	372 457	423 206	-21,31
Kayseri	974 035	978 927	943 774	4,44
Kırklareli	318 866	309 528	309 512	4,19
Kırşehir	241 507	246 815	256 684	-8,57
Kocaeli	1 177 379	1 170 546	920 869	34,56
Konya	1 931 773	1 943 757	1 752 658	13,69
Kütahya	639 629	643 117	577 905	14,27
Malatya	815 105	823 521	702 055	21,00
Manisa	1 232 015	1 226 559	1 154 418	9,15
K.Maraş	1 008 107	1 025 241	894 264	16,85
Mardin	646 826	654 268	558 275	20,71
Muğla	640 011	629 786	562 809	18,08
Muş	422 247	427 812	376 543	16,11
Nevşehir	287 866	293 017	289 509	-0,80
Niğde	315 925	322 446	301 691	6,48
Ordu	840 148	863 041	826 886	2,24
Rize	325 581	333 569	348 776	-9,68
Sakarya	731 800	732 414	683 281	9,65
Samsun	1 153 763	1 168 574	1 161 207	-0,90
Siirt	262 371	263 258	243 435	10,54
Sinop	214 925	221 236	265 153	-29,54
Sivas	698 019	707 645	766 821	-13,22
Tekirdağ	567 396	546 105	468 842	26,84
Tokat	695 862	711 465	718 809	-4,56
Trabzon	846 876	858 687	795 849	8,74
Tunceli	86 268	82 215	133 584	-61,50
Ş.Urfa	1 303 589	1 311 334	1 001 455	37,09
Uşak	311 754	315 950	290 398	9,98
Van	762 719	772 132	637 433	25,24
Yozgat	599 690	614 259	579 150	4,90
Zonguldak	612 722	620 051	653 739	-9,11
Aksaray	347 163	351 777	330 569	6,89
Bayburt	99 638	101 489	107 330	-10,46
Karaman	224 303	227 269	215 181	5,84
Kırıkkale	357 544	364 005	350 246	2,90
Batman	400 380	405 765	344 121	21,30
Şırnak	316 536 (*)	300 749 (*)	262 006	28,38 (*)
Bartın	187 008	190 567	205 834	-13,49
Ardahan	128 606	133 313	169 720	-39,02
İğdır	145 384	145 411	142 601	2,72
Yalova	163 916	162 190	134 507	27,81
Karabük	227 478	229 690	244 177	-9,96
Kilis	109 908	111 115	130 198	-23,83
Osmaniye	438 372	441 547	384 104	18,59

(*) Şırnak ili Güçlükonak ilçesinde Nüfus Tespitinin usulsüz ve hayali olarak yapıldığı idari mercilerce tutanaklarla belirlenmiş olup, konu yargıya intikal ettirilmiştir. Yargı süreci devam etmekte olduğundan bu ilçe merkezinin 1997 nüfusu toplama dahil edilmemiş ve artış hızı hesaplanırken kapsam dışı kalmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Mehveş Özçakıl, 23.04.1976'da İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimini İstanbul Erenköy Kız Lisesi'nde tamamladı. 1992 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünden 1996 yılı Haziran ayında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. 1996 yılı Ekim ayında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaya başladı. 1996 yılında bir mühendislik firmasında iş hayatına başladı. 1998 yılı Ekim ayından beri İSKİ Tuzla Biyolojik Arıtma Tesisi'nde işletmede sorumlu olarak çalışmaktadır.